



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - UNICEUB**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS**  
**CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO**

**SAMANTHA COIMBRA LIMONGE**

**SISTEMA DE NEUROFEEDBACK PARA CONTROLE DE UM ATUADOR  
PARA AUXÍLIO NA IDENTIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE CONCENTRAÇÃO**

**Orientador: Prof.º MSc. Luciano Henrique Duque**

Brasília  
2015

SAMANTHA COIMBRA LIMONGE

**SISTEMA DE NEUROFEEDBACK PARA CONTROLE DE UM ATUADOR  
PARA AUXILIO NA IDENTIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE CONCENTRAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca examinadora do curso de Engenharia da Computação da FATECS – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – Centro Universitário de Brasília como requisito para obtenção do título de Engenheiro da Computação.

Orientador: Prof.<sup>a</sup>. MSc. Luciano Henrique Duque

Brasília  
2015

SAMANTHA COIMBRA LIMONGE

**SISTEMA DE NEUROFEEDBACK PARA CONTROLE DE UM ATUADOR  
PARA AUXILIO NA IDENTIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE CONCENTRAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca examinadora do curso de Engenharia da Computação da FATECS – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – Centro Universitário de Brasília como requisito para obtenção do título de Engenheiro da Computação.

Orientador: Prof.º. MSc. Luciano Henrique Duque

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Dr. Profº Abiézer Amarília Fernandes**  
**Coordenador do Curso**

---

**Msc. Profº Luciano Henrique Duque**  
**Orientador**

---

**Profª. Ingrid Maria Dittert**  
**UniCeub**

---

**Profª. Irene de Azevedo Lima Joffily**  
**UniCeub**

Brasília

2015

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao meu Deus por ser minha maior fonte de conforto e o responsável pela minha existência.

Aos meus pais, Cássia Coimbra Limonge e Braz Carline Limonge, por todo apoio, oportunidades e amor que me deram. A minha irmã e eterna amiga, Katherine Coimbra Limonge, por me servir de inspiração e ser uma pessoa incrível. Ao meu grande amigo Israel Garcia, agradeço pela amizade e que mesmo longe, consegue sempre me ajudar e se fazer presente. Agradeço imensamente por serem as pessoas mais importantes e queridas da minha vida.

Aos meus colegas e amigos de sala, Alex, André, Carlos, Fábio, Matheus e Vitor, pelas risadas, companheirismo e amizade. Aos monitores, Guilherme e Hugo, pela paciência e ajuda nesse projeto.

A todos meus colegas e professores, que fizeram parte dessa jornada, principalmente ao coordenador e professor, Abiezer, pelo apoio durante todo o decorrer do curso.

E por último e não menos importante, meu orientador Msc. Luciano Duque. Agradeço a toda a dedicação, tanto nesse projeto quanto nos outros desenvolvidos durante o curso. Sou muito grata ao esforço e apoio oferecido.

*Obrigada a todos!*

Samantha Coimbra Limonge

## CITAÇÃO

*“I now walk into the wild”*

*Chris McCandless*

## RESUMO

Esse trabalho propõe um sistema de controle de um atuador a partir de sinais neurais, fazendo o uso do *neurofeedback* que é uma técnica que permite o registro dos sinais elétricos gerados pelo cérebro, possibilitando a análise da atividade cerebral, utilizado geralmente para a reabilitação cognitiva. A interação dos controles de atuadores juntamente com os sinais neurais visa melhorar o desempenho em pessoas com transtorno de déficit de atenção com hiperatividade (TDAH), oferecendo um *feedback* motivacional para o paciente, através de cores e sons que refletem o nível de atenção. Com essa tratativa objetiva-se fomentar e auxiliar a reabilitação cognitiva dos pacientes. O *neurofeedback* se torna uma ferramenta adequada para investigação das atividades cerebrais, tanto para pesquisa quanto na prática clínica de neurologistas. No desenvolvimento do projeto, é utilizado o microcontrolador Arduino, módulo transmissor e receptor de rádio frequência e a placa de Eletroencefalograma (EEG) da *NeuroSky*®, encontrado no jogo *Mindflex*<sup>TM</sup> da *Mattel*©.

**Palavras chaves:** *Neurofeedback*, Reabilitação, Transtorno de déficit de atenção com hiperatividade (TDAH).

## ABSTRACT

This paper presents an actuator control system from the neural signals, using the neurofeedback which it is a technique that allows the recording of electrical signals generated by the brain, enabling the analysis of brain activity, generally used for cognitive rehabilitation. The interaction of actuator controls along with the neural signals aims to improve performance in people with attention deficit disorder with hyperactivity (ADHD), providing motivational feedback to the patient, through colors and sounds that reflect the level of care. With such dealings objective is to encourage and assist cognitive rehabilitation of patients. Neurofeedback becomes a suitable tool for the investigation of brain activity for both research and in clinical practice of neurologists. In developing the project, the Arduino microcontroller is used, radio frequency module and the board of electroencephalogram (EEG) of NeuroSky®, found in Mindflex™ game from Mattel©.

This paper presents an actuator control system from the neural signals.

**Keywords:** Neurofeedback, Rehabilitation, attention deficit disorder with hyperactivity (ADHD).

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Visão geral do projeto.....	14
Figura 2- Esquemático do neurofeedback .....	25
Figura 3- Tipos de ondas .....	27
Figura 4- Representação do processamento digital de sinais .....	28
Figura 5- Decomposição do FFT.....	30
Figura 6- Headset do jogo .....	31
Figura 7- Jogo completo .....	32
Figura 8- Circuito de eletroencefalograma da NeuroSky .....	33
Figura 9- Placa da Neurosky .....	34
Figura 10- Circuito NeuroSky .....	34
Figura 11- Comparação do EEG NeuroSky com um convencional.....	35
Figura 12- Comparação do EEG NeuroSky com um convencional(2) .....	36
Figura 13- Arduino Uno .....	37
Figura 14- Ambiente de desenvolvimento do Arduino .....	38
Figura 15- Módulo transmissor .....	39
Figura 16- Módulo receptor.....	39
Figura 17- Led RGB .....	40
Figura 18- Diagrama de blocos do projeto .....	41
Figura 19- Chip da NeuroSky localizado no Mindflex .....	42
Figura 20- Chip NeuroSky conectado ao Arduino .....	43
Figura 21- Sinais captados mostrados no Arduino .....	44
Figura 22- Visualização da ondas utilizando o Processing .....	46
Figura 23- Antena do modulo transmissor .....	47
Figura 24- Módulo transmissor conectado ao Arduino .....	47
Figura 25- Led RGB .....	50
Figura 26- Ligação do módulo receptor .....	51
Figura 27- Circuito emissor.....	54
Figura 28- Circuito receptor .....	54
Figura 29- Protótipo final .....	55
Figura 30- Posicionamento do headset.....	57
Figura 31- Cores selecionadas .....	58



Figura 32- Ambiente com aparelhos .....	59
Figura 33- Qualidade do sinal ruim .....	59
Figura 34- Ambiente sem aparelhos .....	60
Figura 35- Qualidade do sinal bom .....	60
Figura 36- Teste fazendo leitura.....	61
Figura 37- Analisador de espectro.....	62
Figura 38- Disposição do protótipo .....	63
Figura 39- Gráfico no analisador de espectro.....	63
Figura 40- Sinais no transmissor e receptor .....	64
Figura 41- Testes em cenários diferentes .....	65
Figura 42- Análise gráfica dos sinais .....	67

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Tabela de comordidades.....	18
Quadro 2- Critérios para o diagnóstico do TDAH, adaptados do DSM-IV-RT.....	20
Quadro 3- Diretrizes para tratamento.....	22
Quadro 4- Tipos de ondas.....	27
Quadro 5- Especificações do circuito.....	33
Quadro 6- Componentes e funções.....	56
Quadro 7- Cores e seus significados.....	57
Quadro 8- Estados dos sinais.....	62
Quadro 9- Cenários e resultados.....	66

