



# Interfaces cérebro-computador - Utilização do Emotiv EPOC para controlar software lúdico

**TIAGO JOÃO FERNANDES DA SILVA FARIA**

Outubro de 2014

# **Interfaces Cérebro-Computador**

## **Utilização do Emotiv EPOC para controlar software lúdico**

**Tiago João Fernandes da Silva Faria**

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Informática, Área de Especialização em  
Sistemas Gráficos e Multimédia**

**Orientador: Dr. Nuno Escudeiro**

**Júri:**

Presidente:

Vogais:

Porto, Outubro de 2014



# Resumo

Uma interface cérebro-computador (BCI) não é mais do que um dispositivo que lê e analisa ondas cerebrais e as converte em ações sobre um computador. Com a evolução das BCI e a possibilidade de acesso às mesmas por parte do público começou a ser possível o uso de BCIs para fins lúdicos.

Nesse sentido nesta tese foi feito um estudo sobre interfaces cérebro-computador, o que são, que tipos de BCI existem, o seu uso para entretenimento, as suas limitações e o futuro deste tipo de interfaces. Foi ainda criado um *software* lúdico controlado por BCI (Emotiv EPOC) que é composto por um jogo tipo *Pong* e um reprodutor de música. O reprodutor de música através de BCI classifica e recomenda músicas ao utilizador. Com esta tese foi possível chegar à conclusão que é possível utilizar BCI para entretenimento (jogos e recomendação de conteúdos) apesar de se ter verificado que para jogos os dispositivos tradicionais de controlo (rato e teclado) ainda têm uma precisão muito superior.

**Palavras-chave:** Interfaces cérebro-computador, Jogo *Pong*, Reprodutor de música, Sistemas de recomendação, Emotiv EPOC



# Abstract

A brain-computer interface (BCI) is no more than a device that reads and analyzes brain waves and converts them into actions on a computer. With the evolution of the BCI and the possibility of access to them by the public began to allow the use of BCIs for entertainment purposes.

Therefore, this thesis presents a study about brain-computer interfaces, what they are, types of BCI that exist, its use for entertainment, their limitations and the future of this type of interface. It was also created an entertainment software controlled by BCI (Emotiv EPOC) that includes a game like Pong and a music player. The music player through BCI ranks and recommends songs to the user. With this thesis was concluded that it is possible to use BCI for entertainment (games and content recommendation) although it was verified that the traditional gaming control devices (mouse and keyboard) still have a much higher accuracy.

**Keywords:** Brain-computer interfaces, Pong game, Music player, Recommender systems, Emotiv EPOC



# Agradecimentos

Gostaria de agradecer a algumas pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento desta tese:

Em primeiro lugar aos meus pais e irmãos, pelo suporte, ajuda e incentivo dados ao longo de todo o meu percurso académico e em todos os outros momentos.

Ao orientador desta tese, o Dr. Nuno Escudeiro pelo conhecimento partilhado e comentários essenciais para o sucesso da mesma.

Por fim a todos os professores e colegas que ao longo destes anos de mestrado me ajudaram e ensinaram.



# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Motivações	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Organização da tese	2
<b>2</b>	<b>Interfaces Cérebro-Computador</b>	<b>5</b>
2.1	Definição e características principais das BCIs	5
2.1.1	Aquisição de Sinal	6
2.1.2	Processamento de Sinal	7
2.1.3	Dispositivo de Saída	7
2.1.4	Protocolo	7
2.2	Tipos de BCI	7
2.2.1	Não Invasivas	7
2.2.2	Invasivas	8
2.3	BCIs baseadas em sinais EEG	9
2.3.1	Potenciais Evocados	9
2.3.2	Potenciais espontâneos	10
2.3.3	Sistema internacional 10-20	10
2.3.4	Principais BCIs no mercado	11
2.4	BCIs para entretenimento	12
2.4.1	Classificação de Jogos com base no paradigma BCI utilizado	13
2.5	Limitações das BCI atuais	15
2.6	O futuro das BCI	15
2.6.1	Eléttodos secos	15
2.6.2	Redução da necessidade de Treino	16
2.6.3	Redução da necessidade de calibração	16
<b>3</b>	<b>Aquisição e Processamento de Dados</b>	<b>17</b>
3.1	Emotiv EPOC	17
3.2	SDK	17
3.2.1	Emotiv Control Panel	18
3.2.2	Affectiv Suite	18
3.2.3	Cognitive Suite	19
3.2.4	Utilização do SDK no software	19
<b>4</b>	<b>Software</b>	<b>21</b>
4.1	Tecnologia Utilizada	21
4.2	Interface Gráfica	23
4.3	Perfis de Utilizador	24
4.4	Jogo tipo “Pong”	25

4.5	Reprodutor de música .....	26
4.5.1	Interface Gráfica .....	26
4.5.2	Reprodução de ficheiros Áudio .....	28
4.5.3	Biblioteca de Leitura de metadados ID3 .....	29
4.5.4	Funcionalidade de Rádio .....	30
4.6	Modelo de dados .....	32
4.6.1	Modelo Entidade-Relação .....	33
4.6.2	Modelo Físico .....	34
4.7	Avaliação do software .....	35
<b>5</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>39</b>
5.1	Trabalho Futuro.....	40
<b>6</b>	<b>Referências .....</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>45</b>
7.1	Fases de desenvolvimento .....	45
7.2	Diagrama de Gantt das fases de desenvolvimento da tese .....	46
7.3	Requisitos .....	49
7.3.1	Requisitos Funcionais .....	49
7.3.2	Requisitos Não Funcionais .....	49
7.4	Diagrama de Arquitetura.....	50
7.5	Diagramas de casos de uso.....	50
7.5.1	Funcionalidades Gerais da Aplicação .....	50
7.5.2	Registo de Utilizadores.....	51
7.5.3	Reprodutor de Música .....	51
7.6	Imagens da Aplicação.....	52
7.6.1	Registo de Utilizadores.....	52
7.6.2	Escolha de Utilizadores.....	53
7.6.3	Menu Principal .....	54
7.6.4	Jogo Pong .....	55
7.6.5	Reprodutor de Música .....	56

## Lista de Figuras

Figura 1 – Funcionamento de uma BCI. ....	5
Figura 2- Elementos de uma BCI .....	6
Figura 3 – No lado direito é mostrado um esquema de colocação dos elérodos no cérebro do paciente. No lado esquerdo é mostrada uma fotografia do paciente já com os elérodos implantados. ....	8
Figura 4 – Sistema 10-20 para colocação de elérodos. ....	11
Figura 5 – (a) Screenshot do jogo MindBalance; (b) Jogador a jogar BacteriaHunt; [Bullock] ..	13
Figura 6 – Diagrama da integração do SDK e da API da Emotiv com uma aplicação .....	18
Figura 7 – Componente que serve de base aos menus da aplicação .....	24
Figura 8 – Teclado virtual .....	25
Figura 9 – Jogo tipo “Pong” .....	26
Figura 10- Ícone para regressar ao menu principal .....	26
Figura 11- Ícone para abrir ficheiro.....	27
Figura 12 – Ícone de escolha do modo Rádio .....	27
Figura 13 – Ícone de escolha de música favorita .....	27
Figura 14 – Ícones de controlo da Reprodução de áudio .....	28
Figura 15 – Ícones de Controlo de Volume .....	28
Figura 16 – Modelo entidade – relação da estrutura de dados.....	33
Figura 17 – Modelo Físico da estrutura de dados.....	34
Figura 18 – Diagrama de Gantt de Outubro de 2012 a Junho de 2013 .....	46
Figura 19 – Diagrama de Gantt de Julho de 2013 a Junho de 2014.....	47
Figura 20 – Diagrama de Gantt de Julho de 2014 a Outubro de 2014 .....	48
Figura 21 – Diagrama de arquitetura da aplicação .....	50
Figura 22 – Diagrama de caso de uso que representa as funcionalidades gerais da aplicação. 50	
Figura 23 - Diagrama de caso de uso que representa a funcionalidade de registo de utilizadores.....	51
Figura 24 – Diagrama de caso de uso que representa as funcionalidades do reprodutor de música. ....	51
Figura 25 – Ecrã de registo de Utilizadores.....	52
Figura 26 – Menu de Escolha do utilizador que vai usar a aplicação.....	53
Figura 27 – Menu Principal da aplicação. Contém as opções: “Sair”, “Reprodutor de Música” e “Pong” .....	54
Figura 28 – Jogo Pong .....	55
Figura 29 – Reprodutor de música.....	56



## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Comparativo de BCIs .....	12
Tabela 2 – Aplicações de entretenimento controladas por BCI desenvolvidas até 2009. [Reuderink, 2008].....	14
Tabela 3 – Resumo de respostas à pergunta 1 do inquérito .....	35
Tabela 4 – Resumo de respostas à pergunta 2 do inquérito .....	35
Tabela 5 – Resumo de respostas à pergunta 3 do inquérito .....	36
Tabela 6 – Resumo de respostas à pergunta 4 do inquérito .....	36
Tabela 7 – Resumo de respostas à pergunta 5 do inquérito .....	37
Tabela 8 – Resumo de respostas à pergunta 6 do inquérito .....	37



# Acrónimos e Símbolos

## Lista de Acrónimos

<b>BCI</b>	<i>Brain Computer Interface</i>
<b>EEG</b>	Eletroencefalografia
<b>SDK</b>	<i>Software Development Kit</i>
<b>API</b>	<i>Application Programming Interface</i>
<b>CLR</b>	<i>Common Language Runtime</i>
<b>DLL</b>	<i>Dynamic Linked Libraries</i>
<b>ERP</b>	<i>Event-related potencial</i>
<b>FK</b>	Foreign Key (chave estrangeira)
<b>GUI</b>	<i>Graphic User Interface</i>
<b>LINQ</b>	<i>Language Integrated Query</i>
<b>PK</b>	Primary Key (chave primária)
<b>SSVEP</b>	<i>Steady-state Visually Evoked Potential</i>
<b>URL</b>	<i>Uniform Resource Locator</i>
<b>WPF</b>	<i>Windows Presentation Foundation</i>



# 1 Introdução

*“I see a hotel room key, a metro ticket, and a hundred-franc note folded in four, like objects brought back by a space probe sent to earth to study how earthlings live, travel, and trade with one another. The sight leaves me pensive and confused. Does the cosmos contain keys for opening up my diving bell? A subway line with no terminus? A currency strong enough to buy my freedom back? We must keep looking. I’ll be off now.”*

*Jean-Dominique Bauby<sup>1</sup>*

## 1.1 Motivações

Em geral, tomamos a capacidade de comunicar e agir sobre o mundo como um dado adquirido da nossa existência. Contudo, para milhões de pessoas em todo o mundo esta capacidade está severamente comprometida por lesões medulares, acidentes vasculares cerebrais ou doenças neuro-degenerativas como por exemplo a esclerose lateral amiotrófica. Tarefas tão simples como expressar os nossos desejos para aqueles que nos rodeiam, podem tornar-se verdadeiros desafios.

Uma interface cérebro-computador (BCI) pode ser descrita como uma via de comunicação direta entre o cérebro e o computador. Num sistema BCI, ondas geradas pelo cérebro são analisados para determinar o estado da mente ou as intenções do utilizador. Para fazer isso, as BCI leem e analisam diversos tipos ondas cerebrais que depois transformam em ações.

Alguns sistemas BCI foram aplicados com fins médicos para ajudar a devolver a mobilidade ou ajudar na comunicação de pessoas com graves distúrbios fisiológicos.

---

<sup>1</sup> Jean-Dominique Bauby sofreu acidente vascular cerebral que o deixou completamente paralisado, apenas com a capacidade de piscar um olho. Nessa condição, ele heroicamente escreveu as suas memórias no livro *The diving bell and the butterfly*.

Com a aplicação bem-sucedida de alguns sistemas BCI e consequente aumento da visibilidade com aparições em diversos órgãos de comunicação social [Brown, 2012][Livescience, 2012] começaram a aparecer os primeiros sistemas de BCI acessíveis ao público o que abriu o uso destes sistemas para o uso recreativo.

## 1.2 Objetivos

Esta tese tem o objetivo fazer um estudo do estado da arte no que diz respeito a interfaces cérebro – máquina e mais particularmente o seu uso para fins lúdicos.

Para além desse estudo esta tese tem ainda como objetivo a construção de um *software* de vertente lúdica com um jogo tipo *Pong* e um reprodutor de música totalmente controlados por uma BCI. O reprodutor de música deve conseguir recomendar músicas de acordo com o estado mental do utilizador.

## 1.3 Organização da tese

Este documento foi estruturado da seguinte forma:

1. Introdução: pretende fazer o leitor perceber o que será discutido ao longo dos demais capítulos. Descreve a motivação e os objetivos desta tese.
2. Estado da arte: define o que são BCIs. Descreve os seus principais componentes, a forma como é adquirido e processado o sinal, compara os tipos de BCI existentes (invasivas e não invasivas). Explica como funcionam as BCI baseadas em EEG, apresenta o sistema internacional 10-20 e apresenta um resumo das principais BCI EEG no mercado atualmente. Neste capítulo também é feito um resumo do que já foi feito no passado em relação ao uso de BCI para entretenimento. Por fim são demonstradas as limitações das BCI atuais e feita uma previsão do que serão as BCI no futuro com base nas últimas investigações.
3. Aquisição de dados: este capítulo explica de que forma foi feita a aquisição de dados no *software* criado. Fala do *Emotiv EPOC*, do seu *SDK* e respetivos módulos e demonstra como foi feita a integração do *SDK* com o *software*.
4. *Software*: este capítulo fala sobre o *software* contruído. Explica de que forma foi selecionada a tecnologia utilizada para o programar, mostra as opções tomadas em relação à interface gráfica e fala das três funcionalidades principais do *software*, a criação de perfis de utilizador, o jogo *Pong* e o reprodutor de música. Em relação ao reprodutor de música é feita uma análise da sua interface gráfica e funcionalidades, é explicada a utilização de uma biblioteca de leitura de metadados ID3 e é feita uma abordagem à gestão de preferência utilizada nos modos de rádio. É

também neste capítulo que é descrito o modelo de dados utilizado com recurso ao modelo entidade relação e ao modelo físico. Por fim é apresentada uma avaliação do *software* feita por trinta e sete utilizadores.

5. Conclusões: este capítulo apresenta as principais conclusões sobre o que foi estudado e realizado ao longo da tese e apresenta algumas funcionalidades que poderão ser adicionadas em trabalho futuro.
6. Referências: Este capítulo apresenta as referências utilizadas para realização desta tese. Todas as referências foram consultadas no período Setembro de 2012 a Outubro de 2014.

Anexos: apresenta os requisitos funcionais e não funcionais, um diagrama de arquitetura e diagramas de casos de uso do *software* construído. Neste capítulo é também feita a descrição das várias fases do trabalho desenvolvido com resumo sob a forma de diagrama de Gantt. São ainda mostradas imagens da aplicação.



## 2 Interfaces Cérebro-Computador

A possibilidade do nosso cérebro controlar um dispositivo apenas com pensamentos é uma opção cada vez mais emergente. Este é pelo menos o objetivo da neuro-prostética, a área de estudo responsável por estudar e criar dispositivos conhecidos por Interfaces cérebro-computador (BCIs), que conseguem captar os sinais que o cérebro emite e transformá-los em comandos máquina que refletem as intenções do utilizador- Figura 1. [Wolpaw et al., 2000]

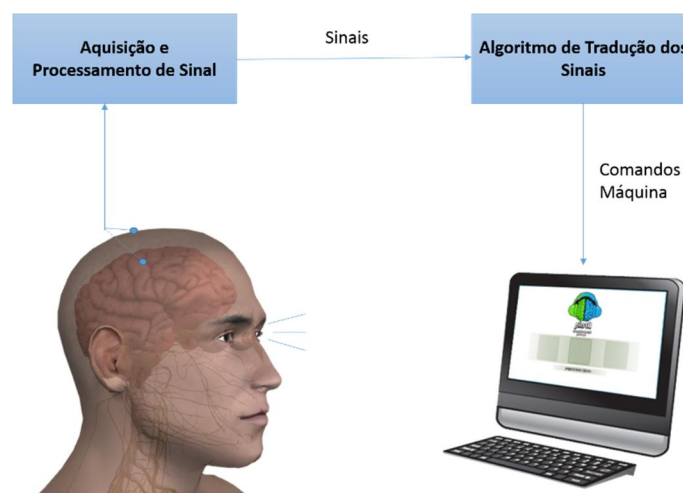


Figura 1 – Funcionamento de uma BCI.

### 2.1 Definição e características principais das BCIs

Uma BCI é um canal de comunicação e controlo que não depende das vias normais de saída do cérebro, os nervos periféricos e os músculos [Wolpaw et al., 2000], isto é, através das BCIs é possível interagir com o ambiente envolvente apenas com pensamentos.

Existem quatro elementos essenciais para o funcionamento correto de uma BCI - Figura 2. Os quatro elementos têm de trabalhar em conjunto para compreenderem e executarem a intenção do utilizador [Wolpaw et al., 2002],

- Aquisição de sinal – o sistema capta o sinal proveniente do cérebro
- Processamento de sinal – Conversão da informação em bruto em comandos compreendidos pela máquina.
- Dispositivo de saída – Controlado através de funções e comandos que a BCI enviou.
- Protocolo – Regras implementadas para comunicação entre componentes da BCI e entre a BCI e os dispositivos de Saída.

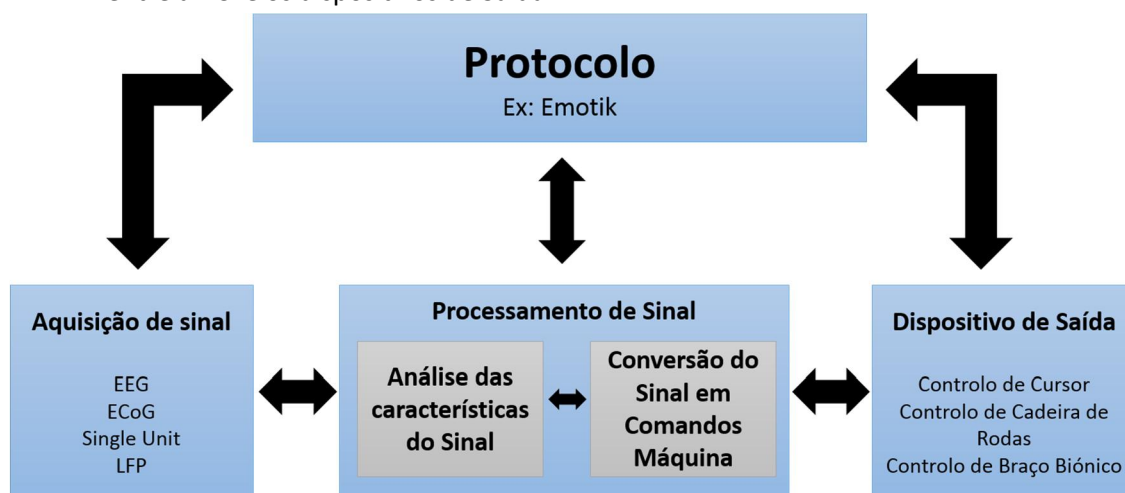


Figura 2- Elementos de uma BCI

### 2.1.1 Aquisição de Sinal

A aquisição de sinal é uma medição em tempo real do estado eletrofisiológico do cérebro. A atividade do cérebro é normalmente medida por diferenças de voltagem gravadas por elétrodos.

Os tipos mais comuns de sinais são:

- Eletroencefalografia (EEG) – atividade elétrica cerebral gravada com elétrodos posicionados no couro cabeludo [Elbert et al.1980]
- Eletrocorticografia (ECoG) – atividade elétrica cerebral gravada com elétrodos posicionados sob o crânio. [Leuthardt et al, 2004]
- Local Field Potencial (LFP) – elétrodos posicionados no parênquima monitorizam a atividade cerebral. [Andersen et al, 2004]
- *Single Units* – microelétrodos que monitorizam a atividade de cada neurónio de forma individual. [Taylor et al., 2002]

### **2.1.2 Processamento de Sinal**

Na fase do processamento de sinal existem dois processos principais: a análise das características do sinal e a conversão do sinal em comandos máquina.

A análise das características do sinal retira a informação útil do sinal em bruto que chega do dispositivo de aquisição de sinal.

A conversão do sinal em comandos máquina usa o sinal previamente filtrado no processo anterior e transforma-o em comandos que possam ser compreendidos pelo dispositivo de saída.

### **2.1.3 Dispositivo de Saída**

Dispositivo de saída é o objeto/parte do corpo que é controlado através de uma BCI. Ações realizadas num dispositivo de saída através de uma BCI são por exemplo o movimentar de um cursor no ecrã de um computador, escolher letras para comunicar, controlar um braço robótico, conduzir uma cadeira de rodas ou mesmo controlar processos fisiológicos tais como mexer um membro ou controlar esfíncteres intestinais e da bexiga. [Leuthardt et al, 2006].

### **2.1.4 Protocolo**

Um fator importante para o correto funcionamento de uma BCI é o protocolo usado. O protocolo é a convenção ou conjunto de regras que permitem a conexão e transferência de dados entre os vários módulos da BCI. Essas regras incluem normalmente a sintaxe, semântica e sincronização da comunicação entre outras.

## **2.2 Tipos de BCI**

O principal fator de classificação das BCI diz respeito à técnica usada para captar os sinais emitidos pelo cérebro.

### **2.2.1 Não Invasivas**

As BCI não invasivas são uma abordagem que já se provou bastante útil no desenvolvimento de formas de comunicação para pessoas paralisadas. Baseia-se sobretudo em EEG e tem a grande vantagem de não expor o utilizador aos riscos que uma cirurgia ao cérebro acarreta.

Contudo, as técnicas não invasivas têm canais de comunicação com capacidade limitada. Por norma a velocidade de transferência de uma BCI baseada em EEG varia entre os 5 os 25 bits/s.

Esta velocidade de transferência é suficiente para controlar por exemplo um cursor de computador, mas mostra-se insuficiente para controlar todos os movimentos de um braço biónico com um desempenho aceitável. [Lebedev et al. 2006]

### 2.2.2 Invasivas

As BCI invasivas utilizam eléctrodos intracranianos para aquisição dos dados, o que permite um sinal com menos ruído e um alto nível de controlo sobre os dispositivos.

Existem dois tipos de BCI invasivas. Nas *Single Units* cada eléctrodo faz leitura de um neurónio em específico. Nas *Multi-Units* cada eléctrodo faz leitura de um conjunto de neurónios aproveitando o facto de o cérebro fazer processamento distribuído da informação por vários neurónios. As *Multi-Units* são mais eficientes que as *Single Units*, mas mais difíceis de implementar do ponto de vista técnico. [Lebedev et al. 2006]

As técnicas invasivas são potencialmente perigosas pois requerem a implantação de eléctrodos na matéria cinzenta do cérebro que podem levar a infeções e lesões teciduais permanentes.

Os desenvolvimentos feitos na área das BCI invasivas tem sido feito sobretudo em macacos. Em 2000, num estudo de Wessberg [Wessberg et al., 2000] foram instalados entre 32 e 96 microeléctrodos em diferentes áreas do córtex motor. Após um período de treino os macacos conseguiram controlar um dispositivo robótico nas três dimensões.

Mais recentemente começaram a ser feitos estudo em humanos. Uma matriz de 96 microeléctrodos foi implantada com sucesso no córtex motor de um paciente tetraplégico. A intenção de movimento das mãos gerou atividade de grupos de neurónios no córtex motor primário que foi usada para mover um cursor no ecrã e um braço robótico. [Hochberg et al., 2006]

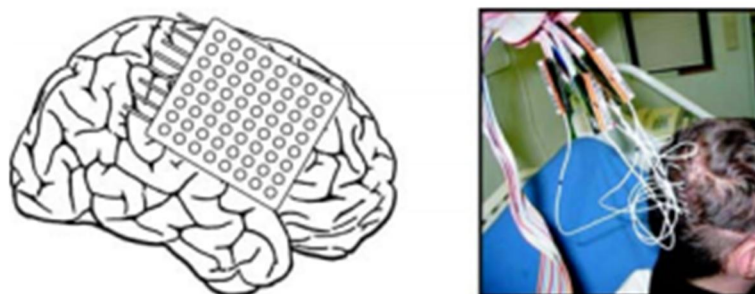


Figura 3 – No lado direito é mostrado um esquema de colocação dos eléctrodos no cérebro do paciente. No lado esquerdo é mostrada uma fotografia do paciente já com os eléctrodos implantados.

## **2.3 BCIs baseadas em sinais EEG**

Para Blankertz o eletroencefalograma é um registo do sinal elétrico gerado pela ação cooperativa dos neurónios, ou de forma mais precisa, a sequência temporal dos potenciais extracelulares de campo gerados pela sua ação síncrona. [Blankertz et al.,2003]

O EEG pode ser analisado como um potencial evocado por um estímulo externo (ERP) ou analisado na ausência de estímulo externo, designando-se por EEG espontâneo ou potencial espontâneo.

### **2.3.1 Potenciais Evocados**

Os potenciais evocados dizem respeito ao registo do EEG que se deve a uma resposta a um estímulo e podem ser divididos em exógenos e endógenos. Os exógenos ocorrem até cerca de 100 ms após a estimulação e dependem de propriedades da estimulação (ruído, intensidade, etc.). Os potenciais endógenos ocorrem após 100ms após a estimulação e dependem das características comportamentais relacionadas com o estímulo em si (entusiasmo, aborrecimento, etc.). Os dois tipos de sistema ERP mais utilizados são o P300 e o SSVEP.

#### **2.3.1.1 P300**

Os potenciais P300 são uma série de picos positivos que surgem de forma espontânea no EEG devido a um estímulo infrequente que se encontra entre vários estímulos frequentes. Estes estímulos podem ser visuais, auditivos ou sensoriais. Esta resposta surge na região parietal do couro cabeludo, 300ms depois de o estímulo infrequente ser percebido pelo utilizador. [Donchin et al, 1970] Alguns estudos demonstram que quanto mais infrequente é o estímulo, maior é a amplitude do pico gerado como resposta. [Polich et al, 1996]

Dado que a resposta ao estímulo é originada involuntariamente, não é necessário qualquer tipo de treino para utilizar BCI baseadas em potenciais evocados do tipo P300, mas a eficácia deste tipo de BCI pode ser afetado caso o utilizador se habitue aos estímulos infrequentes. [Ravden et al, 1999]

A maioria das aplicações baseadas em P300 usa estímulos visuais, mas em caso de pessoas invisuais podem ser usados estímulos auditivos. [Furdea et al, 2009]

#### **2.3.1.2 Potenciais evocados visuais em estado estacionário**

Outro membro da família dos sistemas ERP são os sistemas de potenciais evocados visuais em estado estacionário (SSVEP). [Beverina et al, 2003]

Na maioria dos casos os SSVEPs são desencadeados pela apresentação ao utilizador de um estímulo visual modulado com um sinal periódico, normalmente em frequências superiores a 5Hz. O sinal periódico do estímulo pode ser observado nos sinais cerebrais medidos. Os sistemas SSVEP utilizam elétrodos posicionados na região occipital do couro cabeludo. [Shan et al, 2006]

Os sistemas SSVEP cobrem uma largura de banda muito estreita que corresponde ao estímulo efetuado. Por essa razão são muito fáceis de detetar. [Lopez et al, 2009]

### **2.3.2 Potenciais espontâneos**

São sinais controlados voluntariamente pelo utilizador, que dispensam estimulação externa e acompanham o estado cognitivo do utilizador. De todos os potenciais espontâneos, o mais utilizado é o ritmo sensoriomotor. Além deste, outros sinais neurofisiológicos, como potenciais corticais lentos e sinais cognitivos não-motores também são utilizados.

#### **2.3.2.1 Ritmos motor e sensoriomotor**

São ritmos cerebrais relacionados a ações motoras como por exemplo o movimento dos membros. Estes ritmos são gerados no córtex motor, e são controlados voluntariamente pelo utilizador. São conhecidas duas formas de controlo de ritmos sensoriomotor em BCIs, o condicionamento operante e a imaginação de movimentos.

No condicionamento operante o utilizador aprende a modular voluntariamente a amplitude dos seus ritmos sensoriomotores através de um treino intenso. [Vaughan et al., 2006]

Já a imaginação de movimentos funciona com o simples imaginar de movimentos das mãos e pés. O sinal que é produzido pela imaginação do movimento possui características temporais, espaciais e de frequência bem determinadas, o que faz com que a máquina as identifique corretamente. [Pfurtscheller et al, 2006]

### **2.3.3 Sistema internacional 10-20**

Para realizar um eletroencefalograma são necessários elétrodos capazes de medir as diferenças de potencial em pontos do couro cabeludo com relevância para o estudo em questão. Para possibilitar a repetição de estudos ao longo do tempo e em laboratórios diferentes, a federação internacional de eletroencefalografia e neurofisiologia clínica recomendou a utilização de um sistema *standard* para colocação dos elétrodos. [Duda et al.,2000] Este sistema é conhecido como o sistema internacional 10-20 uma vez que usa 10% e 20% das distâncias entre alguns marcos ósseos para determinar a posição relativa dos elétrodos.

O sistema de numeração do sistema 10-20 determina que os elétrodos com número ímpar se situam no hemisfério esquerdo e os elétrodos com número par ficam no hemisfério direito. Existe ainda uma letra que designa a área anatómica sem F frontal, C central, P parietal e O occipital. Este sistema especifica setenta e cinco posições de elétrodos ao longo de cinco planos posteriores e anteriores paralelos à linha central de onze posições (Figura 4) [Liao et al., 2007]

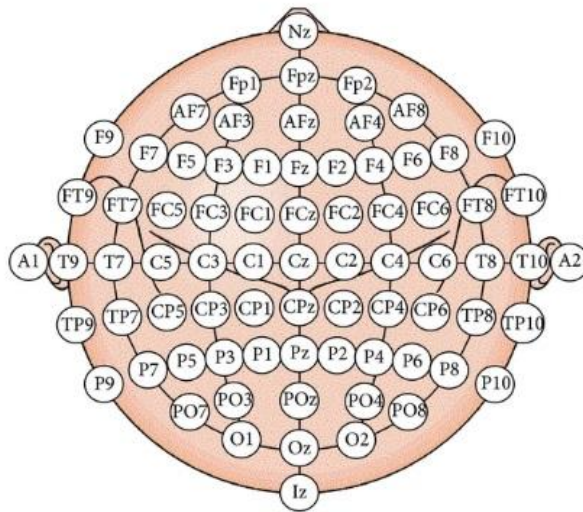


Figura 4 – Sistema 10-20 para colocação de eletrodos.

Antes de executar o EEG, é necessário definir a combinação de eletrodos que vai ser utilizada para adquirir o EEG. A montagem utilizada tem por objetivo a escolha das características que se querem analisar no EEG. Uma montagem pode ser referencial, quando as diferenças de potencial são medidas entre cada eletrodo e um eletrodo de referência comum (normalmente em zonas com pouca atividade como é o caso do lóbulo da orelha), ou bipolar quando as diferenças de potencial são medidas entre pares de eletrodos.

As montagens bipolares têm especial interesse quando se pretende medir características que se manifestam de forma distinta em cada hemisfério do cérebro. Neste tipo é feita uma montagem em que cada canal mede as diferenças de potencial entre eletrodos de hemisférios diferentes. Contudo as montagens bipolares apresentam desvantagens na aquisição de potenciais com grande distribuição espacial. Nesses casos, a montagem referencial apresenta-se mais vantajosa.

### 2.3.4 Principais BCIs no mercado

Atualmente existem no mercado alguns modelos de BCI, na sua maioria baseados em *headsets* EEG. Na Tabela 1 apresento um comparativo das características principais, para os modelos mais utilizados.