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>APA</i>	<i>American Psychiatric Association</i>
AVC	Acidente Vascular Cerebral
CID	Classificação Internacional de Doenças
<i>CSV</i>	<i>Comma Separated Values</i>
DFT	Transformada Discreta de Fourier
<i>DSM</i>	<i>Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders</i>
EEG	Eletroencefalograma
<i>FFT</i>	<i>Fast Fourier Transform</i>
<i>GND</i>	Terra
Hz	Hertz
<i>LED</i>	<i>Light Emmiting Diode</i>
OMS	Organização Mundial de Saúde
PDS	Processamento Digital de Sinais
RF	Rádio Frequência
<i>RGB</i>	<i>Red Green Blue</i>
TDA	Transtorno de Déficit de Atenção
TDAH	Transtorno de Déficit de Atenção com Hiperatividade
VCC	Fonte de alimentação

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....	11
1.1. Objetivos do Trabalho .....	13
1.2. Metodologia .....	14
1.3. Motivação .....	15
1.4. Resultados esperados .....	16
CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1. O Transtorno de Déficit de Atenção com Hiperatividade (TDAH).....	17
2.1.1. Critérios para diagnóstico .....	19
2.1.2. Tratamentos convencionais.....	21
2.1.3. Tratamento auxiliar.....	23
2.2. <i>Neurofeedback</i> .....	24
2.2.1. Ondas cerebrais.....	26
2.2.1.1. Transformada de Fourier .....	28
2.3. Materiais utilizados.....	30
2.3.1. Mindflex.....	30
2.3.1.1. NeuroSky.....	32
2.3.2. Microcontrolador .....	36
2.3.3. Módulo RF transmissor e receptor 433MHz .....	38
2.3.4. Led RGB .....	40
CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO .....	41
3.1. Descrição do sistema proposto .....	41
3.2. Sistema de neurofeedback (BLOCO 1) .....	42
3.2.1. Processing .....	45
3.3. Transmissão (BLOCO 2).....	46
3.3.1. Código do módulo transmissor .....	48
3.4. Recepção (BLOCO 3).....	50
3.4.1. Código do módulo receptor .....	51
3.5. Placas do circuito .....	54
3.6. Protótipo final .....	55
CAPÍTULO 4 - TESTES E RESULTADOS .....	56
4.1. Itens necessários .....	56

4.1.1. Primeira parte do projeto .....	56
4.1.2. Segunda parte do projeto .....	57
4.2. Testes do protótipo.....	58
4.3. Resultados.....	66
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO .....	68
5.1. Trabalhos futuros .....	69
REFERÊNCIAS .....	70
APÊNDICE A – CÓDIGO TRANSMISSOR.....	75
APÊNDICE B – CÓDIGO RECEPTOR.....	77

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O transtorno de déficit de atenção (TDA) é avaliado como a redução no desenvolvimento cognitivo (atenção e memória), que comumente é seguido por hiperatividade (BEAUREGARD, 2006).

É na infância que o Transtorno de Déficit de Atenção com Hiperatividade (TDAH) é mais frequente, afetando uma média de 3 a 7% das crianças, e sendo qualificado por um arquétipo constante de desatenção e/ou hiperatividade, que se manifestam em dois cenários, bem como em casa ou na escola (AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRICS, 2001). Tais indícios podem ser apresentados antes dos sete anos de idade, em contextos diferentes na vida da criança, podendo levar a expressivas dificuldades no meio acadêmico, na vida social e, em casos de persistência na fase adulta, na vida profissional (BARKLEY, 2002). Nos jovens brasileiros de 12 a 14 anos, descobriram uma média de 5,8% (ROHDE *et al* 2005).

O tratamento mais utilizado para transtorno de déficit de atenção é o uso de psicoestimulantes, que são drogas consideradas no Brasil como sendo tarja preta (remédios de uso ininterrupto que podem originar uma dependência). São drogas provenientes da anfetamina e têm o mesmo mecanismo de atuação da cocaína. O uso do *neurofeedback* como auxiliar ou terapia principal apareceu da percepção de que drogas estimulantes, como a Ritalina<sup>®</sup>, aumentam a amplitude relativa do eletroencefalograma (EEG) pré-frontal e atenuam os indícios de desordem (FRIEL, 2007). Abranger os sinais eletroencefalogramas sugere em entender como os mecanismos característicos e dados influenciam esses sinais.

O instrumento terapêutico que fornece dados com o objetivo que os indivíduos ampliem a habilidade de auto regulação é chamado de *biofeedback*. “Quando por exemplo, você se olha no espelho, ele devolve (*feedback*) informações sobre sua aparência impossíveis de enxergar sem ele. A partir dessas informações, você pode fazer as modificações que julgue necessárias.” (CLINICA MÁRCIO TASSINO, 2015). Comparado com o espelho o *biofeedback* devolve imediatamente as informações por meio de dispositivos sensórios eletrônicos, sobre processos fisiológicos como a frequência cardíaca, temperatura periférica, resposta galvânica da pele, tensão muscular, pressão arterial e atividade cerebral (CLÍNICA DE STRESS E BIOFEEDBACK, 2015).

Uma das configurações de treinamento com *biofeedback* é por meio de jogos. Os pacientes tem a influência do progresso desses jogos com pensamentos, controle muscular entre outros, tornando o processo de recuperação mais divertido. Para os profissionais de saúde o aparelho gera informações sobre os níveis fisiológicos de estresse, ansiedade, atenção, fadiga muscular, entre outras informações, através de gráficos que apontam o momento exato de tal ocorrência, permitindo uma interferência mais concisa.

Os jogos alcançam uma maior interatividade comparados com os videogames de antigamente. Esse artifício tem sido muito utilizado para a reabilitação de pacientes com algum dano cerebral, tornando a técnica de fisioterapia mais afável, pois une diversão e reabilitação. Isso porque o jogo serve de estímulo para o indivíduo alcançar o objetivo.

A reabilitação utilizando jogos, teve início no Canadá com o desenvolver da *WiiRehabilitation*, em torno do ano 2006, onde os pacientes com decorrências de acidente vascular encefálico, popularmente conhecido como AVC ou derrame cerebral, e de Parkinson atentavam o uso da terapia para recuperação dos movimentos ou, então, para o aperfeiçoamento. (ALFIERI,2014)

Os tratamentos com auxílio dos jogos eletrônicos podem ser utilizado em distintos tipos de reabilitação já que estes são programados para simular diversos movimentos, desenvolver o equilíbrio motor, habilidade de concentração e entre múltiplas outras atividades (COSTA; BETTI, 2006).

Numa pesquisa realizada pela Harvard Medical School, divulgada no ano de 2012, dois grupos de adolescentes entre 9 e 17 anos, realizaram um tratamento terapêutico e em seguida um desses grupos participou de um jogo que faz uso do *biofeedback* para incitar o domínio das emoções em crianças. Comparando com o grupo que não fez esse processo, os jovens obtiveram uma evolução expressiva em sustentar seu ritmo cardíaco mais baixo. Estudos seguintes trazem que os videogames podem auxiliar no tratamento de uma variedade de problemas comportamentais e psicológicos em crianças. Um outro estudo, realizado na East Carolina University no ano de 2011, mostrou que certos tipos de jogos podem abater a depressão e a ansiedade, enquanto outros estudos mostraram que os jogos de ritmo acelerado podem ser benfeitores para crianças com TDAH, acrescentando na sua habilidade de concentração (TECHNEWS DAILY, 2015).

São diversos tipos de *biofeedback*, variando com a aparelhagem empregada e o parâmetro fisiológico que é utilizado. O tratamento que iremos abordar nesse projeto é usando a técnica

de *biofeedback* por meio do eletroencefalograma (EEG), que é uma análise que afere os sinais cerebrais que é chamado de *neurofeedback*. A apresentação de ondas alfa no EEG está relacionada com o relaxamento e bem-estar. Com essa informação é plausível precaver o estresse, a constância de crises de enxaqueca, pressão sanguínea, e outros (BOTSARIS, 2015).