Tabela 1 – Comparativo de BCIs

BCI	Eléttodos	Captação	Preço
Emotiv EPOC [Emotiv, 2013]	14	4 Estados mentais, 13 pensamentos conscientes, expressões faciais, movimentos da cabeça	299\$
B-Alert X10 [ABM, 2013] <a href="http://advancedbrainmonitoring.com/neurotechnology/wireless-eeg/b-alert-x10/">http://advancedbrainmonitoring.com/neurotechnology/wireless-eeg/b-alert-x10/</a>	10	4 Estados mentais, movimentos da cabeça	n.d.
B-Alert X24 [ABM, 2013]	24	4 Estados mentais, movimentos da cabeça, dados médicos	n.d.
Mindwave [Neurosky, 2013a]	1	2 Estados Mentais, piscar de olhos	80\$
Mindset [Neurosky, 2013b]	1	2 Estados Mentais, piscar de olhos, <i>phones</i> e captura de voz	200\$
Xwave Sonic [PLX, 2013]	1	2 Estados Mentais, piscar de olhos	70\$
Muse [Interaxon, 2013]	4	Emoções positivas e negativas. Movimentos da cabeça.	200\$

## 2.4 BCIs para entretenimento

Aplicações baseadas em sistemas BCI direcionadas para o entretenimento sempre tiveram uma baixa prioridade no que diz respeito à investigação no campo das BCI. Até há pouco tempo, a pesquisa no que diz respeito às BCI centrava-se em aplicações que fornecem assistência e melhoram a qualidade de vida, tais como cadeiras de rodas guiadas, sistemas de escrever, entre outros, deixando para trás a utilização de BCIs para entretenimento. No entanto nos últimos anos tem havido um crescente interesse na utilização para fins lúdicos devido aos significativos avanços na tecnologia BCI. O aumento do desempenho das BCI permitiu pensar no seu uso em proveito de pessoas que não sofrem de deficiência, para uma interação mais atraente com as aplicações habituais de entretenimento.

Para além disso, graças às BCI é possível obter uma série de parâmetros sobre a experiência do utilizador e utilizar essa informação para as melhorar. Através das BCI é possível verificar quando um utilizador está aborrecido, ansioso ou frustrado e utilizar essa informação para evitar isso no desenho de futuras aplicações ou jogos. [FUGA, 2014]

Muitas das aplicações BCI dedicadas ao entretenimento surgem como adaptações de conhecidos jogos mais antigos como *Pac Man* ou *Pong* fazendo-se adaptações à forma de jogar para que seja possível controlá-los via BCI. [Roman, 2007]

### 2.4.1 Classificação de Jogos com base no paradigma BCI utilizado

Um estudo de Reuderink [Reuderink, 2009]– resumido na Tabela 2 - apresenta os jogos que existiam naquela altura usando interfaces cérebro-computador. Com base nos paradigmas de BCI utilizados os jogos foram divididos em três grupos: jogos de feedback, jogos de potenciais evocados (ERP) e jogos sensoriomotores.

A maioria dos jogos de feedback aplica o relaxamento como objetivo do jogo, onde o estado de relaxamento do jogador influencia o jogo. Um exemplo de jogo é o *Brainball*, onde uma bola de aço se move para mais longe quanto mais relaxado o jogador está.

Os jogos ERP usam o conceito de que qualquer resposta do cérebro é consequência direta de um estímulo. Duas dessas respostas são o P300 e o SSVEP que são descritos no capítulo 2.3.1. Um exemplo de jogo que usa o paradigma P300 é apresentado no estudo desenvolvido por Bayliss [Bayliss, 2003] onde os participantes podem interagir com alguns objetos tais como lâmpadas, televisões entre outros e liga-los ou desliga-los. Os sinais P300 são analisados para perceber com que objeto o participante está a interagir e qual a ação a executar. O paradigma SSVEP é muitas vezes aplicado como método de seleção, como por exemplo no jogo *MindBalance* - Figura 5(a). [Lalor et al, 2005] Os jogadores têm de equilibrar um personagem em cima de uma corda focando-se em dois quadriculados que cintilam a frequências diferentes (para estimular o SSVEP). Outro exemplo onde o SSVEP é usado é no jogo *Bacteria Hunt* [Mühl et al, 2009], onde os jogadores têm de controlar uma ameba e caçar o maior número de bactérias possível - Figura 5(b). Apesar de o jogo *Bacteria Hunt* não aparecer no estudo de Reuderink uma vez que foi desenvolvido mais tarde, vale a pena ser mencionado pelo facto de ser multi paradigma. Os jogadores movem a ameba com o teclado e à medida que vão ficando mais stressados, vai sendo cada vez mais difícil controlá-la. Para além disso, comer as bactérias é feito através de estímulos SSVEP.

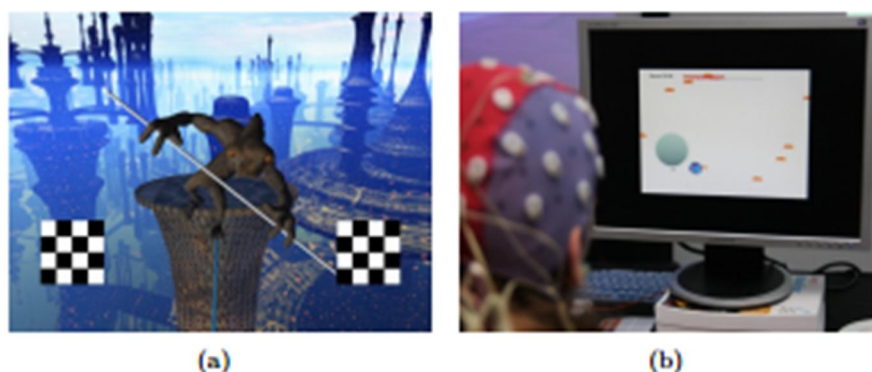


Figura 5 – (a) Screenshot do jogo MindBalance; (b) Jogador a jogar BacteriaHunt; [Bullock]

O último grupo definido por Reuderink baseia-se no paradigma sensoriomotor, explicado no capítulo 2.3.2.1. No caso de algum movimento ser realizado ou imaginado, sinais cerebrais distintos são gerados e podem por isso ser detetados e processados. Uma grande vantagem que advém de um sistema BCI depender da atividade motora é o facto de não serem

necessários estímulos externos podendo portanto ser controlados exclusivamente pelo cérebro.

Tabela 2 – Aplicações de entretenimento controladas por BCI desenvolvidas até 2009.  
[Reuderink, 2008]

Publicação/Ano	Paradigma	Tipo Sensores	Nº sensores	Precisão
Vidal, 1977	SSVEP	EEG	5	80%
Sobell and Trivich 1989	Feedback	EEG	-	-
Nelson et al. 1997	Feedback	EEG, EMG	-	-
Allanson and Mariani, 1999	Feedback	EEG	-	-
Middendorf et al, 2000	SSVEP	EEG	2	88%
Bayliss, 2000	P300	EEG	-	85%
Cho et al., 2002	Feedback	EEG	3	-
Tschuur, 2002	Feedback	EEG	32	85%
Hjelm, 2003	Feedback	EEG	-	-
Bayliss, 2003	P300	EEG	5	-
Pineda et al, 2003	<u>S</u> ensoriomotor	EEG	3	-
Palke, 2004	Feedback	EEG	1	-
Bayliss et al, 2004	P300	EEG	7	85%
Leeb et al, 2004	<u>S</u> ensoriomotor	EEG	4	98%
Mason et al, 2004	<u>S</u> ensoriomotor	EEG	12	97%
Mingyu et al, 2005	Feedback	EEG	3	-
Lalor et al, 2005	SSVEP	EEG	2	80%
Leeb et al, 2005	<u>S</u> ensoriomotor	EEG	6	92%
Lee et al. 2006	-	Single units	-	-
Kaul, 2006	Feedback	EEG, EMG, EOG	3	-
Lin and John, 2006	Feedback	EEG	1	-
Wang et al.2007	-	EEG	-	-
Shim et al, 2007	Feedback	EEG	4	-
Martinez et al, 2007	SSVEP	EEG	2	80%
Kayagil et al, 2007	<u>S</u> ensoriomotor	EEG	4	77%
Krepki et al, 2007	<u>S</u> ensoriomotor	EEG	128	100%
Scherer et al, 2007	<u>S</u> ensoriomotor	EEG, EMG, EOG	3	-
Lotte et al, 2008	Feedback /M	EEG	1	-
Bussink, 2008	<u>S</u> ensoriomotor	EEG	32	45%
Lehtonen et al, 2008	<u>S</u> ensoriomotor	EEG	6	74%
Oude Bos, 2008	<u>S</u> ensoriomotor	EEG	32	-
Finke et al, 2009	P300	EEG	10	66%
Jackson et al, 2009	SSVEP	EEG	2	50%
Zhao et al, 2009	<u>S</u> ensoriomotor	EEG	5	75%
Tangemann et al, 2009	<u>S</u> ensoriomotor	EEG	64	-

Analisando a tabela é possível verificar que o primeiro jogo utilizando BCI foi feito em 1977, no entanto a investigação e utilização de BCI para fins lúdicos só se tornou comum a partir do fim da década de 90. A maioria dos jogos utiliza BCIs não invasivas como EEG, EMG e EOG, havendo apenas um que utilizou BCI invasiva através de *multi units*. No trabalho de Krepki et al em 2007 foi possível obter uma precisão de 100% na utilização do jogo por eles contruído, mas para isso foi necessário a utilização de 128 sensores.

## 2.5 Limitações das BCI atuais

Apesar da investigação no campo das BCI ser relativamente recente, nas últimas duas décadas fizeram-se grandes avanços na investigação deste tipo de tecnologia. A precisão dos sistemas BCI aumentou significativamente e com isso o tempo de treino necessário para os usar foi reduzido.

Apesar destes avanços na tecnologia há algumas questões que continuam por resolver. A maioria dos sistemas BCI não estão preparados para o uso contínuo na vida diária. Ainda necessitam de um esforço excessivo para configurar, calibrar e operar bem como a supervisão de técnicos durante o uso. Esta limitação ocorre pelo facto de a maioria dos sistemas se basear na monitorização dos sinais cerebrais por EEG. Apesar de ser das formas mais fáceis de ler os sinais cerebrais, o EEG requer que os eléttodos sejam humedecidos e que o contacto entre o eléttodo e o couro cabeludo seja bom. Para além do referido anteriormente a tecnologia atual de BCI requer muita concentração por parte do utilizador o que pode causar fadiga rapidamente.

## 2.6 O futuro das BCI

A aplicabilidade mais ampla de tecnologia BCI para uso recreativo requer melhoramentos que não estiveram em foco nas pesquisas feitas para utilização médica. Nos pontos seguintes serão explicadas as melhorias que têm estado em foco nas pesquisas sobre BCI para que esta tecnologia possa ser adotada para aplicações recreativas de uso diário.

### 2.6.1 Eléttodos secos.

Nas maioria das BCI atualmente no mercado utiliza eléttodos que necessitam de humidade o que faz com que a sua preparação consuma demasiado tempo. Esta é uma das principais razões para que esta tecnologia ainda não tenha sido adotada em massa.

Os primeiros protótipos de eléttodos secos foram desenvolvidos no fim dos anos sessenta [Richardson et al, 1968] e desde aí vários eléttodos secos foram testados [Searle et al, 2000], bem como eléttodos de acoplamento capacitivo [Oehler et al, 2008]. Além do tempo reduzido para instalação há também outros benefícios para monitorização a longo prazo. Eléttodos

molhados, dependem de um gel que pode secar o que compromete a leitura dos sinais EEG, enquanto que elétrodos secos permanecem funcionais. A inclusão de elétrodos secos flexíveis em tecidos têxteis [Muhlsteff et al 2004] poderá ser também uma realidade no futuro para facilitar a monitorização de pacientes.

### **2.6.2 Redução da necessidade de Treino**

A primeira abordagem para estabelecer um canal de comunicação BCI puro, o qual não depende de quaisquer vias de saída neuromusculares foi descrito por Elbert et al., em 1980. [Elbert et al., 1980]. Nesta variante de BCI o utilizador tem aprender a auto controlar os seus potenciais corticais lentos o que exige formação intensiva do lado do utilizador. [Elbert et al., 1980] Mais tarde uma nova abordagem introduz a modulação voluntária dos ritmos sensoriomotores [Pfurtscheller et al, 1999] – capítulo 2.3.2.1 – o que reduziu substancialmente a formação exigida [Vaughan et al., 2006] mas que mesmo assim faz depender a utilização da BCI de algumas sessões de treino devido à extração de características para controlo da BCI que ainda é relativamente fixa e não contempla as mudanças cerebrais de utilizador para utilizador. Sistemas BCI baseados na deteção de potenciais relacionados com estímulos externos – Capítulo 2.3.1 – normalmente requerem menos treino por parte dos utilizadores, mas têm como desvantagem o facto de dependerem de estímulos externos o que faz com que o utilizador não seja completamente independente no controlo da BCI. A redução do tempo de treino será portanto um dos objetivos na investigação dos próximos anos.

### **2.6.3 Redução da necessidade de calibração**

Mesmo que seja possível reduzir o tempo de treino do utilizador através do uso de uma BCI baseada em estímulos externos, continua a haver uma etapa demorada de preparação que é a calibração do sistema para as características cerebrais do utilizador. Nos últimos anos têm sido feitas algumas tentativas para evitar esta etapa de calibração através do uso de técnicas de aprendizagem e inteligência artificial especificamente desenvolvidos para este fim o que faz prever que no futuro seja possível utilizar BCI's sem ser necessário fazer o processo de calibração. [Alisson et al., 2008][Cecotti, 2010]

## **3 Aquisição e Processamento de Dados**

Para aquisição de dados existiam várias opções comerciais de *headsets EEG*. *Headsets* com um eletrodo como por exemplo o *Neurosky Mindset* [Neurosky, 2013a] foram considerados, pelo seu preço e simplicidade. A maioria tinha um SDK que permite um desenvolvimento de aplicações de forma bastante simples. Contudo, o facto de terem apenas um eletrodo impedia a realização de algumas funções na aplicação. Posto isto, a escolha passou a incidir em *headsets* multi eletrodo. As suas vantagens incluíam a possibilidade de aceder a mais do que uma localização do cérebro o que permite um maior conjunto de funções.

Ponderadas todas as opções, a escolha recaiu no EPOC da *Emotiv*, pelo baixo custo do *headset*, pelo facto de ter múltiplos eletrodos e pelo seu SDK bastante completo.

### **3.1 Emotiv EPOC**

Lançado em 2007 o *Emotiv EPOC* recorre a 14 eletrodos com uma frequência de amostragem de 128 Hz situados nas posições AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8 e AF4 do sistema internacional 10-20, que adquirem as ondas cerebrais diretamente a partir do contacto com o couro cabeludo do utilizador. Posteriormente processa as ondas cerebrais e transmite-as sem fios para um computador.

A acompanhar este dispositivo, é disponibilizado pelo seu fabricante um *SDK* com uma *API* bastante completa para os programadores poderem tirar partido das funcionalidades do *Emotiv EPOC* nas suas aplicações. [Emotiv, 2013]

### **3.2 SDK**

O *SDK* do *Emotiv EPOC* contém uma *API* que está acessível através de dois *DLLs* que podem ser integrados no projeto da nossa aplicação. Após a receção e processamento dos dados obtidos a partir do *Emotiv EPOC*, é criada uma estrutura temporária, na qual são guardados

todas as leituras obtidas até ao momento. A API disponibiliza uma grande variedade de funções que permitem o controlo e processamento dos dados recolhidos, facilitando assim o desenvolvimento de aplicações que tirem partido de todas as funcionalidades que o *Emotiv EPOC* oferece.