O *neurofeedback* emprega artifícios expostos em tempo real, a fim de desenhar a atividade cerebral, na maioria das vezes com a finalidade de controlar essas atividades, expondo medidas usando monitores de vídeo ou de som e é um exercício que tende padronizar as agitações cerebrais. (ALVOEIRO; C.PSYCHOL, 2010)

As definições de *neurofeedback*, possibilita aos engenheiros o desenvolvimento de novas tecnologias que juntamente com profissionais da área da saúde envolvem uma maior área de conhecimento, favorecendo assim os pacientes que utilizarão de tal tecnologia para tratamento.

Nesse contexto, o projeto utiliza os conceitos de *neurofeedback* com o fim de controlar a atividade do sistema neural. O atuador será utilizado para treinamentos de reabilitação que abrange concentração e domínio das frequências das ondas cerebrais nas áreas ligadas ao controle voluntário da atenção, planejamento e autocontrole. Esse atuador será controlado a partir dos sinais neurais, obtendo assim um julgamento mais conciso e eficaz para o paciente e para o profissional responsável da área de saúde, como também tornando a reabilitação mais efetiva. De tal modo será possível ter uma visão do desenvolvimento do padrão elétrico do cérebro.

## 1.1. Objetivos do Trabalho

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um sistema de controle de um atuador através dos sinais neurais capaz de identificar os níveis de concentração do paciente.

Objetivos específicos:

- Transmitir os sinais captados pela placa da *NeuroSky*® para o Arduino;
- Reconhecer os sinais de concentração captados;
- Criar um sistema com um atuador acionado através da identificação dos sinais neurais;
- Enviar dados sem fio utilizando o rádio frequência;



- Prover um sistema de interação com o usuário;

## 1.2. Metodologia

A figura 1 expõe a visão geral do projeto, que versa da captação dos sinais elétricos do cérebro através dos eletrodos encontrados no jogo Mindflex. Esses sinais serão transmitidos para o arduino, nele haverá a programação para acionamento do atuador, e enviar os sinais ao mesmo tempo para o computador utilizando a comunicação sem fio através do módulo RF transmissor e receptor 433MHz.

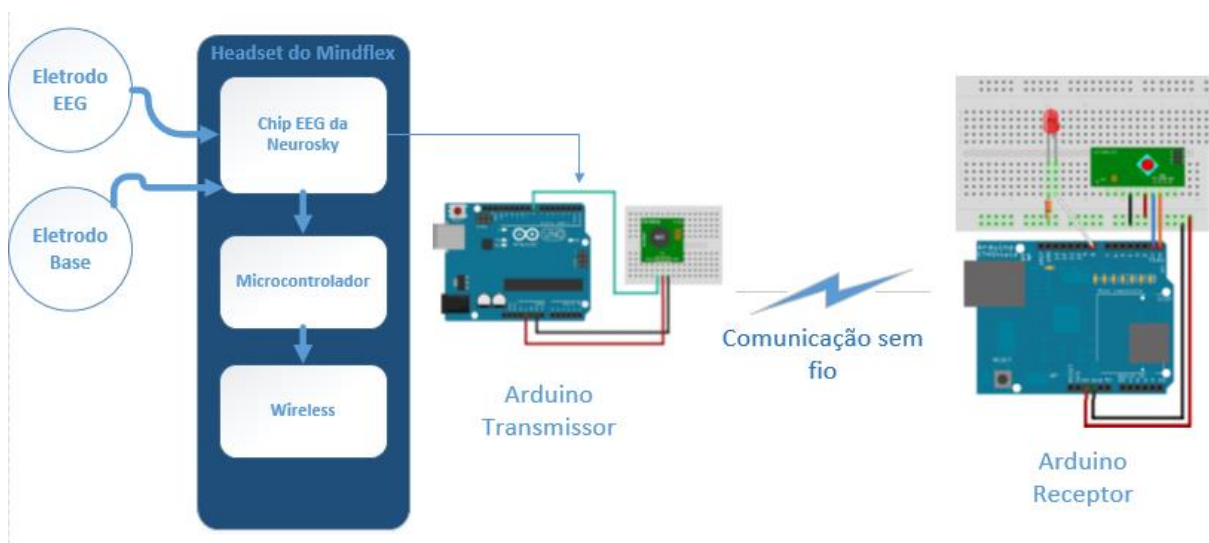


Figura 1- Visão geral do projeto  
Fonte: Elaborado pela autora

Para facilitar o desenvolvimento do projeto proposto, a metodologia é dividida em etapas, conforme especificado abaixo:

- Etapa 1: Efetivar o estudo dos sinais neurais, do TDAH e da aquisição dos sinais eletroencefalogramas por meio de eletrodos de superfície, encontrados no jogo Mindflex, os quais são dispositivos de entrada e saída do fluxo de um sistema elétrico.
- Etapa 2: Avaliar os sinais e identificá-los de acordo com cada reação do paciente. Os sinais variam de acordo com o estado do paciente sendo esses, atenção, concentração, meditação entre outras, será necessário compreendê-los.

- Etapa 3: Realizar testes analisando os sinais e suas performances no computador. Os testes serão feitos para analisar todos os sinais identificados na etapa anterior e como são representados graficamente, para ter uma visão mais ampla de seu funcionamento.
- Etapa 4: Integrar o atuador com a programação no Arduino. Nessa etapa, será feita a programação que possibilitará o acionamento do atuador de acordo com os sinais captados.
- Etapa 5: Desenvolver a programação para a comunicação sem fio utilizando o módulo RF transmissor e receptor 433MHz. O *wireless* será utilizado, para facilitar a comunicação entre o Arduino e o módulo RF, sem precisar da utilização de fios.
- Etapa 6: Realizar testes e provas no projeto escolhido, a difusão entre os circuitos e o Arduino, averiguação da interação com o atuador. Serão utilizados o jogo Mindflex, osciloscópio digital, Arduino, módulo RF transmissor e receptor 433MHz, multímetro, atuador e o computador para auxiliar na realização dos testes.

### **1.3. Motivação**

Com o avanço da tecnologia, os aparelhos da área da saúde tiveram um avanço expressivo, possibilitando o processamento e a implementação de sinais elétricos do cérebro. Com a devida ascensão a qualidade da análise clínica dos pacientes foi aprimorada.

O uso de alternativas eletrônicas em tratamentos, além de acrescer o grau de motivação, possuem outras vantagens como permitir a interação de pacientes com incapacidade física e mental, gerando soluções para que a pessoa pratique processos que serão empregados no mundo real, além de oferecer diversão e distração. Esse tipo de terapia tende a amenizar o modo repetitivo das terapias padrões.

#### **1.4. Resultados esperados**

Almeja-se que com esse modelo que o profissional responsável pela terapia obtenha uma pluralidade com os treinos de concentração. E que possibilite o paciente de realizar a reabilitação em casa, de acordo com o responsável de saúde.

No desenvolver desse projeto, anseia-se que o circuito e o programa apresentado sejam próximos aos sinais captados por aparelhos profissionais.

Anseia-se também pela melhor interação do paciente com o controle de atuadores para ser visto como uma forma de diversão no tratamento.

#### **1.3. Estrutura do trabalho**

O trabalho tem a disposição descrita a seguir. O capítulo 1 exhibe a introdução do trabalho, onde está a apresentação geral do assunto a ser solucionado, sua importância e os objetivos implicados. O capítulo 2 explana os fundamentos teóricos para o entendimento pleno das arguições posteriores que seguem no texto. O capítulo 3 apresenta a solução proposta no desenvolvimento do estudo, ilustrando o modelo utilizado para a resolução do problema. O capítulo 4 versa do julgamento dos resultados obtidos por meio da aplicação da solução proposta. E por fim, o capítulo 5 cita as conclusões finais e sugestões para trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO**

Esse capítulo apresenta os embasamentos teóricos para desenvolvimento do sistema proposto. Exibindo as acepções dos aspectos fundamentais pertinentes ao estudo em questão, provendo um escopo suficiente para o acréscimo do projeto.