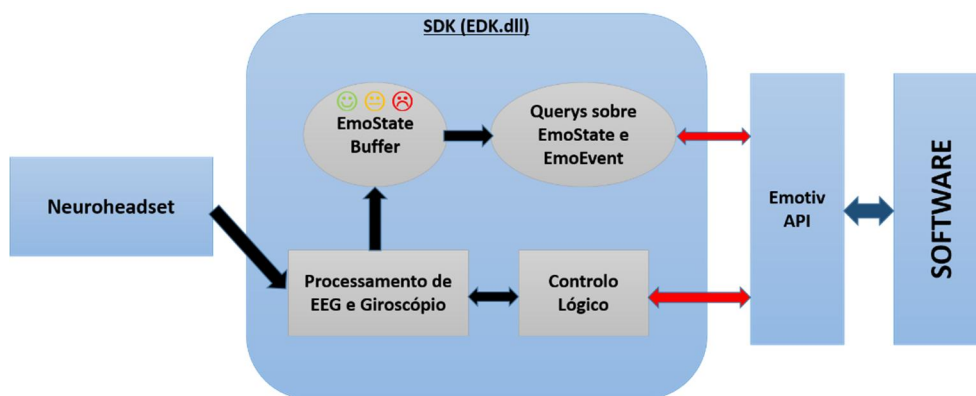


Figura 6 – Diagrama da integração do SDK e da API da *Emotiv* com uma aplicação

### 3.2.1 *Emotiv Control Panel*

O Painel de controlo do *Emotiv EPOC* permite visualizar de forma gráfica todas as funcionalidades que o SDK fornece.

Permite ainda criar utilizadores do dispositivo, calibrá-lo e guardar a calibração para cada utilizador.

Para calibrar o EPOC, é pedido ao utilizador para visualizar, repetidamente a ação pretendida. Existem 13 tipos de ações a que se podem associar padrões cerebrais e como tal calibrar através do painel de controlo.

Através do interface gráfico apresenta diferentes tipos de informação útil para o utilizador como por exemplo os estados emocionais, as expressões faciais e o movimento dos olhos correspondentes à *Expressiv Suite*, *Affectiv Suite* e *Cognitive Suite*. É ainda possível verificar de forma fácil o estado de ligação do *Emotiv EPOC* ao computador, incluindo se os diversos eléctrodos estão a funcionar de forma correta.

### 3.2.2 *Affectiv Suite*

Uma das funcionalidades que o SDK oferece e que foi utilizada no âmbito deste projeto foi a *Affectiv Suite*. A *Affectiv Suite* está relacionada com o estado emocional do utilizador, nomeadamente com o Entusiasmo, Tédio, Atenção e Meditação. Os dados cerebrais recolhidos são avaliados automaticamente, sendo as emoções detetadas recorrendo a padrões universais, não sendo assim necessária a calibração. Os níveis de entusiasmo são

obtidos tanto instantaneamente como ao longo do tempo, sendo possível avaliar o estado do utilizador em tempo real ou num determinado intervalo de tempo.

### 3.2.3 *Cognitive Suite*

A *Cognitive Suite* é a secção que permite a associação de determinados padrões cerebrais com comandos do SDK. Através de uma calibração realizada no Painel de Controlo, é possível manipular um objeto virtual ou a interface de uma aplicação. Como falado anteriormente, existem 13 ações disponíveis – empurrar, puxar, mover para a esquerda, mover para a direita, mover para cima, mover para baixo, rodar no sentido dos ponteiros do relógio, rodar no sentido oposto aos ponteiros do relógio, rodar para a esquerda, rodar para a direita, rodar para a frente, rodar para trás e desaparecer. O EPOC permite o uso de quatro estados cognitivos em simultâneo, apesar de ser extremamente difícil ao utilizador conseguir manter o controlo de tal situação.

### 3.2.4 *Utilização do SDK no software.*

Para utilizar o SDK do *Emotiv EPOC* foi necessário fazer a importação para o projeto de dois ficheiros *dll* que contêm classes que descodificam a informação obtida pelo *Emotiv EPOC* e a fornecem de forma bastante mais simplificada.

Para fazer a ligação ao *Emotiv EPOC*, foi necessário declarar uma variável do tipo *EmoEngine* e utilizar a função *Connect*.

```
emoEng.Connect();
```

Código 1 – Conexão ao *Emotiv EPOC*

A partir do momento em que é feita a ligação o SDK vai colocando as ações do utilizador num buffer. O *software* tem de aceder a esse buffer regularmente para utilizar a informação do *Emotiv EPOC*. Neste caso como a interface gráfica é controlada via *Emotiv EPOC* é necessária aceder às informações do *buffer* em curtos espaços de tempo para que não haja desfasamentos entre os pensamentos do utilizador e o comportamento do *software*. Como tal, foi criado um *timer* que a cada cem milissegundos chama a função do SDK que processa a informação do *Emotiv*. No caso do jogo *Pong*, para o *delay* entre o pensamento e ação ser menor foram usados cinco milissegundos.

```
emoEng.ProcessEvents(100);
```

Código 2 – Função do SDK que processa os eventos.

Caso existam eventos a processar, esta função do SDK dispara um evento que é recebido pelo *software* e que por sua vez chama a função que interpreta as ações do utilizador e as converte em ações do *software*.

```

public void processa_eventos(EmoState estado)
{
    entusiasmo = Convert.ToInt32(estado.AffectivGetExcitementShortTermScore()
    * 10);
    tédio = Convert.ToInt32(estado.AffectivGetEngagementBoredomScore() * 10);
    meditacao = Convert.ToInt32(estado.AffectivGetMeditationScore() * 10);
    frustracao = Convert.ToInt32(estado.AffectivGetFrustrationScore() * 10);

    if (estado.CognitivGetCurrentAction().ToString() != "COG_NEUTRAL")
    {
        if (estado.CognitivGetCurrentAction().ToString() == "COG_LEFT")
        {
            EsquerdaAcao(this, new EventArgs());
        }

        if (estado.CognitivGetCurrentAction().ToString() == "COG_RIGHT")
        {
            DireitaAcao(this, new EventArgs());
        }

        if (estado.CognitivGetCurrentAction().ToString() == "COG_PUSH")
        {
            SeleccionarAcao(this, new EventArgs());
        }
    }
}

```

Código 3 – Função que interpreta os dados do *Emotiv* EPOC recebidos do SDK

A função presente no Código 3 é a função responsável por interpretar os eventos do *Emotiv* EPOC e transmiti-los ao *software*.

Na primeira parte da função são processados os eventos da *Affectiv Suite* que contêm os estados do utilizador para o entusiasmo, tédio, meditação e frustração. Os valores de cada um dos estados é recebido numa escala de zero a um com intervalos de 0,1 e para ser usado no *software* é multiplicado por dez para passar a uma escala de 0 a 10.

Na segunda parte da função são processados os eventos da *Cognitive Suite*. Apesar de permitir muitas mais ações, para este *software* só foram necessários os movimentos de esquerda, direita e empurrar. Sempre que o utilizador pensa num destes movimentos, é lançado um evento que é recebido pelos vários controlos - menus, teclados e outros – que os faz movimentar para a direita, esquerda ou selecionar a opção pretendida através do movimento de empurrar.

## 4 Software

Para tentar aproveitar ao máximo as potencialidades do *Emotiv* EPOC foi construída uma aplicação que disponibiliza um jogo de *Pong* e um reprodutor de música bem como faz a gestão de utilizadores que utilizam a aplicação.

O jogo *Pong* foi construído com o objetivo de utilizar a *Cognitive Suite* do *Emotiv* EPOC enquanto que o reprodutor de música foi construído com o objetivo de utilizar a *Affectiv Suite*.

O desenho da Aplicação revelou-se um desafio devido à complexidade/diversidade de atividades que se propõe a executar. Foi feito um diagrama de caso de uso que se encontra no anexo 7.5.1 e que demonstra as funcionalidades gerais da aplicação. Foi feito também um diagrama de arquitetura que se encontra no anexo 7.4.

Todas as decisões tomadas referentes à escolha da tecnologia, à interface e funcionalidades da aplicação são explicadas nos pontos seguintes.

### 4.1 Tecnologia Utilizada

O SDK fornecido pela *Emotiv* para controlo do EPOC suporta três linguagens – *Java*, *Python* e *Mathlab* - e uma *framework* de programação - *.Net*.

Tendo em conta o tipo de aplicação a ser desenvolvida era necessário escolher a linguagem de programação que melhor estivesse orientada a conteúdos multimédia e ao desenho de *GUI*.

O *Mathlab* é uma linguagem de programação utilizada para realização de cálculos matemáticos e respetiva representação gráfica. Permite construir *GUI* bastante simples e ler alguns ficheiros multimédia tais como imagens.

O *Python* é uma linguagem de programação de alto nível com algumas características de linguagem orientada a objetos. Incorpora ideias encontradas noutras linguagens como por

exemplo exceções, classes e módulos. Permite a criação de interfaces gráficas usando bibliotecas de terceiros como por exemplo a PyGTK ou a Etk.

Também permite a manipulação de ficheiros multimédia e a criação de jogos através de bibliotecas como por exemplo a Pygame para criação de jogos ou a Python Imaging Library para manipulação de imagens. O acesso a bases de dados necessita igualmente do uso de bibliotecas desenvolvidas por terceiros. Para além do descrito anteriormente, como grande vantagem o python tem o facto de ser gratuito sob uma licença GNU GPL. As bibliotecas de terceiros por vezes são pagas.

O Java é uma linguagem de programação orientada a objetos, que ao contrário da maioria das outras linguagens de programação que são compiladas para código nativo, o java é compilado para um *bytecode* que é executado por uma máquina virtual. Isto faz com que seja possível correr o mesmo código em múltiplas plataformas, bastando para isso que essas plataformas corram a máquina virtual que interpreta o *bytecode* Java. É uma linguagem que suporta recursos de alto desempenho como *multithreading*, compilação *just-in-time*.

O Java permite construir jogos e o facto de ser orientada a objetos, ajuda a controlar a complexidade e permite a reutilização de código, reduzindo assim o tempo de desenvolvimento. Uma grande desvantagem do Java é o facto do *bytecode* gerado ter uma performance entre dez a vinte vezes menor que o código nativo do processador. Um exemplo de jogo que o Java permite construir é o popular jogo *Minecraft*.

A nível de interface gráfica o Java traz nativamente duas bibliotecas – AWT e Swing. A AWT foi a primeira API para interfaces gráficas a surgir no Java, mas foi mais tarde superada pela Swing. São bibliotecas bastante complexas dado o seu tamanho e enorme quantidade de possibilidades que permitem. Para além destas duas bibliotecas existem ainda algumas bibliotecas produzidas por terceiros sendo a mais famosa a SWT desenvolvida pela IBM.

O acesso a bases de dados faz-se por meio do JDBC, que não é mais do que uma API que permite o envio de instruções SQL para bases de dados relacionais a partir das aplicações escritas em Java.

Por fim a *framework* .NET baseia-se numa ideia semelhante à que serve de base ao Java. Aplicações escritas nas linguagens suportadas pela *framework* .NET correm em todas as máquinas que possuam a *framework* instalada. Corre sobre uma CLR que atualmente é capaz de executar mais de 33 linguagens de programação entre as quais se destaca o C#, uma linguagem de programação orientada a objetos baseada no C++ mas que inclui muitas influências de outras linguagens, sendo muito parecida com o Java.

Na *framework* .NET destaca-se também o poderoso subsistema gráfico WPF que usa uma linguagem de marcação chamada XAML para o desenvolvimento de GUIs ricas. O WPF oferece uma separação entre a interface com o utilizador e a lógica do negócio. Para além dos controlos habituais, permite ainda o desenvolvimento por parte do programador de aspetos visuais e novos controlos. Permite ainda a criação de jogos, animações 2D e 3D, e a integração de forma bastante simples de componentes multimédia, tais como áudio e vídeo. O WPF

permite ainda uma grande flexibilidade na construção de *layouts* redimensionáveis, e o uso do XAML permite fazer alterações radicais no layout de uma aplicação, sem ser necessário alterar o código da aplicação.

A *framework* .NET permite ainda um acesso bastante facilitado a bases de dados através do componente LINQ que adiciona funcionalidades de consulta a bases de dados relacionais em algumas linguagens de programação desta *framework*, nomeadamente ao C# e ao Visual Basic.

A *framework* .NET tem como desvantagem o facto de atualmente só correr em dispositivos com Sistemas Operativos da Microsoft.

Depois de ponderadas todas as opções optou-se por utilizar a *framework* .NET, recorrendo ao C# para a programação e ao *WPF* para a interface. Esta escolha deve-se ao facto de o *WPF* permitir construir interfaces gráficas muito mais versáteis. Isto irá permitir a construção de uma interface gráfica mais intuitiva do ponto de vista da usabilidade, limitando as lacunas que o *Emotiv EPOC* pode ter para controlo de uma aplicação e potenciando as suas melhores funcionalidades.

Depois da escolha da tecnologia para a aplicação recair na *framework* .NET, a escolha mais adequada para a base dados é o MS SQL Server, não só por estar otimizado para correr em ambientes Windows tal como a *framework* .NET, mas também por permitir a utilização da tecnologia LINQ falada anteriormente que facilita o desenvolvimento da aplicação e aumenta a performance nos acessos à base de dados. Dado o volume de dados desta aplicação ser relativamente pequeno optou-se de entre as versões disponibilizadas, utilizar o *MS SQL Server Express*, por ser gratuito e bastante leve.

## 4.2 Interface Gráfica

A interface gráfica é um fator chave para o sucesso da aplicação por causa da grande limitação que é o facto de ter de ser controlada pelo *Emotiv EPOC*. Uma das grandes preocupações por causa dessa limitação é a usabilidade.

Segundo Jakob Nielsen a usabilidade é um conjunto de cinco atributos: aprendizagem, eficiência, memorabilidade, erros e satisfação. Tendo em conta estes cinco fatores é possível aumentar constantemente a usabilidade. [Nielsen J., 2000]

Qualquer um destes cinco atributos só podem ser medidos com testes feitos no fim do desenvolvimento da aplicação, mas para garantir a usabilidade da aplicação três destes atributos têm que ser bem pensados logo na conceção da aplicação. São eles a aprendizagem, a eficiência e a memorabilidade.

A aprendizagem neste contexto significa que deve ser fácil perceber como funciona a aplicação e que o utilizador deve conseguir rapidamente utilizá-lo de forma produtiva. Este é um dos mais importantes atributos da usabilidade porque normalmente o primeiro contacto

de um utilizador com o sistema é muito importante na opinião que ele forma sobre o sistema. A utilização de *Skeuomorfismo* - aparência e comportamento de objetos reais a elementos da interface – também poderá facilitar a aprendizagem já que o utilizador conhecendo o objeto real poderá inferir características e modos de funcionamento da aplicação. Já a eficiência mede a produtividade do sistema depois de este ter sido aprendido pelo utilizador. Este atributo é difícil de medir em aplicações novas e com poucos utilizadores, mas desde o início da sua conceção devem ser pensadas formas de poder melhorar este atributo. Por fim a memorabilidade mede a facilidade com que se memoriza a forma de uso de uma aplicação. Por exemplo uma forma de aumentar a memorabilidade é usar ícones a acompanhar o texto em vez de usar apenas texto porque para o ser humano é mais fácil memorizar objetos gráficos.

Como visto anteriormente o *Emotiv EPOC* através da *Cognitive Suite* permite movimentar objetos em algumas direções apenas com pensamentos. Tendo isso em conta mas também os atributos da usabilidade, a interface gráfica foi construída tendo em mente três movimentos básicos que são o mover para a esquerda, o mover para a direita e o empurrar.

O facto de o utilizador ter de pensar apenas em três movimentos aumenta a aprendizagem e a memorabilidade do funcionamento do sistema. A eficiência do sistema também aumenta porque o treino requerido para usar o *Emotiv EPOC* com apenas três pensamentos é bastante menor do que se o utilizador tivesse de pensar em mais movimentos.

Foi construído um componente em WPF (Figura 7) que serve de base aos menus da aplicação.



Figura 7 – Componente que serve de base aos menus da aplicação

### 4.3 Perfis de Utilizador

Os gostos e interesses pessoais de cada utilizador levam a que a utilização que cada um faz do *software* seja diferente. A necessidade de personalização e a adequação da informação a cada utilizador levou a que fosse necessário criar um sistema de perfis de utilizador.

Sendo assim foi criada uma secção para registo de novos utilizadores que à semelhança do restante *software* é também totalmente controlada pelo *Emotiv EPOC*. Foi criado um

diagrama de caso de uso para o registo de utilizadores que pode ser consultado no anexo 7.5.2.

Com recurso a um teclado virtual presente na Figura 8, o utilizador pode escrever o nome de utilizador pretendido. Para além disso, através de um menu semelhante ao da Figura 7 pode escolher um avatar e guardar o perfil de utilizador.



Figura 8 – Teclado virtual

Depois de criado o perfil, nas utilizações seguintes o utilizador apenas tem de escolher o seu perfil, para que a aplicação adeque a experiência de utilização ao utilizador.

A criação de perfis neste *software* foi necessária para a funcionalidade de rádio do reprodutor de música, sendo essa funcionalidade explicada mais à frente no ponto 4.5.4.

## 4.4 Jogo tipo “Pong”

Uma das vertentes das Interfaces cérebro máquina é a sua utilização numa vertente lúdica. Para mostrar a sua possível utilização em jogos de vídeo, foi construído um jogo do tipo *Pong* - Figura 9.

O Jogo *Pong* é um jogo de vídeo, jogado a 2 dimensões e baseado no ténis de mesa. O jogador controla uma barra que se move na horizontal na parte inferior do ecrã e o computador controla outra barra semelhante que se encontra na parte superior do ecrã. As barras são utilizadas para devolver uma bola ao adversário. Sempre que um jogador não consegue devolver a bola perde uma vida. Cada jogador possui três vidas.

Ao contrário do jogo original, em que as barras se movimentam na vertical, nesta versão do jogo as barras deslocam-se horizontalmente para manter a coerência de movimentos com o resto da aplicação. Assim evita-se que o utilizador tenha de treinar mais dois movimentos (cima e baixo). Para deslocar a barra o utilizador apenas precisa de pensar em 2 movimentos (esquerda e direita). A bola também tem um movimento mais lento para permitir que o utilizador tenha tempo de movimentar as barras através da BCI para devolver a bola. O sistema de pontuação também foi modificado em relação ao jogo original, sendo que nesta versão cada jogador tem três vidas.

Este jogo tira partido dos potenciais espontâneos, mais precisamente da imaginação de movimentos que é fornecido pelo *Emotiv* EPOC através da *Cognitive Suite* e enquadra-se no paradigma sensoriomotor explicado no capítulo 2.4.1. Na Figura 9 está representado o jogo contruído.

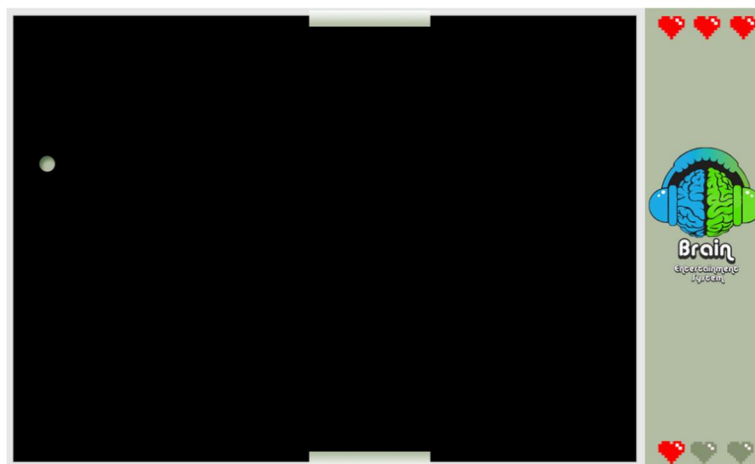


Figura 9 – Jogo tipo “Pong”

## 4.5 Reprodutor de música

No âmbito desta tese, também foi construído um reprodutor de música com o objetivo de utilizar a *Affectiv Suite* do *Emotiv EPOC* e demonstrar outra vertente das BCI que é a recolha de informação do utilizador para sugerir conteúdos. É possível ver um diagrama de caso de uso com todas as funcionalidades do reprodutor de música no capítulo de anexos 7.5.3.

As decisões tomadas e trabalho feito está explicado nos pontos seguintes.

### 4.5.1 Interface Gráfica

A interface gráfica do reprodutor de música segue as diretrizes gerais do resto da aplicação. Através do *Emotiv EPOC* o utilizador deverá ser capaz de executar todas as tarefas com os 3 pensamentos já utilizados na restante aplicação (mover para a direita, mover para a esquerda e empurrar).

Para além disso os ícones usados são também semelhantes aos ícones usados na maioria dos reprodutores de música presentes no mercado e a vários outros ícones usados noutras funcionalidades da aplicação.

Segue uma breve explicação de cada um dos ícones do reprodutor de música.

#### 4.5.1.1 Menu Principal

O ícone representado na *Figura 10* faz o utilizador regressar ao Menu Principal



Figura 10- Ícone para regressar ao menu principal

#### 4.5.1.2 Abrir Ficheiro

O ícone representado na *Figura 11* permite ao utilizador abrir o ficheiro de áudio que deseja reproduzir no reprodutor de música.



Figura 11- Ícone para abrir ficheiro

#### 4.5.1.3 Rádio

O ícone representado na *Figura 12* faz o reprodutor de música executar uma playlist elaborada com base nas preferências do utilizador. Este modo é explicado com mais pormenor no ponto 4.5.4.



Figura 12 – Ícone de escolha do modo Rádio

#### 4.5.1.4 Música favorita

O ícone representado na *Figura 13* permite ao utilizador selecionar a música que está a ouvir como uma das suas músicas favoritas. Esta seleção vai ser tida em conta na elaboração das *playlists* do modo rádio explicado mais em pormenor no ponto 4.5.4.



Figura 13 – Ícone de escolha de música favorita

#### 4.5.1.5 Play, Pausa e Stop

Na *Figura 14* estão presentes o ícones de *play*, *pausa* e *stop*.

O ícone da esquerda permite ao utilizador iniciar a reprodução de uma música.

O ícone do centro permite colocar em pausa a reprodução de uma música. Se o utilizador carregar no ícone *play* a música começa a ser reproduzida a partir do ponto onde se encontrava antes da pausa.

O ícone da direita permite ao utilizador parar a reprodução de uma música. Se o utilizador carregar no ícone de *play* a música começa a ser reproduzida novamente do início.



Figura 14 – Ícones de controlo da Reprodução de áudio

#### 4.5.1.6 Volume de som

Na *Figura 15* estão representados os ícones que permitem controlar o volume do som.

O ícone da esquerda permite ao utilizador diminuir gradualmente o volume do som.

O ícone central permite ao utilizador aumentar gradualmente o volume do som até ao máximo permitido pelo computador.

O ícone da direita possibilita ao utilizador retirar de forma instantânea o som ao reprodutor de música, isto é, fazer *mute*.



Figura 15 – Ícones de Controlo de Volume

### 4.5.2 Reprodução de ficheiros Áudio

Para reprodução de ficheiros áudio foi usada uma classe nativa da *framework* .NET, a classe *MediaPlayer*.

Esta classe fornece funções que permitem implementar todas as funcionalidades de um reprodutor de música, tais como abertura de ficheiros de áudio, *play*, pausa, stop e controlo de volume.

Para a implementação do reprodutor de música começou-se por criar uma variável do *MediaPlayer*.

Para reproduzir um ficheiro de áudio é necessário atribuí-lo à variável *mediaplayer*. Para isso utilizou-se a função *Open* da classe *MediaPlayer*, a qual tem como parâmetro de entrada o URL do ficheiro áudio.

```
mediaPlayer.Open(new Uri(fileUrl));
```

Código 4 – Abrir ficheiro áudio

Para implementar a funcionalidade de reprodução do ficheiro aberto utilizou-se a função *Play* fornecida pela classe.

```
mediaPlayer.Play();
```

Código 5 – Reproduzir ficheiro áudio

Para implementar a funcionalidade de pausa na reprodução de áudio utilizou-se a função Pause fornecida pela classe.

```
mediaPlayer.Pause();
```

Código 6 – Colocar a reprodução em pausa

Para implementar a funcionalidade que permite parar a reprodução de áudio utilizou-se a função Stop fornecida pela classe.

```
mediaPlayer.Stop();
```

Código 7 – Terminar reprodução de ficheiro áudio

Para implementar as funcionalidades de aumentar e diminuir o volume e mute, a classe oferece a propriedade que permite definir um valor entre zero e um para o volume sendo que um corresponde ao volume máximo e zero corresponde ao mute.

Neste caso optou-se por fazer o aumento e a diminuição de volume em intervalos de 0,1. No caso do mute é feita a atribuição direta do valor zero à propriedade volume.

```
mediaPlayer.Volume = mediaPlayer.Volume - 0.1;  
mediaPlayer.Volume = mediaPlayer.Volume + 0.1;  
mediaPlayer.Volume = 0;
```

Código 8 – Diminuir e aumentar o volume de som e colocar em mute

### **4.5.3 Biblioteca de Leitura de metadados ID3**

Para que fossem apresentadas ao utilizador as informações da música que está a ouvir foi necessário implementar uma funcionalidade de leitura de metadados ID3 dos ficheiros áudio.

O processo de adicionar informação que descreve o ficheiro de áudio é conhecida por “tagging”. O *standard* para adicionar metadados a ficheiros áudio foi desenvolvido em 1996 por Eric Kemp e recebeu o nome de ID3. Atualmente o ID3 encontra-se na versão 2.4.0 e para além do mp3, permite adicionar metadados a outros tipos de ficheiro tais como Ogg Vorbis e WMA. [ID3, 2014]

Para facilitar a leitura dos metadados foi usada a biblioteca UltraID3Lib.

A UltraID3Lib é uma biblioteca .NET que permite ler e escrever metadados no formato ID3 em ficheiros áudio. Funciona desde a versão 1.0 até à versão 2.3 do ID3 e suporta setenta e quatro tipos diferentes de metadados. [UltraLibId3, 2014]

No caso deste reproduzidor de música apenas foram usadas a funcionalidades de leitura fornecidas pela biblioteca, para leitura do nome da música e do artista.

A leitura de metadados através desta biblioteca é bastante simples como é possível verificar no Código 9. Primeiro criou-se uma variável do tipo UltraID3, uma classe fornecida pela biblioteca. Seguidamente utilizou-se a função Read à qual se passou o URL do ficheiro. Através da propriedade *ExistsInFile* é feita a verificação da existência metadados no ficheiro. Caso existam, a biblioteca oferece uma propriedade para cada um dos metadados, a qual contém a informação pretendida.

```
UltraID3 readMP3File = new UltraID3();
readMP3File.Read(url_ficheiro);
if (readMP3File.ID3v2Tag.ExistsInFile)
{
    album = readMP3File.ID3v2Tag.Album;
    artista = readMP3File.ID3v2Tag.Artist;
    titulo = readMP3File.ID3v2Tag.Title;
}
```

Código 9 – Leitura de metadados ID3

#### 4.5.4 Funcionalidade de Rádio

A funcionalidade de rádio do reprodutor de música reproduz uma lista de músicas com base nas preferências do utilizador, registadas em utilizações anteriores do *software*. A funcionalidade de Rádio tem duas formas de funcionamento, o modo *Fun* e o modo *Zen* explicados mais à frente nos pontos 4.5.4.1 e 4.5.4.2 respetivamente. Para construir a funcionalidade rádio foi necessário perceber melhor o funcionamento dos sistemas de gestão de preferências.

A quantidade de informação presente nos sistemas de informação aumenta de dia para dia. Com a capacidade limitada do ser humano para visualizar e processar essa informação, tornou-se necessário a utilização de processos de gestão das preferências, de forma a recomendar a cada um dos utilizadores a informação que lhes pode interessar mais.

Uma preferência é uma relação de ordem entre um ou mais itens, que de entre um conjunto de possíveis escolhas, melhor satisfaz os gostos do utilizador, isto é, a preferência do utilizador num conjunto de possíveis escolhas, ordena essas escolhas para que uma escolha mais desejável anteceda uma escolha menos desejável. [Brafman et al., 2009]. Sendo assim e de uma forma muito simplista, podemos definir preferências como o mecanismo que guia as nossas escolhas.

A Gestão das Preferências do Utilizador depende na totalidade de todas as informações que consegue recolher sobre o utilizador (gostos e não gostos). A informação recolhida pode ter como proveniências a inserção voluntária por parte do utilizador – recolha explícita - ou pode ser recolhida de forma implícita por através do *software* – recolha implícita. [Brusilovsky et al., 2007]

Para a gestão de preferências existem alguns modelos tais como o modelo booleano que apenas diferencia dois estados de um objeto – preferido ou não preferido. [Eckhardt, 2007]

O modelo das relações de preferência define relações entre dois objetos. Assim podemos por exemplo estabelecer a relação  $R$  ao dizer que a música  $M1$  é melhor que a música  $M2$ . [Eckhardt, 2007]

O modelo da lógica de valores é apresentada uma gama de possibilidades de valores verdadeiros como por exemplo uma gama de valores entre zero e dez sendo zero a preferência menos desejada e dez a mais desejada. [Eckhardt, 2007]

No modelo colaborativo o modelo de preferências de um utilizador é construído utilizando por base objetos avaliados anteriormente tanto pelo utilizador como por outros utilizadores. Assim um objeto é adequado para um utilizador se outros utilizadores com comportamento idêntico também estão interessados no objeto. [Dastani, 2001]

Por fim, o modelo baseado em conteúdo gere as preferências de um utilizador com base nas características e atributos dos objetos. Um objeto é considerado interessante para um utilizador se possuir característica e atributos de acordo com o modelo de preferências. Ao contrário do modelo colaborativo, o modelo baseado em conteúdo apenas pode ser aplicado quando os objetos podem ser descritos a partir de características e atributos. Outra distinção entre os dois modelos está no facto de no modelo baseado em conteúdo um objeto novo poder ser imediatamente interessante para um utilizador sem a necessidade de ser previamente avaliado pelos restantes utilizadores. [Dastani, 2001]

#### 4.5.4.1 Modo Fun

Para o modo Fun foi utilizado um algoritmo para construção da playlist com recolha de dados explícita e implícita. A recolha de dados explícita é feita através da seleção de músicas favoritas por parte do utilizador, enquanto que a recolha implícita é feita através do *Emotiv* EPOC com base nos dados obtidos em relação ao entusiasmo e ao tédio.

Sempre que um utilizador está a ouvir uma música, a cada segundo são recolhidos os dados relativos ao entusiasmo, tédio, meditação e frustração e inseridos na base de dados sobre a forma de uma avaliação.

Sempre que o utilizador ativa o modo rádio *Fun* é feito o cálculo da classificação de cada música com base nas avaliações anteriores do utilizador para aquela música segundo a seguinte fórmula:

$$Cf = Fav + \frac{\sum_{\{u,m\}}(e_{u,m} - t_{u,m})}{N_{u,m}}$$

Equação 1- Cálculo da classificação de uma música no modo rádio Fun

Na Equação 1  $Fav$  representa a indicação de que a música foi assinalada como favorita e pode assumir os valores zero e um. Ainda na Equação 1  $e_{u,m}$  e  $t_{u,m}$  representam o valor de

entusiasmo e tédio do utilizador  $u$  em relação à música  $m$ .  $N_{u,m}$  por sua vez representa o número total de avaliações do utilizador  $u$  à música  $m$ .

Depois de calculada a classificação a todas as músicas, as músicas com classificação negativa são eliminadas e todas as outras músicas são reproduzidas por ordem da classificação.