### **2.1. O Transtorno de Déficit de Atenção com Hiperatividade (TDAH)**

A síndrome hipercinética é qualificada pelo início precoce, geralmente por volta dos primeiros cinco anos de vida, assinalado por uma conduta hiperativa, marcante desatenção, ausência de envolvimento estável nas tarefas e comportamento hostil em certas ocasiões. É comum nessa síndrome a dificuldade de leitura, podendo ser acompanhada a diferentes problemas escolares. O comportamento antissocial e a baixa autoestima também são sinais. O comprometimento da atenção ocorre quando acontece a descontinuação das tarefas de forma prematura, resultado da distração de uma atividade pela outra. (BARBOSA, 2015) De acordo com a Classificação Internacional de Doenças (CID), o TDAH encontra-se classificado como um transtorno hipercinético. (OMS, 1993)

Vários termos são utilizados para descrever crianças que exibem um arquétipo comportamental caracterizado por hiperatividade, desatenção e/ou impulsividade, acima do esperado para a idade. Ultimamente, a denominação Transtorno do Déficit de Atenção com hiperatividade é utilizado consistentemente, por ser o termo seguido pelo Manual Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais (AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRICS, 2002).

A primeira vez que o TDAH foi descrito, ocorreu em 1902 pelo médico inglês George Still, definindo o transtorno como “um defeito no controle moral”. Naquela época, acreditavam que essa condição era consequência de falta de educação e corrupção, porém o médico defendeu a suposição de que se tratava de uma condição de base biológica que poderia ser de certa forma hereditário. Devido a essa definição, diversas designações surgiram para o transtorno, e essas repetidas alterações de nomes, apenas refletiam as dúvidas dos pesquisadores em relação as causas e diagnósticos para esse distúrbio. (BARKLEY, 1998)

Os sintomas característicos do TDAH envolvem desatenção e/ou hiperatividade-impulsividade. Afeta de 3% a 7% das crianças antes da idade escolar. (AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRICS, 2001) Outras pesquisas mostram que existe um predomínio

maior no sexo masculino. Por um tempo acreditava-se que o transtorno desaparecia com o início da vida adulta. Entretanto, nos anos 70, pesquisadores a partir de estudos clínicos defenderam a ideia de que mesmo indivíduos na idade adulta poderiam apresentar os sintomas do transtorno. (HALLOWEL; RATEY, 1994) Outras análises foram e ainda são realizadas que confirmam essa ideia.

Em um estudo feito com 346 adultos com TDAH, mostrou a eminência para várias outras condições psiquiátricas, como mostra no quadro as consequentes comorbidades.

<b>Transtorno de Humor</b>	<b>Distribuição (%)*</b>	<b>Prevalência (%)**</b>
Depressão maior	15,0	39,2
Distímia	7,6	56,4
Transtorno bipolar I-II	10,4	44,9
<b>Transtorno ansioso</b>	<b>Distribuição (%)*</b>	<b>Prevalência (%)**</b>
Transtorno Estresse pós-traumático	16,1	49,9
Transtorno do pânico	5,5	43,8
Ansiedade generalizada	7,2	34,4
Fobia específica	29,5	42,4
Fobia social	38,0	41,2
Agorafobia	4,0	55,2
Transtorno Obsessivo-compulsivo	1,4	73,8
<b>Transtorno do controle das impulsos</b>	<b>Distribuição (%)*</b>	<b>Prevalência (%)**</b>
Transtorno oposicional desafiante	33,9	34,3
Transtorno de conduta	28,6	37,5
Transtorno explosivo intermitente	25,6	41,2
<b>Transtorno abuso de substâncias</b>	<b>Distribuição (%)*</b>	<b>Prevalência (%)**</b>
Abuso ou dependência de álcool	2,8	40,2
Dependência de álcool	2,9	29,5
Abuso ou dependência de drogas	2,4	31,4
Dependência de drogas	0,3	10,0

\*Distribuição dos transtornos comórbidos entre os respondedores com diagnóstico corrente de TDAH no adulto.

\*\*Prevalência de TDAH atual no adulto entre os respondedores com história de TDAH na infância em subamostras definidas pelos transtornos comórbidos.

Quadro 1- Tabela de comorbidades

Fonte: (Monteiro, 2005 apud Kessler et al. 2005; - adaptado)

É possível observar no quadro 1, que o aumento da prevalência para diversas condições psiquiátricas, para pessoas com o transtorno, são maiores comparadas com a população em geral. A presença dessas comorbidades podem atrapalhar o diagnóstico e também o tratamento de adultos com o transtorno, visto que o uso de drogas psicoativas podem acentuar os sintomas de outros transtornos presentes.

### 2.1.1. Critérios para diagnóstico

A principal e mais influente organização de profissionais psiquiatras é conhecida como Associação Americana de Psiquiatria (*American Psychiatric Association - APA*), sendo responsável pela publicação do Manual Diagnóstico e Estatístico de Desordens Mentais (*Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders – DSM*).

O DSM é atuante mundialmente, inclusive a Organização Mundial de Saúde (OMS) emprega os fundamentos para classificar os transtornos psiquiátricos na Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados com a Saúde, o CID. (ELIAS, 2013) Sua primeira publicação foi em 1952 e desde então possui mais cinco revisões, sendo a última, a versão mais atualizada do manual, publicada em 2013.

Recomenda-se o uso do manual apenas para profissionais da área da saúde, já que pessoas leigas podem utilizar seu conteúdo de forma errônea. Para essas pessoas indica-se apenas o uso do manual para obter conhecimento, sem fazer diagnósticos com o intuito de substituir a opinião de um psiquiatra ou responsável na área de saúde. O manual não possui informações sobre o tratamento dos transtornos.

Uma média de 80% das pessoas diagnosticadas com TDAH exibem sinais tanto de desatenção quanto de hiperatividade e impulsividade (DESIDÉRIO; MIYAZAKI, 2007 APUD RAPPLEY, 2005). Contudo, para algumas pessoas existe a preponderância de um sintoma em comparação ao outro, e o subtipo correspondente deve ser apontado quando a análise é realizada, com base no arquétipo sintomático dominante nos últimos seis meses. O DSM classifica o TDAH em três tipos:

- Tipo Combinado: Apresenta tanto critérios de desatenção quanto de hiperatividade e impulsividade;
- Tipo Predominantemente Desatento: Apresenta principalmente critérios de desatenção;

- Tipo Predominantemente Hiperativo Especialmente critérios de hiperatividade (DESIDÉRIO, 2007 apud APA, 2002; RAPPLEY, 2005).

O DSM estabelece critérios utilizados para o diagnóstico. A presença de seis ou mais sintomas, por período superior a seis meses, inadequados para o nível de desenvolvimento causa prejuízo clinicamente significativo. (DESIDÉRIO; MIYAZAKI 2007 apud AAP, 2002; RAPPLEY, 2005) O quadro 2 demonstra os critérios.

<p>Déficit de atenção: presença de seis ou mais sintomas, inadequados para o nível de desenvolvimento, por período superior a seis meses, causando prejuízo clinicamente significativo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comete erros grosseiros por falta de atenção;</li> <li>• tem dificuldade em manter-se concentrado;</li> <li>• parece não ouvir;</li> <li>• freqüentemente não segue instruções ou conclui atividades iniciadas, sem que isto se deva a falta ou déficit de compreensão;</li> <li>• tem dificuldade para organizar-se ao realizar tarefas escolares ou atividades domésticas;</li> <li>• evita com freqüência engajar-se em atividades que requerem atenção concentrada;</li> <li>• perde freqüentemente objetos ou materiais necessários para a realização de atividades;</li> <li>• distrai-se com facilidade;</li> <li>• é “esquecido”.</li> </ul> <p>Hiperatividade: presença de seis ou mais sintomas, inadequados para o nível de desenvolvimento, por período superior a seis meses, causando prejuízo clinicamente significativo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Freqüentemente irrequieto, agitado, mexe mãos e pés;</li> <li>• levanta da carteira ou sai da sala de aula com freqüência, tem dificuldade em permanecer sentado por períodos mais longos de tempo;</li> <li>• realiza atividades motoras inadequadas, “perigosas”, subindo nos lugares, correndo;</li> <li>• “barulhento”, tem dificuldade em realizar atividades em silêncio;</li> <li>• parece constantemente “ligado”, “a mil por hora”;</li> <li>• freqüentemente fala demais.</li> </ul> <p>Impulsividade:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tem dificuldade para aguardar sua vez em atividades realizadas em grupo;</li> <li>• dá respostas antes que as perguntas tenham sido completamente formuladas;</li> <li>• “intromete-se” nas atividades dos outros.</li> </ul> <p>✓ Os sintomas que constituem causa de desajuste para a criança: a) iniciaram-se antes dos sete anos de idade; b) estão presentes em mais de um contexto (em casa, na escola, em ambientes sociais); c) não ocorrem exclusivamente na presença de um transtorno global do desenvolvimento (ex. autismo, esquizofrenia); d) não constituem critérios para diagnóstico de outro transtorno mental (ex. transtorno do humor ou da ansiedade).</p>
---