#### 4.5.4.2 Modo Zen

Para o modo *Zen* foi utilizado um algoritmo para construção da playlist com recolha de dados implícita. Essa recolha é feita através do *Emotiv* EPOC com base nos dados obtidos em relação à meditação e à frustração.

Sempre que um utilizador está a ouvir uma música, a cada segundo são recolhidos os dados relativos ao entusiasmo, tédio, meditação e frustração e inseridos na base de dados sobre a forma de uma avaliação.

Sempre que o utilizador ativa o modo rádio *Zen* é feito o cálculo da classificação de cada música com base nas avaliações anteriores do utilizador para aquela música segundo a seguinte fórmula:

$$C_Z = \frac{\sum_{\{u,m\}}(z_{u,m} - f_{u,m})}{N_{u,m}}$$

Equação 2- Cálculo da classificação de uma música no modo rádio *Fun*

Na Equação 1  $z_{u,m}$  e  $f_{u,m}$  representam o valor de meditação e frustração do utilizador  $u$  em relação à música  $m$ .  $N_{u,m}$  por sua vez representa o número total de avaliações do utilizador  $u$  à música  $m$ .

Depois de feita a classificação a todas as músicas, as músicas com classificação negativa são eliminadas e todas as outras músicas são reproduzidas por ordem da classificação.

## 4.6 Modelo de dados

Como em qualquer aplicação informática, nesta também existem dados temporários ou de sessão e existem dados persistentes. Os dados temporários são armazenados em variáveis na própria aplicação e estão disponíveis enquanto a aplicação está a ser usada, sendo eliminados quando se termina a aplicação. Os dados persistentes não são mais que toda a informação de interesse que provem da atividade do sistema.

Para garantir esta informação em futuras utilizações, é necessário guardá-la numa base de dados.

Atualmente todas as aplicações informáticas que necessitam de armazenar informação possuem um modelo de dados associado. A fase da modelação de dados é uma fase essencial na conceção e desenho de aplicações informáticas.

Nesta aplicação a informação que se pretende modelar é referente à informação de conta dos utilizadores, informação relativamente às músicas tocadas e informação recolhida pelo *Emotiv* EPOC para gestão de preferências.

Segue-se uma abordagem simplificada à modelação da estrutura de dados com a apresentação dos modelos entidade-relação e físico, idealizados para esta aplicação.

#### 4.6.1 Modelo Entidade-Relação

O modelo entidade-relação é um modelo de dados conceptual que tenta representar o cenário real dos dados através de um conjunto de entidades, que interagem entre si através de relações.

Uma entidade não é mais do que um conjunto de objetos de um cenário real cuja informação se pretende preservar. [Heuser, 1998]

Num diagrama entidade-relação (E-R) as entidades são representadas por retângulos, as relações são representadas por losangos e os atributos por elipses. As relações são unidas por linhas entre as entidades, e usam uma notação 1:1, 1:N e M:N que caracteriza o tipo de relação existente entre as entidades.

Nesta secção apresenta-se um diagrama E-R do modelo de dados que por uma questão de simplicidade não apresenta os atributos de cada entidade. Na secção 4.6.2 é apresentado o modelo físico que contempla os atributos de cada entidade.

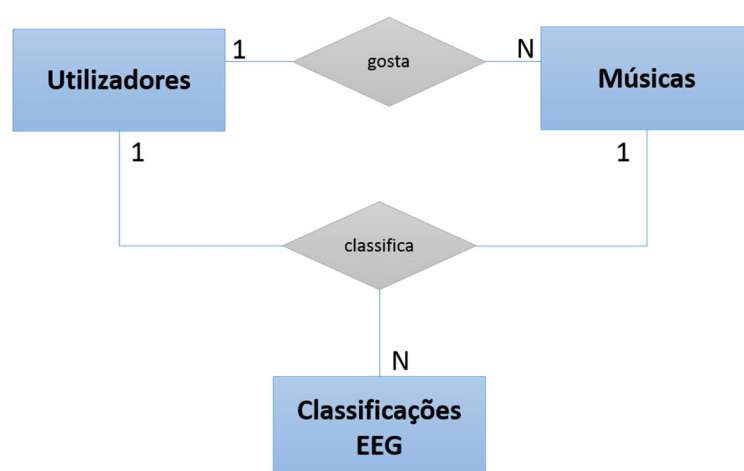


Figura 16 – Modelo entidade – relação da estrutura de dados

A Figura 16 representa o modelo E-R idealizado para a estrutura de dados, responsável pela organização da informação da aplicação proposta. Neste modelo foram definidas três

entidades que asseguram o armazenamento dos dados essenciais ao funcionamento do sistema (“Utilizadores”, “Músicas” e “Classificações”). A entidade Utilizadores é responsável por armazenar os dados respeitantes a cada um dos utilizadores. A entidade Músicas armazena os dados das músicas. A entidade Classificações armazena as classificações das músicas feitas pelos utilizadores.

#### 4.6.2 Modelo Físico

A transcrição do modelo entidade-relação, descrito na secção anterior, para o modelo relacional físico, é bastante simples. Cada entidade dá origem a uma tabela, e como neste caso a relação é ternária, existe uma tabela que associa a relação entre as três tabelas.

O diagrama do modelo físico da estrutura de dados contém as tabelas com os respetivos campos que correspondem aos atributos das entidades. Para além da representação das tabelas existem também as chaves atribuídas aos campos e as relações entre as tabelas do modelo.

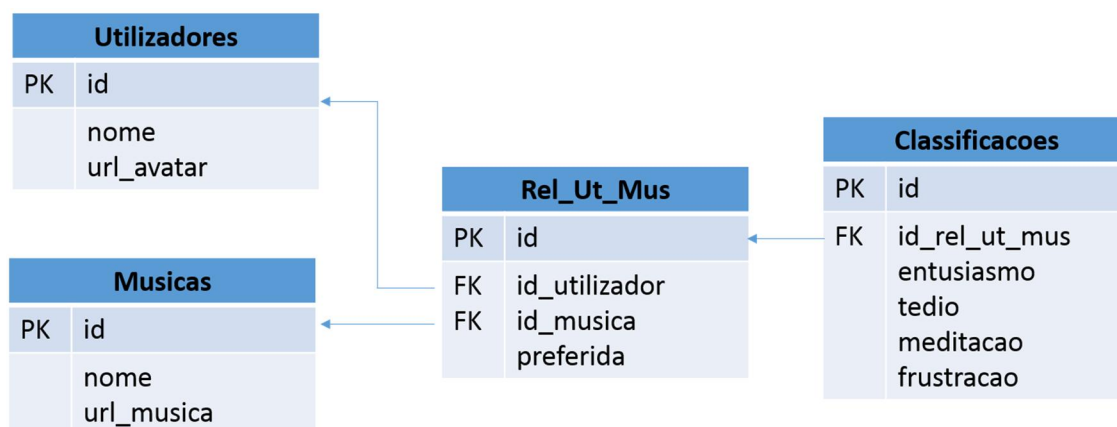


Figura 17 – Modelo Físico da estrutura de dados.

Todas as tabelas têm um `id` que indica o registo de forma inequívoca. A tabela Utilizadores armazena ainda o nome do utilizador o URL do avatar. A tabela Músicas armazena o nome e o URL da música. A tabela da relação para além dos `id`'s das outras tabelas possui uma coluna booleana que indica se a música é uma das preferidas do utilizador. A tabela Classificações tem como chave estrangeira o `id` da tabela de relação e armazena ainda os valores das classificações relativos ao entusiasmo, tédio, meditação e frustração.

## 4.7 Avaliação do software

Para avaliação do *software* controlado pelos métodos tradicionais (teclado e rato) o *software* foi testado por um total de trinta e sete utilizadores que no final responderam a um pequeno inquérito. Todas as respostas tinham uma escala de um a cinco onde um é o pior resultado e cinco o melhor. Os utilizadores tinham idades compreendidas entre os dezasseis e os cinquenta e oito anos e diferentes níveis de experiência na utilização de computadores. Seguem os resultados do inquérito e respetiva análise aos resultados.

1. Facilidade de criação de um perfil de utilizador?

Tabela 3 – Resumo de respostas à pergunta 1 do inquérito

Possibilidades de Resposta	Nº respostas
1 - Muito difícil	7
2 - Difícil	12
3 - Normal	11
4 - Fácil	5
5 - Muito fácil	2

Através da observação dos utilizadores a testar a criação de perfil, ficou claro que o teclado virtual não é uma boa solução para inserir texto, quando o *software* é controlado por teclado e rato. Uma solução seria a inclusão de um campo de texto livre. O teclado virtual só seria usado através de BCI. Este facto explica o número de respostas que consideram difícil e muito difícil a criação de perfil de utilizador.

2. Facilidade de uso do menu principal?

Tabela 4 – Resumo de respostas à pergunta 2 do inquérito

Possibilidades de Resposta	Nº respostas
1 - Muito difícil	2
2 - Difícil	3
3 - Normal	19
4 - Fácil	7
5 - Muito fácil	6

Através da observação dos utilizadores a utilizar o menu principal, foi possível observar que poucos tiveram dificuldade em perceber como funcionava. O facto de o seu funcionamento ser semelhante a outros *softwares* como *XMBC* ou o menu da *Playstation3* facilitou o uso desta funcionalidade. Este facto explica o número elevado de respostas que classificam a facilidade de utilização do menu de normal, fácil e muito fácil.

3. Jogabilidade do jogo “Pong”?

Tabela 5 – Resumo de respostas à pergunta 3 do inquérito

Possibilidades de Resposta	Nº respostas
1 - Muito Má	19
2 - Má	12
3 - Normal	5
4 - Boa	1
5 - Muito boa	0

Através da observação dos utilizadores a jogar o jogo de *Pong*, foi possível observar que o facto de ele estar mais vocacionado para BCI e portanto ser muito mais lento do que é habitual em jogos deste tipo causou alguma frustração aos utilizadores ao ser jogado através do teclado. Esse facto explica o número de respostas que classificam a jogabilidade como muito má e má.

4. Facilidade de uso do reproduztor de música?

Tabela 6 – Resumo de respostas à pergunta 4 do inquérito

Possibilidades de Resposta	Nº respostas
1 - Muito difícil	0
2 - Difícil	2
3 - Normal	14
4 - Fácil	13
5 - Muito fácil	8

Depois de observar os utilizadores a utilizar o reproduztor de música, foi possível observar que o facto de terem sido utilizados os símbolos habituais para ilustrar as funcionalidades facilitou bastante a utilização do reproduztor de música. Esse facto explica o elevado número de respostas que classificam a utilização do reproduztor de música como normal, fácil ou muito fácil.

5. Apesar de não ter experimentado pensa ser útil o modo de rádio do reprodutor de música? (se respondeu moderadamente útil, útil ou muito útil diga em que ocasiões o usaria)

Tabela 7 – Resumo de respostas à pergunta 5 do inquérito

Possibilidades de Resposta	Nº respostas
1 - Não útil	8
2 - Pouco útil	7
3 - Moderadamente Útil	5
4 - Útil	10
5 - Muito útil	7

Da avaliação das respostas a esta pergunta constata-se que esta funcionalidade divide opiniões. Se por um lado treze utilizadores não veem utilidade nesta funcionalidade por outro lado vinte e dois utilizadores consideram que em algumas ocasiões poderia ser útil. Após analisar a resposta de texto livre que estes vinte e dois utilizadores deram constata-se que a maioria dos utilizadores consideraria utilizar esta funcionalidade durante o trabalho e/ou durante a condução para seleccionar as músicas sem ter de parar o trabalho/desviar a atenção da condução para olhar para a *playlist*. Houve no entanto outras respostas com menor representatividade como por exemplo “durante a prática de desporto” ou “durante o estudo”.

6. Avaliação geral do *software*?

Tabela 8 – Resumo de respostas à pergunta 6 do inquérito

Possibilidades de Resposta	Nº respostas
1 - Muito Mau	0
2 - Mau	12
3 - Normal	19
4 - Bom	6
5 - Muito bom	0

Após avaliação das respostas a esta pergunta constata-se que a utilização do *software* através do teclado e rato tem muitos pontos para melhorar, tendo a experiência de utilização sido considerada má por doze dos participantes.

A avaliação do *software* controlada por BCI não foi feita porque o tempo de preparação da BCI para cada utilizador mais o tempo de treino necessário para cada utilizador para que a utilização do *software* fosse possível eram demasiado elevados. A sugestão de elaboração desta avaliação será incluída no capítulo do trabalho futuro.



## 5 Conclusões

*“Even on the sole basis of the present states of the art of computer science and neurophysiology, one may suggest that such a feat is potentially around the corner.”*

*Jaques Vidal, 1970*

Neste capítulo é efetuada uma reflexão crítica e levantamento de algumas questões relativas ao trabalho efetuado. Serão também feitas considerações sobre as opções tomadas e possíveis caminhos a seguir no desenvolvimento futuro do sistema.

Podem as ondas cerebrais, portadoras de um determinado conjunto de informação, ser usadas no contexto de uma comunicação entre o Homem e um computador? A esta questão, Jacques Vidal tentou responder em 1970. Com o cada vez maior conhecimento sobre o cérebro humano e o aumento do poder computacional ao longo das duas últimas décadas foi provado a nível médico que esta interação entre Homens e máquinas pode existir para melhorar a vida de pessoas com deficiências fisiológicas severas. E a sua utilização para entretenimento?

Apesar de atualmente estes sistemas ainda serem incapazes de competir com a performance e precisão dos periféricos mais comuns (teclado e rato) ficou provado com a construção do jogo *Pong* que já é possível jogar com recurso a este tipo de interface.

Em relação ao reproduzidor de música o desafio não estava tanto na interface gráfica que é bastante simples ou na sua usabilidade, mas sim em perceber até que ponto é possível utilizar os estados emocionais do utilizador para recomendar produtos/conteúdos (neste caso músicas) do seu agrado. Apesar de no *software* construído ser necessário uma avaliação prévia da música por parte do utilizador para que noutras ocasiões ela possa ser sugerida, a construção de um sistema de recomendação colaborativo poderia eliminar esta restrição. Pode-se antever então que no futuro poderá ser usado este tipo de interface para através do

estado emocional do utilizador serem recomendados outro tipo de produtos como comida, programas de televisão, filmes, entre outros. Esta tecnologia também poderá ser usada para ajustar automaticamente a luz ambiente de um espaço ou ajustar outros fatores ambientais para comodidade do utilizador.

Concluindo, com esta tese espero de certa forma ter ajudado a perceber o que são interfaces cérebro-computador, como funcionam e a provar que é possível utilizar interfaces cérebro-computador para fins lúdicos e de entretenimento. Espero também ter sido possível de certa forma antever o tipo de utilizações que poderá ser dado a este tipo de interfaces com o contínuo desenvolvimento e aperfeiçoamento das mesmas.

## 5.1 Trabalho Futuro

Apesar do que foi realizado até ao momento, existe uma série de melhorias e novas funcionalidades que podem melhorar o trabalho realizado. Como tal, para trabalho futuro no âmbito desta tese sugere-se:

- Inclusão de um reprodutor de vídeo controlado totalmente por BCI (à semelhança do *reprodutor* de áudio).
- Criação de um visualizador de imagens controlado por BCI, com gestão de preferências e função que sugere as imagens preferidas do utilizador.
- Criação de jogos educativos.
- Avaliação do *software* com utilização através de BCI.
- Integração com serviços de classificação/ recomendação de músicas como por exemplo o Last.fm.
- Criação de algoritmo de gestão de preferências de abordagem colaborativa, usando para isso os dados dos vários perfis de utilizador.
- Abandonar o SDK fornecido e processar os dados *RAW* provenientes do *Emotic* EPOC. Isto permitiria a criação de novas funcionalidades que até agora não são possíveis por limitações do SDK. Permitiria ainda aumentar a velocidade de resposta do sistema porque era eliminado um “mediador” e o código seria otimizador para este sistema.