*Quadro 2- Critérios para o diagnóstico do TDAH, adaptados do DSM-IV-RT (AAP, 2002; Rappley 2005)*

Uma investigação mais abrangente deve envolver um especialista no transtorno específico. Indivíduos com o transtorno apresentam alterações circunscritas no processamento cognitivo e na estrutura e funcionamento cerebral. Contudo, testes cognitivos, neuroimagem ou testes genéticos não são úteis para diagnóstico atualmente. (AAP, 2013)

### 2.1.2. Tratamentos convencionais

O tratamento mais usado atualmente é o uso de psicoestimulantes, avaliados como seguros e adequados por proporcionar melhorias significativas em breve espaço de tempo. A substância química mais utilizada no Brasil é o Metilfenidato, usando o nome comercial de Ritalina®. Caso esse medicamento não gere efeitos positivos, outras opções como antidepressivos podem ser utilizados.

Hoje ainda, existem muitas discussões em relação ao uso de drogas psicoativas, especialmente no tratamento de crianças. Vários médicos avaliam que o diagnóstico do TDAH é baseado em julgamentos subjetivos de pais e educadores, que muitas vezes esperam somente que seus filhos e alunos sejam mais dóceis. Nesse cenário, crianças saudáveis estariam sendo patologizadas e sem necessidades, expostas a riscos, como o vício químico e a depressão, entre outros. (NEHER, 2014)

Charles Bradley foi conhecido como o primeiro pesquisador a conduzir um estudo clínico, que possui registro em 1937, sobre o efeito de um estimulante para tratamento de hiperatividade em crianças. A conclusão foi satisfatória, ressaltando uma melhoria expressiva. A Ritalina® começou a ser comercializada em 1955, sendo também utilizada para tratamento de narcolepsia. A droga chamou tanto atenção que começou a ser usada por celebridades como astronautas, matemáticos e políticos famosos. Contudo, como diversas outras drogas, a Ritalina® pode causar dependência química, podendo consigo trazer surtos, alucinações e efeitos colaterais como insônia, entre outros. (BRZOWSKI, 2013)

Além do tratamento com estimulantes, treino de pais em manejo da casualidade, aplicação do manejo de casualidades na escola e uma junção destas estratégias, são comprovadamente eficazes. Entretanto, por mais que esses tipos de tratamento reduzam temporariamente os sintomas, nenhum destes promove a cura do TDAH (BARKLEY, 1998).



Caso exista problemas secundários graves ou comorbidades, se faz necessário a psicoterapia individual e deve ser realizada uma orientação familiar, para terem conhecimento do transtorno e facilitar o convívio entre eles.

A própria Associação Americana de Psiquiatria, faz orientações e aconselhamentos para cuidados familiares com crianças com TDAH em seu manual, dentre essas informações aconselha-se, informar-se a respeito do transtorno, evitar castigos, procurar a escola e professores para informar sobre o problema, evitar discussões, entre outros. E também está disponível o passo a passo de um programa para treino de pais em relação ao manejo do comportamento da criança ou adolescente. (DESIDÉRIO, 2007 apud BARKLEY, 1998)

A Academia Americana de Pediatria (2001), estabeleceu certas diretrizes para o tratamento de TDAH, são essas de acordo com o quadro 3:

#### Recomendações e conteúdo

1. Estabelecer programa para manejo do TDAH, reconhecendo-o como um problema crônico de saúde:

- Fornecer informações adequadas sobre o TDAH;
- avaliar e monitorar periodicamente o nível de conhecimentos da família sobre o transtorno;
- orientar a família em relação ao problema, atualizando constantemente as orientações, de acordo com o nível de desenvolvimento do paciente;
- estar disponível para responder perguntas e esclarecer dúvidas;
- auxiliar a família a estabelecer objetivos adequados, isto é, passíveis de serem alcançados, para o comportamento do paciente na vida diária;
- proporcionar contato com outras famílias que também possuem membros portadores de TDAH;

2. Estabelecer os objetivos terapêuticos em colaboração com escola, pais e criança, especificando alvos específicos para orientar intervenção;:

- Melhorar a qualidade do relacionamento do paciente com familiares, colegas e professores;
- aprimorar o desempenho acadêmico do paciente, sua independência (auto-cuidados e tarefas escolares) e auto-estima;
- aumentar segurança da criança na comunidade (ex. atravessar ruas).

3. Recomendar medicação estimulante e/ou terapia comportamental;:

- Medicação: Identificar a melhor medicação para cada criança;
- terapia comportamental: as estratégias mais efetivas descritas na literatura incluem reforço positivo, *time-out*, custo de resposta e economia de fichas.

4. Reavaliar o tratamento quando os alvos não foram atingidos;:

- Ausência de resposta positiva ao tratamento pode ser decorrente de alvos irrealistas, déficit nas informações obtidas, presença de comorbidade, falta de adesão ao tratamento; tratamento ineficiente.

5. Realizar monitoração e acompanhamento constantes, incluindo dados obtidos dos pais, professores e da própria criança.

*Quadro 3- Diretrizes para tratamento  
American Academy of Pediatrics (2001)*

Por ser um transtorno comum na infância, geralmente tem, um impacto significativo sobre a vida adulta. O tratamento demanda um enfoque sistêmico, visto que nenhum tipo de tratamento abrange todas as dificuldades. As abordagens terapêuticas mais utilizadas compreendem na instrução a respeito do transtorno, para todos que têm analogia com a criança, como familiares e educadores, modifiquem seus comportamentos de maneira enfática para solução de problemas. O tratamento deve ser contínuo, ponderando e envolvendo as distintas conjunções e pessoas com quem estas crianças convivem.

### 2.1.3. Tratamento auxiliar

Com o avanço tecnológico novos jogos foram desenvolvidos, mudando a visão dos profissionais da área de saúde, que por muito tempo associavam os jogos ao sedentarismo. Contudo, com o aumento nas vendas de jogos mais interativos, se viu a oportunidade do uso em clínicas e tratamentos, com o intuito de incentivar e chamar atenção do paciente, principalmente crianças.

Jogos como o *Wii*, da Nintendo, *PlayStation*, da Sony, e o *Xbox*, da Microsoft, trabalham capacidades como raciocínio, memória, equilíbrio e atenção. Utilizados na reabilitação, eles ajudam no tratamento de recuperação de movimentos dos membros, além de também melhorar a coordenação motora e a concentração, sendo útil no auxílio do tratamento de pessoas com TDAH.

Por volta de 2006 no Canadá, começou o conhecido *WiiRehabilitation*, onde pacientes que necessitavam de terapia para reabilitação de atividades motoras, crianças com algum tipo de deficiência, idosos e entre outros, faziam o uso do jogo *Wii* como auxiliar no tratamento. Em 2008, a revista *Physical Therapy* fez um estudo com um jovem, que após algumas sessões com o jogo *Wii* obteve uma melhora significativa da mobilidade e do equilíbrio. (ALFIERI,2014)

Ao longo dos anos, vários outros estudos foram feitos e mostraram resultados positivos em relação a reabilitação utilizando jogos digitais. Acredita-se que o uso dos jogos está tornando o tratamento em diversão e promovendo a saúde de pacientes.