## 6 Referências

- [ABM, 2013] Advanced Brain Monitoring, <http://advancedbrainmonitoring.com/neurotechnology/wireless-eeg/> [último acesso: Jun 2014]
- [Alisson et al., 2008] Allison B., McFarland D., Schalk G., Zheng S., Jackson M., Wolpaw J., Towards an independent brain–computer interface using steady state visual evoked potentials., 2008
- [Andersen et al, 2004] Andersen A., Burdick J., Musallam S., Pesaran B., Cham J. Cognitive neural prosthetics, 2004.
- [Bayliss, 2003] Bayliss D., Use of the evoked potential P3 component for control in a virtual apartment, 2003
- [Beverina et al., 2003] Beverina F., Palmas G., Silvoni S., Piccione F., Giove S., User adaptive BCIs: SSVEP and P300 based interfaces. 2003.
- [Blankertz et al, 2003] B. Blankertz et al., "Boosting Bit Rates and Error Detection for the Classification of Fast-Paced Motor Commands Based on Single-trial EEG Analysis," IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, vol. 11, 2003.
- [Brafman et al., 2009] Brafman R., Domshlak C, Preference Handling – An Introductory Tutorial, 2009
- [Brown, 2012] <https://news.brown.edu/articles/2012/05/braingate2> [último acesso: Jun 2014]
- [Brusilovsky et al., 2007] Brusilovsky P., Kobsa A., Neijdl W., The Adaptive Web, 2007
- [Bullock] <http://eecue.com> [último acesso: Jun 2014]
- [Cecotti, 2010] Cecotti H. A self-paced and calibration-less SSVEP-based brain–computer interface speller., 2010
- [Heuser, 1998] Heuser, C., Projeto de banco de dados, N<sup>o</sup>4, 1998
- [Dastani, 2001] Dastani M., Jacobs N., Jonker C., Treur J., Modeling User Preferences and Mediating Agents in Electronic Commerce , 2001
- [Donchin et al, 1970] Donchin E., Smith D., The contingent negative variation and the late positive wave of the average evoked potential, 1970
- [Duda et al., 2000] Duda R., Hart P., Stork D., Pattern Classification, Wiley-Interscience, 2000
- [Eckhardt, 2007] Eckhardt, A., Horvarth T., Vojtas, P. PHASES: A user Profile Learning Approach for web search, IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence, 2007

- [Elbert et al.1980] Elbert T., Rockstroh B., Lutzenberger W., Birbaumer N. Biofeedback of slow cortical potentials. In Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 1980.
- [Emotiv, 2013] Emotiv, <http://www.emotiv.com/eeg/features.php> [último acesso: Jun 2014]
- [Furdea et al, 2009] Furdea A., Halder S., Krusienski J., Bross D., Nijboer F., Birbaumer N., Kübler A., An auditory oddball (P300) spelling system for brain-computer interfaces, 2009
- [FUGA, 2014] Fun of gaming: Measuring the human experience of media enjoyment., <http://fuga.aalto.fi/> [último acesso: Out 2014]
- [ID3, 2014] Id3, <http://id3.org/Introduction> [último acesso: Out 2014]
- [Interaxon, 2013] Interaxon, <http://www.interaxon.ca/muse/index.php> [último acesso: Jun 2014]
- [Lalor et al, 2005] Lalor C., Kelly P., Finucane C., Burke R., Smith R., Reilly B., McDarby G., Steady-State VEP-Based BrainComputer Interface Control in an Immersive 3D Gaming Environment. EURASIP Journal on Applied Signal Processing 2005, 19, pp.3156-3164.
- [Lebedev et al. 2006] Lebedev M., Nicolelis M. Brain-machine interfaces: past, present and future, 2006.
- [Leigh et al, 2006] Leigh H., Mijail S., Gerhard F., Jon M., Maryam S., Abraham C., Almut B., David C., Richard P., John D., Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia, Nature, 442, pp 164-171, 2006
- [Leuthardt el al, 2004] Leuthardt C., Schalk G., Wolpaw J., Ojermann J., Moran D., A brain-computer interface using electrocorticographic signals in humans. Journal of Neural Engineering, 2004.
- [Leuthardt et al, 2006] Leuthardt C., Schalk G., Ojermann J., Moran D., The Emerging world of motor Neuroprosthetics: A Neurosurgical Perspective, 2006
- [Liao et al, 2007] Liao X., Yao D., Li C., Transductive SVM for reducing the training effort in BCI, Journal of Neural Engineering, vol. 4, 2007.
- [Livescience, 2012] <http://www.livescience.com/25600-quadruplegic-mind-controlled-prosthetic.html> [último acesso: Jun 2014]
- [Lopez et al, 2009] Lopez M., Pelayo F., Madrid E., Prieto A., Statistical characterization of steady-state visual evoked potentials and their use in brain-computer interfaces. Neural Processing Letters 29, 3 (2009).
- [Mühl et al, 2009] Mühl C., Gürkök H., Plass-Oude Bos D., Thurlings M., Scherffig L., Duvinage M., Elbakyan A., Kang S., Poel M., Heylen D., Bacteria hunt: A multimodal, multiparadigm bci game, 2009
- [Muhlsteff et al, 2004] Muhlsteff J., Such O., Dry electrodes for monitoring of vital signs in functional textiles, 2004.
- [Neurosky, 2013a] Neurosky, <http://store.neurosky.com/products/mindwave-1> [último acesso: Jun 2014]
- [Neurosky, 2013b] Neurosky, <http://neurosky.com/Products/MindSet.aspx> [último acesso: Jun 2014]
- [Nielsen J, 2000] Nielsen J., Usability Engineering, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 2000
- [Oehler et al., 2008] Oehler M., Neumann P., Becker M., Curio G., Schilling M., Extraction of SSVEP signals of a capacitive EEG helmet for human machine interface., 2008
- [Pfurtscheller et al., 1999] Pfurtscheller G., Silva L., Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles, 1999
- [Pfurtscheller et al., 2006] Pfurtscheller G., Neupwe C., Graimann B., EEG-based Brain Computer Interface System, 2006

- [PLX, 2013] PLXDevices,  
[http://www.plxdevices.com/product\\_info.php?id=XWAVESONIC](http://www.plxdevices.com/product_info.php?id=XWAVESONIC)  
[último acesso: Jun 2014]
- [Polich et al, 1996] Polich J., Ellerson C., Cohen J., P300, stimulus intensity, modality, and probability., 1996
- [Ravden et al, 1999] Ravden d., Polich J., On P300 measurement stability: habituation, intra-trial block variation, and ultradian rhythms, 1999
- [Reuderink, 2009] Reuderink B., Games and brain-computer interfaces: The state of art, 2009
- [Richardson et al., 1968] Richardson C., Coombs K., Adams M., Some new electrode techniques for long-term physiologic monitoring., 1968
- [Roman, 2007] Roman K., Benjamin B., Gabriel C., Klaus-Robert M., The Berlin Brain-Computer Interface (BBCI) - towards a new communication channel for online control in gaming applications, 2007
- [Searle et al, 2000] Searle A., Kirkup L., A direct comparison of wet, dry and insulating bioelectric recording electrodes., 2000
- [Shan et al, 2006] Shan R., Ibrahim F., Moghavvemi M., Assessment of Steady-state visual evoked potential for brain computer communication, 3rd Kuala Lumpur international Conference of Biomedical Engineering, 2006
- [Silva e Videira, 2005] Silva, A., Videira, C., UML Metodologias e Ferramentas CASE, Vol.1, 2ª edição, CentroAtlantico
- [Taylor et al., 2002] Taylor M., Tillery S., Schwartz A. Direct cortical control of 3D neuroprosthetic devices, 2002.
- [UltraLibId3, 2014] <http://home.fuse.net/honnert/UltraID3Lib/> [último acesso: Out 2014]
- [Vaughan et al, 2006] Vaughan M., McFarland J., Schalk G., Sarnacki A., Krusienski J., Sellers W., Wolpaw R., The wadsworth BCI research and development program: at home with BCI, 2006
- [Wessberg et al., 2000] Wessberg J., Stambaugh R., Kralik D., Beck D., Laubach M., Chapin K., Kim J., Biggs J., Srinivassan A., Nicolelis A., Real-time prediction of hand trajectory by ensembles of cortical neurons in primates., 2000
- [Wolpaw et al., 2000] Wolpaw J., Birbaumer N., Heetderks W., McFarland D., Peckman P., Schalk G., Donchin E., Quatrano L., Robinson C., Vaughan T. Brain Computer Interface Technology: A Review of the First International Meeting, 2000.
- [Wolpaw et al., 2002] Wolpaw J., Birbaumer N., McFarland D. Pfurtscheller G., Vaughan T. Brain-computer interfaces for communication and control, 2002.



# **7 Anexos**

## **7.1 Fases de desenvolvimento**

1. Outubro/Novembro de 2012 – Pesquisa sobre Interfaces cérebro-computador.
2. Dezembro de 2012 a Março de 2013 – Escrita do estado da arte.
3. Abril a Junho 2013 – Elaboração de requisitos do protótipo
4. Agosto a Outubro de 2013 – Criação da base de dados e elaboração do módulo de registo de utilizadores
5. Novembro e Dezembro de 2013 – Criação Menu Principal e do Jogo *Pong*
6. Janeiro a Março de 2013 – Pesquisa sobre gestão de preferências e criação do reproduzidor Áudio
7. Abril e Maio de 2013 – Integração do Protótipo com o *Emotiv* EPOC
8. Julho a Outubro de 2014 – Finalização da escrita da tese.

## 7.2 Diagrama de Gantt das fases de desenvolvimento da tese

Tarefa	Data	2012			2013		
		Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
Pesquisa Interfaces cérebro-computador		█	█				
Estado da arte				█	█	█	█
Requisitos do protótipo							
Base de dados / Registo de utilizadores							
Menu Principal / Jogo Pong							
Gestão de preferências / Player Áudio							
Integração do protótipo com o Emotiv EPOC							
Finalização da tese							

Figura 18 – Diagrama de Gantt de Outubro de 2012 a Junho de 2013

Anexos

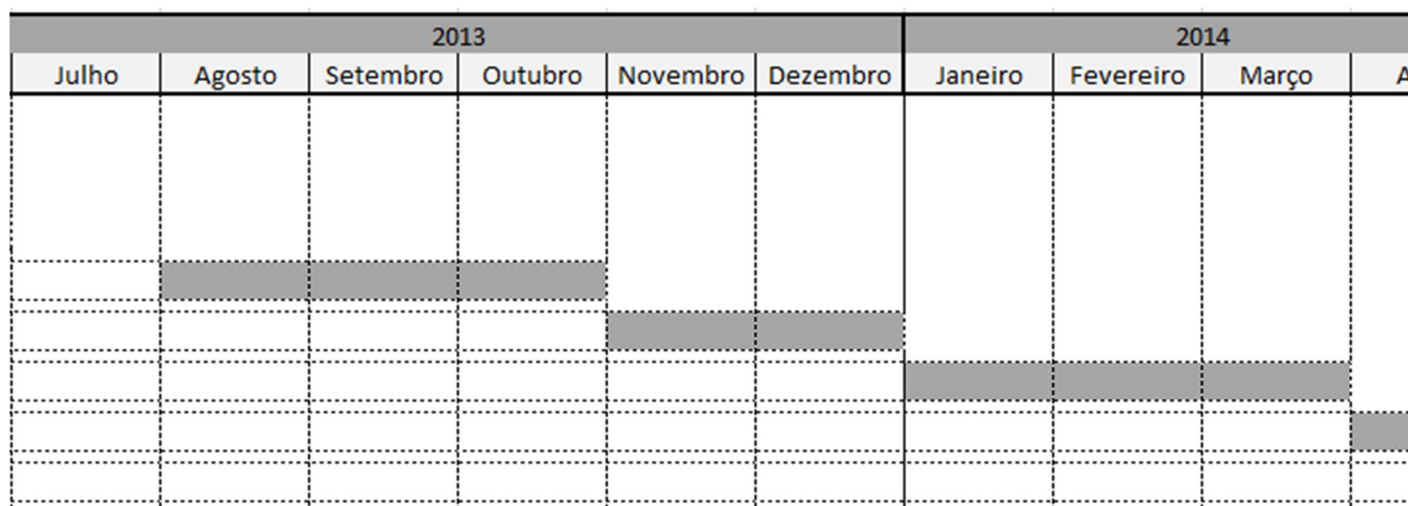


Figura 19 – Diagrama de Gantt de Julho de 2013 a Junho de 2014

Utilização do Emotiv EPOC para controlar *software* lúdico

---

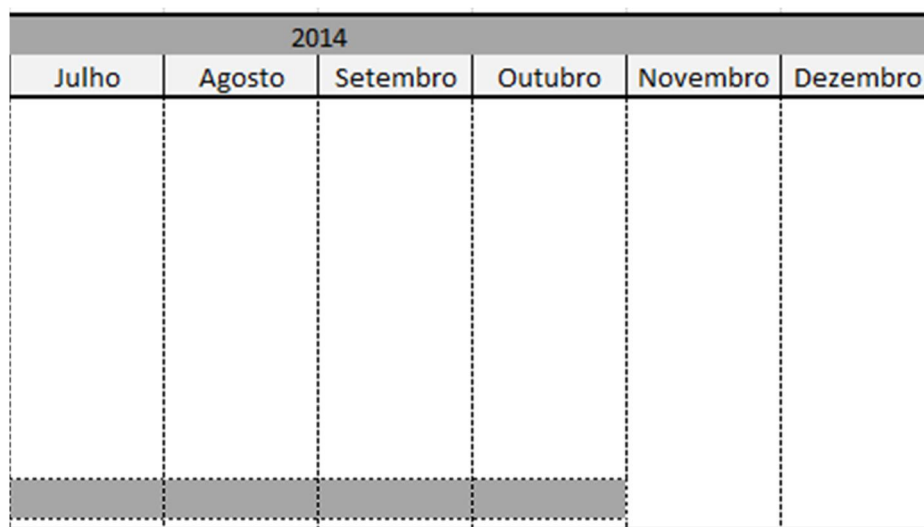


Figura 20 – Diagrama de Gantt de Julho de 2014 a Outubro de 2014

## 7.3 Requisitos

### 7.3.1 Requisitos Funcionais

RF1 – O sistema deve permitir criar contas de utilizador com nome e avatar.

RF2 – O sistema deve possuir um jogo tipo *Pong*.

RF3 – O sistema deve permitir reproduzir ficheiros de áudio.

RF4 – O sistema deve permitir fazer pausa ou parar a reprodução de um ficheiro áudio.

RF5 – O sistema deve permitir ao utilizador escolher os seus ficheiros de áudio favoritos.

RF6 – O sistema deve permitir controlar aumentar, diminuir ou fazer *mute* ao volume.

RF7 – O sistema deve avaliar os ficheiros de áudio com base nos dados recolhidos do *Emotiv EPOC*.

RF8 – O sistema deve possuir um modo de rádio que reproduz uma playlist com base nas músicas favoritas do utilizador e na avaliação do entusiasmo e tédio.

RF9 – O sistema deve possuir um modo de rádio que reproduz uma playlist com base nas avaliações de meditação e frustração.

### 7.3.2 Requisitos Não Funcionais

RNF1 - O *software* deve ser totalmente usável através do *Emotiv EPOC*.

RNF2 – O *software* deve ser totalmente usável através de rato e teclado.

RNF3 - Cada utilizador deve possuir uma conta de utilizador.

RNF4 – Os modos de rádio só funcionarão se existirem avaliações prévias de ficheiros de áudio por parte daquele utilizador.

RNF5 – O sistema não necessita de segurança para acesso às contas de utilizador.

## 7.4 Diagrama de Arquitetura

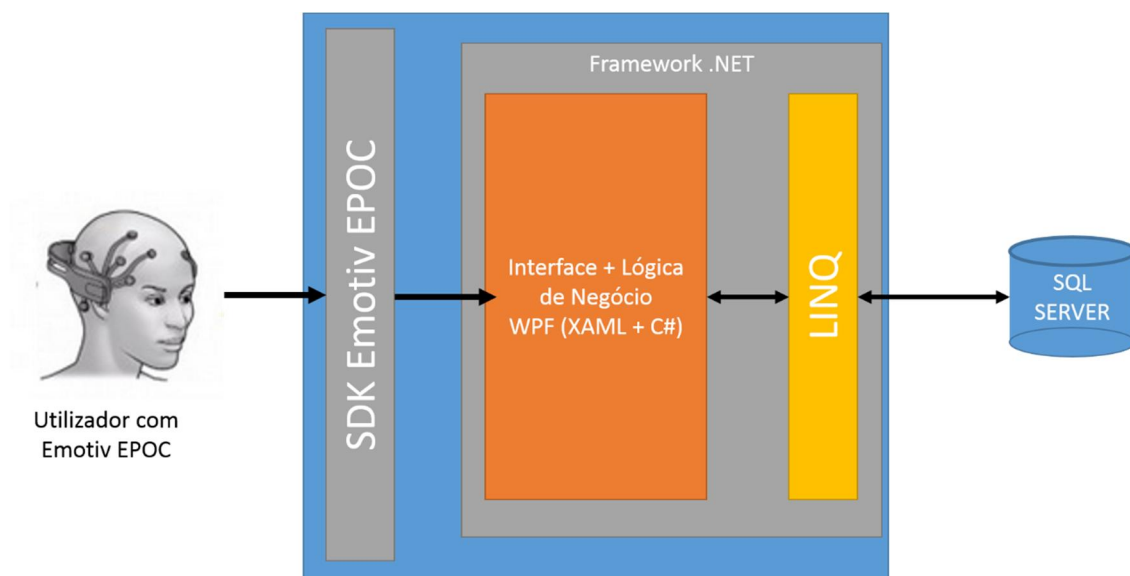


Figura 21 – Diagrama de arquitetura da aplicação

## 7.5 Diagramas de casos de uso.

### 7.5.1 Funcionalidades Gerais da Aplicação

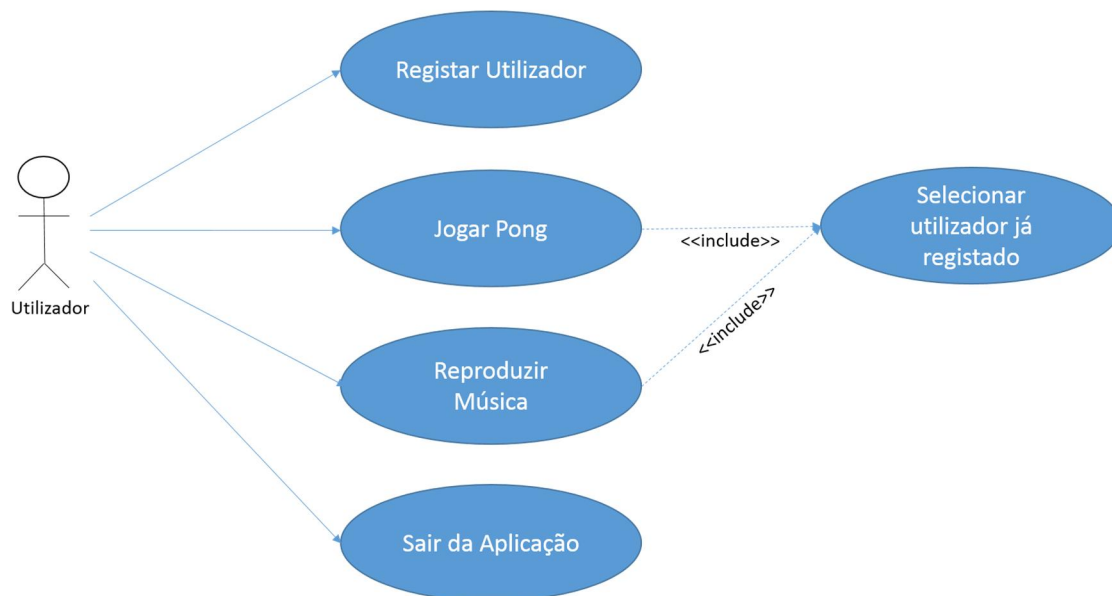


Figura 22 – Diagrama de caso de uso que representa as funcionalidades gerais da aplicação.

### 7.5.2 Registo de Utilizadores

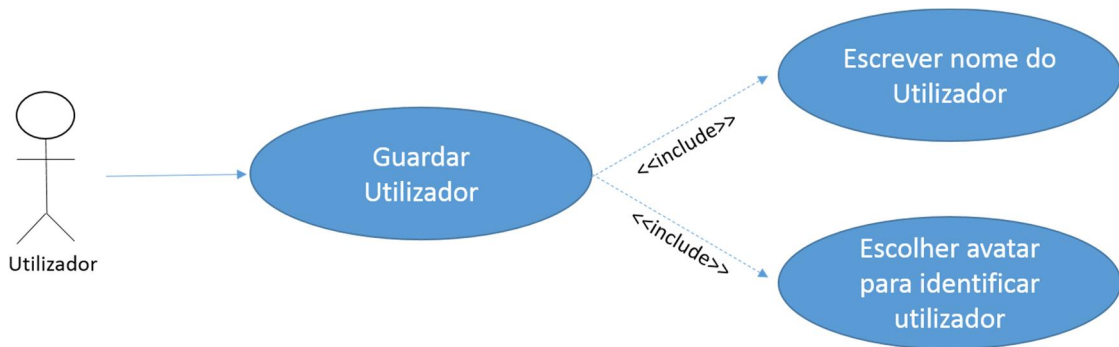


Figura 23 - Diagrama de caso de uso que representa a funcionalidade de registo de utilizadores

### 7.5.3 Reprodutor de Música

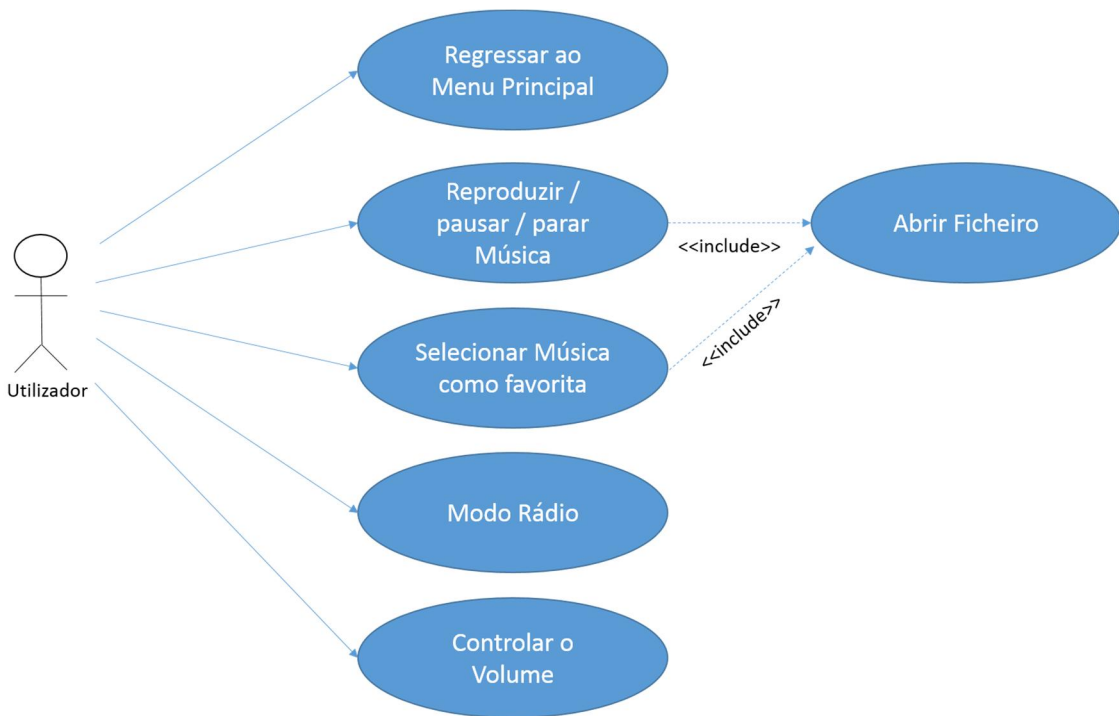


Figura 24 – Diagrama de caso de uso que representa as funcionalidades do reprodutor de música.

## 7.6 Imagens da Aplicação

### 7.6.1 Registo de Utilizadores



Figura 25 – Ecrã de registo de Utilizadores

### 7.6.2 Escolha de Utilizadores

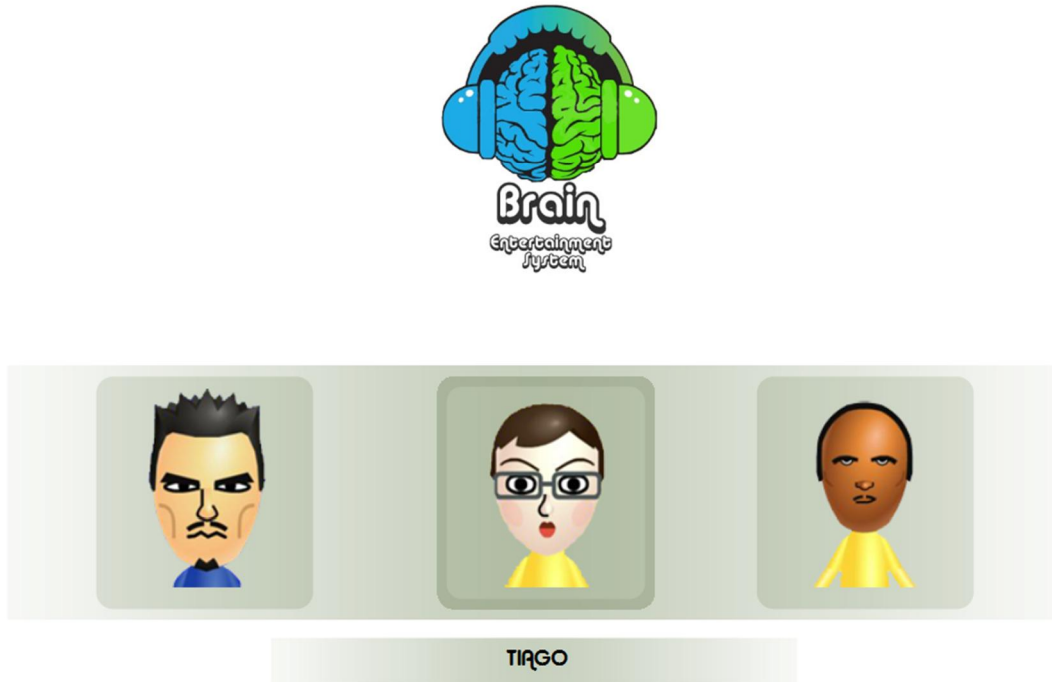


Figura 26 – Menu de Escolha do utilizador que vai usar a aplicação

### 7.6.3 Menu Principal

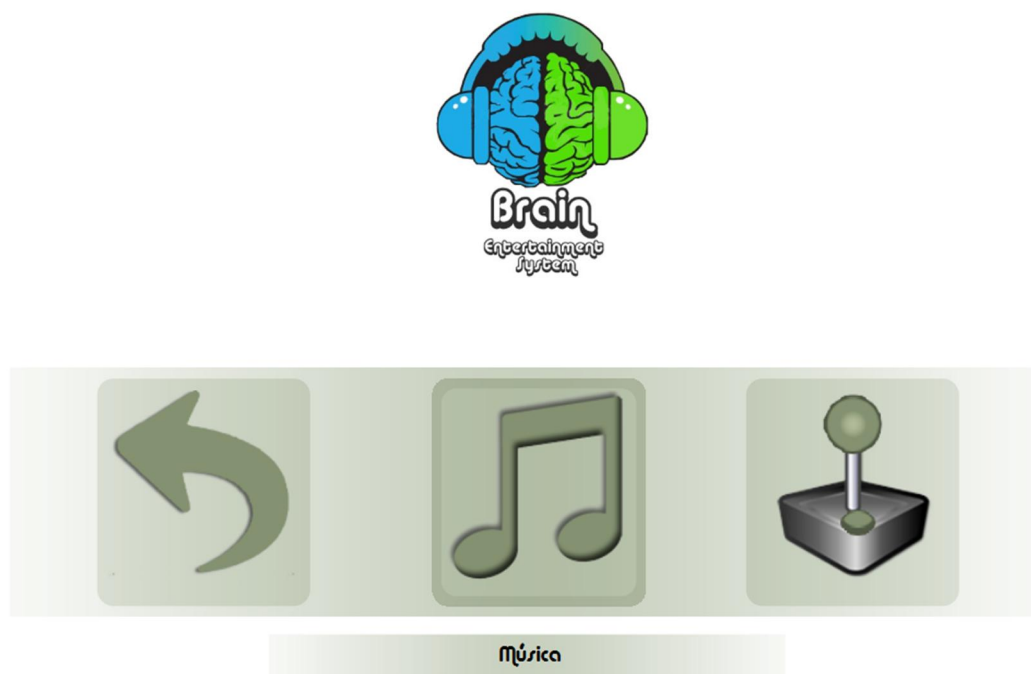


Figura 27 – Menu Principal da aplicação. Contém as opções: “Sair”, “Reprodutor de Música” e “Pong”

#### 7.6.4 Jogo Pong

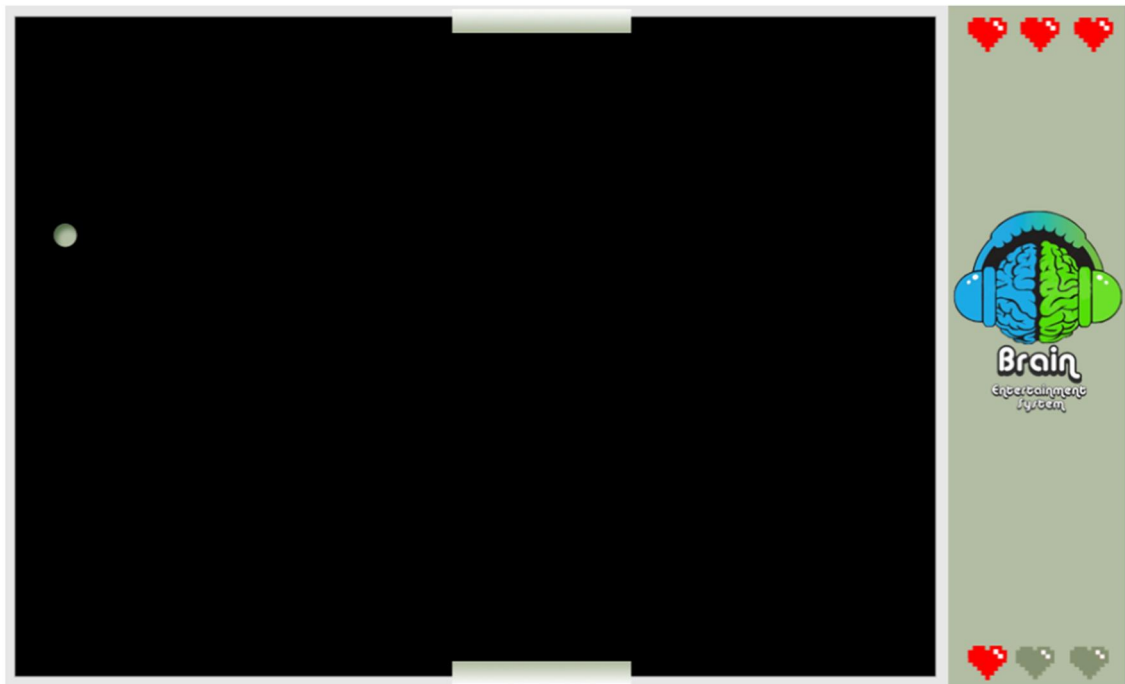


Figura 28 – Jogo Pong

### 7.6.5 Reprodutor de Música



Figura 29 – Reprodutor de música