Para o tratamento de pacientes com TDAH uma nova técnica vem sendo utilizada, chamada de *neurofeedback*, um tipo de *biofeedback* exclusivo para o treinamento de ondas cerebrais. Nesse tipo de tratamento, sensores são conectados na cabeça do paciente e o mesmo deve controlar um jogo na tela de um computador.

## 2.2. Neurofeedback

As conexões entre os neurônios dependem de elementos bioquímicos complexos. Esse entendimento neuronal é fruto de uma atividade elétrica. No ano de 1924, Hans Berger, psiquiatra alemão, conectou dois eletrodos ao escalpo de um paciente e captou uma corrente elétrica no cérebro humano, criando assim, o primeiro registro de eletroencefalograma no homem. (GIL, 2005)

Durante anos houve uma evolução dos processos de registros das atividades elétricas, antes registros eram contínuos e analógicos, hoje são digitais e processados por *softwares* e *hardwares* aprimorados.

O procedimento utilizado para análise do eletroencefalograma, consiste em colocar eletrodos em posições definidas no couro cabeludo do paciente, um amplificador aumenta a amplitude das ondas elétricas que em seguida serão exibidos num gráfico digital ou analógico, de acordo do equipamento utilizado. O médico pode assim fazer uma análise clínica observando as alterações dos padrões das ondas. (ABC.MED.BR, 2013)

O eletroencefalograma pode ser usado também para obter um mapa da atividade cerebral. Através de tarefas realizadas pelos pacientes, os eletrodos captam as faixas de ondas produzidas nas regiões abaixo do couro cabeludo. (NETO, 2012 apud GAZZANIGA, 2005)

Com o avanço das tecnologias e conhecimento do funcionamento do eletroencefalograma e das atividades cerebrais, foi possível o desenvolvimento de uma nova técnica conhecida como *neurofeedback*, que é um tipo de *biofeedback*.

O *biofeedback* é uma técnica que fornece informações de respostas fisiológicas do paciente, com o objetivo de auto regulação. O processo de medição é bem similar ao do eletroencefalograma, pois consiste em posicionar sensores no local específico para a captação de sinais fisiológicos, e os mesmos são amplificados e filtrados. Por fim, são convertidos em uma informação inteligível, e então expostos para o paciente realizar o treinamento.

Informações como tensão muscular, frequência cardíaca e atividade cerebral, são devolvidas imediatamente para o paciente. O *neurofeedback* é uma técnica exclusiva para o treinamento de ondas cerebrais.

Antes do treino o cérebro é mapeado, e durante o tratamento novos mapeamentos são feitos, para servir de comparativo na evolução do tratamento. Esse treino está voltado para

entender e mostrar a relação entre o comportamento do paciente com o funcionamento do cérebro.

O treino compreende diversas sessões, personalizadas, dependendo dos casos e da avaliação dos responsáveis da área de saúde. O paciente realiza trabalhos com o fim de promover mudanças. Músicas, jogos e vídeos são utilizados para interação, motivação e *feedback* para o paciente e o médico. Todos os dados são enviados para um *software*, sendo assim possível o paciente controlar a música, vídeo ou o jogo com a própria mente. Enquanto isso o terapeuta controla os critérios dos treinos com o objetivo de tornar o arquétipo elétrico do cérebro mais funcional. Por ter um *feedback* em tempo real, o paciente consegue fazer a própria avaliação e alcançar os objetivos do treino e aonde precisa melhorar. (MURATORI, 2015) A figura 2 representa o esquemático do neurofeedback.

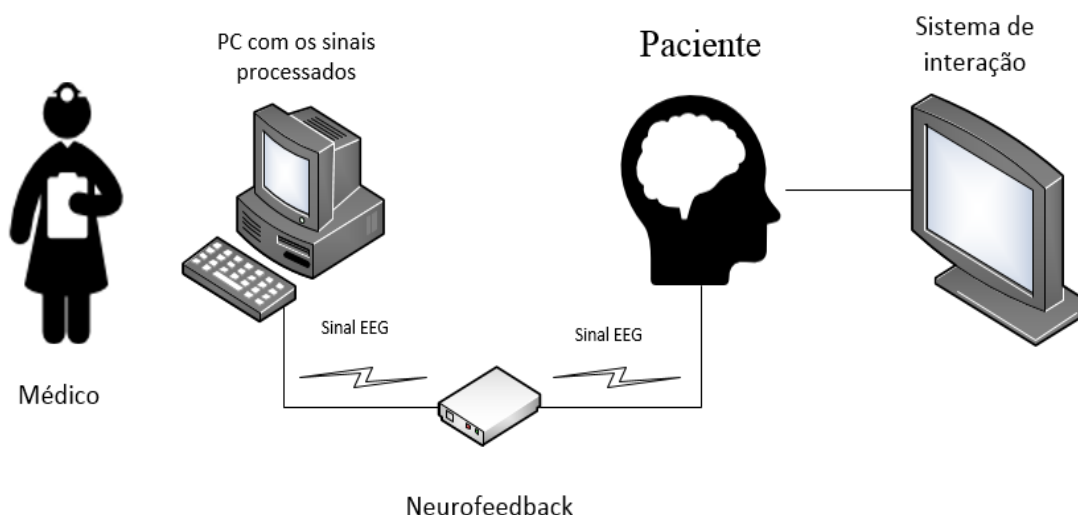


Figura 2- Esquemático do neurofeedback  
Fonte: Elaborado pela autora

Em um artigo publicado, Dias (2010) apresentou a revisão de 310 artigos em que concluiu que pesquisas sobre a utilização de *neurofeedback* em casos de TDAH são controlados e com uma categoria entre aceitável a boa. A utilização do *neurofeedback* para o tratamento do déficit de atenção está bem constituído e não foram achados relatos de que a técnica seja indevida. (NETO, 2012) Contudo, o tratamento ainda é considerado auxiliar, sendo o uso de psicoestimulantes o mais utilizado.

Com o objetivo de abranger melhor o tratamento por *neurofeedback*, é importante detalhar, ainda que brevemente, algumas noções de ondas cerebrais.

### 2.2.1. Ondas cerebrais

Após a descoberta do eletroencefalograma, feita pelo psiquiatra Berger, vários estudos e testes foram feitos para melhorar o entendimento e a investigação do funcionamento neurofisiológico.

Os parâmetros principais do EEG são frequência e amplitude. As amplitudes variam de 0 a 200  $\mu\text{V}$  e a frequência de 0 a 30 Hz. Contudo a amplitude depende de múltiplos fatores como a posição dos eletrodos, diâmetro e localização. (BORGES,2009 *apud* CARDOSO, 2005)

A amplitude das ondas é apurada pelo número de fibras e neurônios que disparam sincronicamente. O neurônio é uma célula excitável capaz de causar eletricidade e assim propagar o impulso elétrico de um ponto a outro da própria célula. Determinados estímulos originam alterações provisórias na diferença de potencial elétrico a ponto de inverter inteiramente a polaridade elétrica. Essa agitação incide do aumento acelerado e breve na permeabilidade ao sódio ( $\text{Na}^+$ ), seguido de uma ampliação mais lenta e prolongada na permeabilidade ao potássio ( $\text{K}^+$ ). (BORGES, 2009 *apud* PURVES et al, 2005)

Neurônios piramidais são fundamentais pela aquisição das ondas de EEG. Como o potencial elétrico gerado por cada neurônio piramidal do córtex é demasiadamente baixo, são indispensáveis milhares de neurônios subjacentes, que ativados em conjunto para gerar um sinal com intensidade aceitável para ser captado e amplificado por um equipamento de registro de EEG. (ADUR, 2008) As variações dos sinais definem o estado do comportamento, como concentração, sonolência e relaxamento.

Para a captação dos sinais elétricos do corpo humano são utilizados eletrodos. São sensores que trabalham como sendo uma interface de difusão entre o corpo e o sistema eletrônico que irá mensurar o sinal.

Por serem vários sinais biológicos existentes, diferentes tipos de eletrodos, que são necessários para medir um sinal específico. No eletroencefalograma e *neurofeedback* são utilizados na maioria das vezes eletrodos de superfície. Por não serem invasivos, acabam sendo menos dolorosos para o paciente.

O circuito utilizado para esse projeto, foi desenvolvido especificamente para receber informações de eletrodos ‘secos’. Usualmente os testes são realizados utilizando eletrodos com um gel entre a pele e o sensor.

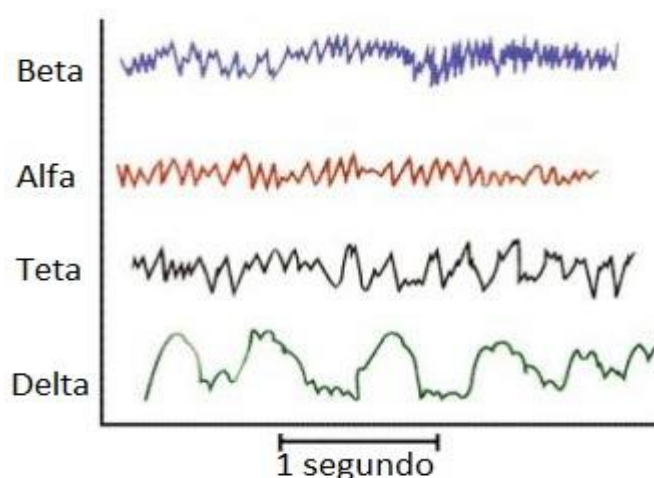
Para captação de sinais cerebrais específicos, os eletrodos devem ser posicionados em locais pré-definidos, na cabeça e nas orelhas, onde a amplitude das ondas são maiores. Os registros permitem diferenciar ritmos e faixas das ondas, sendo característicos pela frequência e amplitude de cada, são medidas em hertz (Hz) e em microvolts, respectivamente. Essas frequências representam o número de vezes que cada neurônio transmite um pulso de informação para outros e a amplitude define a intensidade de cada impulso elétrico. (NETO, 2012 apud MASCARO,2008)

Quatro tipos de ondas são caracterizados, contudo existe variação nos intervalos das faixas entre alguns autores, sendo essas conforme o quadro 4 e a figura 3:

<b>Tipo de onda</b>	<b>Frequência</b>
Delta	0.1Hz a 3Hz
Teta	4Hz a 7Hz
Alfa	8Hz a 12Hz
Beta	12Hz a 30Hz

*Quadro 4- Tipos de ondas*

*Fonte: NEUROSKY, 2011*



*Figura 3- Tipos de ondas*

*Fonte: Adaptado de Muratori, 2015.*

Cada onda correlaciona-se a um estado diferente:

- Ondas Delta: É o estado de sono profundo ou coma;
- Ondas Teta: Sonolência;
- Ondas Alfa: Está relacionada com o estado de relaxamento;
- Ondas Beta: Estado de atenção, alerta e concentração. (NETO,2012 apud BEAR, CONNORS; PARADISO, 2002)

O protocolo mais utilizado, e também foco deste projeto, para o tratamento do TDAH procura-se aumentar os ritmos da onda beta (concentração) e rebaixar os níveis de teta (sonolência). (DIAS, 2010)

#### 2.2.1.1. Transformada de Fourier

Os sinais captados pelos sensores, são sinais elétricos analógicos. Para obter um condicionamento desses sinais, eles são emitidos para um conversor que transforma os sinais analógicos em digitais. Após os sinais terem sido convertidos, eles são submetidos a um processamento digital de sinais, que nada mais é que a matemática utilizada para manipular estes sinais após a conversão. O estudo dessa conversão matemática é chamado de Processamento Digital de Sinais (PDS). A figura 4 representa o funcionamento do processamento de sinais.

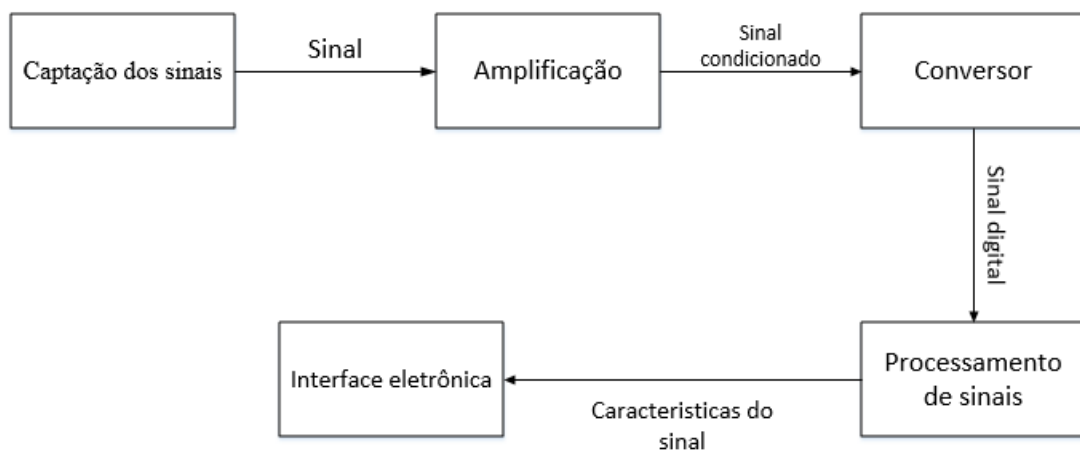


Figura 4- Representação do processamento digital de sinais

Fonte: Elaborado pela autora

Existem diversas formas de analisar um sinal, porém dependendo da necessidade, algumas técnicas de processamento digital de sinais são mais eficientes e apresentam resultados mais conclusivos que outros. Para obter melhor compreensão dos sinais, dois tipos

de processamento são utilizados: no domínio do tempo e no domínio da frequência. (BORGES,2009)

A Transformada de Fourier é utilizada para representar um sinal não-periódico de tempo contínuo como uma superposição de senóides complexas. O fato de o sinal ser contínuo e não-periódico implica que os coeficientes da transformada percorrem um intervalo infinito de frequências.

Definindo um sinal  $x(t)$  no tempo, a função  $X(f)$  é transformada direta de Fourier de  $x(t)$ , e simula as amplitudes das várias componentes de frequência que constituem o sinal. Dessa maneira  $X(f)$  é um aspecto do grau de participação dos componentes da função  $x(t)$  no domínio da frequência, conforme se pode observar na equação 1. Onde  $f$  é a frequência e,  $i$  e  $j$  um número imaginário, conforme indica na equação 2.1.

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-2j\pi ft} dt \quad (2.1)$$

Contudo, a transformada de Fourier possui a desvantagem de perder a referência no domínio do tempo, ou seja, exclui o momento da ocorrência de um determinado evento. Porém se um sinal é estacionário, esta desvantagem não é muito significativa. Todavia, muitos sinais que ocorrem no EEG tem características não estacionários e são transitórios, como tendências, mudanças abruptas e começos e fins de eventos, sendo portanto, perdidos quando analisados no domínio da frequência. (KANDA, 2012)

Existem variações das representações de Fourier, aplicadas para situações específicas. Dentre das transformações disponíveis destaca-se a Transformada Discreta de Fourier (DFT). É a transformada onde as sequências de entrada e saída são finitas.

A DFT de um sinal do tempo  $x[n]$  de comprimento  $N$  é definida pela equação 2.2.

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]e^{-j2\pi kn/N}, 0 \leq k \leq N - 1 \quad (2.2)$$

Para simplificar, utiliza-se a seguinte definição descrita na equação 2.3.

$$W_N = e^{\frac{-j2\pi}{N}} \quad (2.3)$$

O método mais utilizado para análise de EEG é o FFT (*Fast Fourier Transform*), traduzindo, é a transformada rápida de Fourier. Consiste em decompor sucessivamente o



cálculo da DFT em  $N$  pontos menores, fazendo com que diminua a complexidade computacional. É um algoritmo que transforma um sinal no domínio do tempo para o domínio da frequência. A figura 5 demonstra o método.

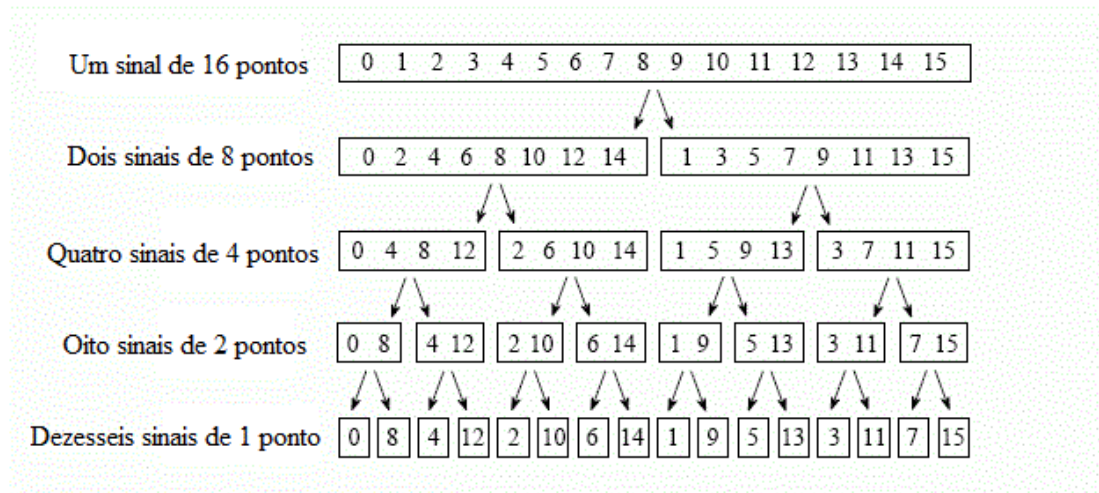


Figura 5- Decomposição do FFT

Fonte: Adaptado de SMITH, 2015.

Para simplificar a notação ao trabalhar com a FFT, normalmente utiliza-se a definição genérica da equação 2.4.

$$Fn = \sum_{k=0}^{N-1} f_k e^{-i2\pi n \frac{k}{N}} = \sum_{k=0}^{N-1} f_k W^{kn}, n = 0, \dots, N - 1 \quad (2.4)$$

Onde  $f$  é a frequência,  $k$  o número da função sinusoidal,  $N$  número total de funções que compõem o sinal,  $n$  é o número inteiro que representa o domínio do tempo discreto, ou seja o número de amostras do sinal e  $W$  como a frequência angula.

Uma vez que o algoritmo FFT transforma o sinal no domínio do tempo para o domínio da frequência, as distribuições das frequências do EEG podem ser observadas e analisadas.

## 2.3. Materiais utilizados

### 2.3.1. Mindflex

Novas tecnologias estão avançando, não apenas em aparelhos domésticos, automóveis e computadores. Ao longo dos anos os velhos jogos de tabuleiro podem ser jogados de diversas formas, online, em 3D, entre outros. O setor de entretenimento foi afetado diretamente com esse avanço tecnológico, e para acompanhar esse progresso, empresas fabricante de

brinquedos estão sempre querendo estar a um passo à frente do mercado, e desenvolver jogos que parecem ser mais uma invenção cinematográfica, que nossos antepassados poderiam afirmar ser impossível.

Foi com esse pensamento que a Mattel, uma companhia estadunidense de brinquedos, desenvolveu um dos produtos mais inovadores e interativos.

O Mindflex foi lançado em 2009 com o anúncio de ser um jogo que poderia ser controlado apenas com o poder da mente. E não demorou muito para chamar atenção das pessoas e também de críticos céticos em relação a veracidade do funcionamento do jogo. Foi também eleito pela revista Time entre os 100 melhores brinquedos de todos os tempos. (NEUROSKY, 2011)

O objetivo do jogo é muito simples, porém requer muita concentração. O jogador precisa controlar uma bolinha e move-la ao longo de um percurso com obstáculos montados pelo próprio jogador. Mas a ideia é usar apenas a força das ondas cerebrais.

Para captar os sinais cerebrais, o jogo possui um *headset* com dois eletrodos, um localizado na parte frontal da cabeça e outro conectado a orelha, conforme mostra a figura 6.



*Figura 6- Headset do jogo*

*Fonte: <http://store.neurosky.com/products/mindflex>*

O jogo possui duas versões, a primeira só é possível um jogador e a última, e mais recente, pode-se jogar com até duas pessoas, podendo assim ter a opção de competição, e também diferentes modos de jogar.

O jogo vem acompanhado com uma plataforma, dois *headset*, um para cada jogador, e diversas peças para usar de obstáculo, conforme ilustra a figura 7.



Figura 7- Jogo completo

Fonte: [http://ecx.images-amazon.com/images/I/818M%2BPQ11UL.\\_SL1500\\_.jpg](http://ecx.images-amazon.com/images/I/818M%2BPQ11UL._SL1500_.jpg)

Para ter um efeito mais sobrenatural, o tabuleiro consiste de uma ventoinha que é acionada toda vez que o jogador se concentra, fazendo com que uma bolinha leve flutue durante o percurso. A comunicação entre o *headset* e a plataforma é sem fio (*wireless*).

Por ser um jogo complexo de ser desenvolvido, a Mattel contou com a colaboração da empresa NeuroSky para desenvolver os *hardwares* e algoritmos necessários para captação das ondas cerebrais.

#### 2.3.1.1. NeuroSky

Fundada em 2006, a empresa norte-americana localizada no Vale do Silício, é uma empresa focada em explorar a performance mental e do corpo. Desenvolve biossensores que são utilizados em diversos produtos mundialmente.

Entre os sensores desenvolvidos pela empresa está o sensor de eletroencefalograma. Um sensor de baixo custo e uma solução viável para estudos e entretenimento. Com informações precisas, portátil e com filtragem de ruídos, o sensor é capaz de captar sinais elétricos, amplifica-los e traduzir a atividade do cérebro. Com isso, é possível entregar insumos concisos para jogos, dispositivos e aplicações educacionais e pesquisas. (NEUROSKY, 2011)

Os algoritmos são desenvolvidos por neurocientistas da própria empresa e instituições de pesquisa parceiras. A figura 8 ilustra o chip utilizado.



Figura 8- Circuito de eletroencefalograma da NeuroSky  
Fonte: NEUROSKY, 2011.

O circuito apresentado possui as seguintes especificações conforme mostra o quadro 5:

Tamanho	2,79 cm x 1,52 cm x 0,25 cm
Peso	130mg
Taxa de amostragem	512Hz
Faixa de frequência	3-100Hz
Consumo máximo de energia	15mA/ 3,3V
Tensão de operação	2,97~3,63V

Quadro 5- Especificações do circuito  
Fonte: NEUROSKY, 2011

A placa possui a seguinte disposição, conforme mostra a figura 9:

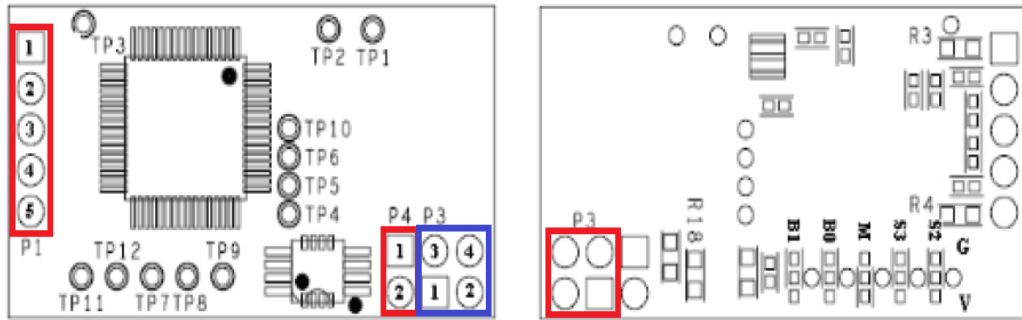


Figura 9- Placa da Neurosky  
Fonte: NEUROSKY, 2011

A imagem à direita é a vista superior da placa e a esquerda a parte inferior. Os eletrodos estão localizados na parte chamada na imagem de P1 (vista superior da placa), o pino 1 é o eletrodo EEG, o pino 2 é o *shield* (proteção) do EEG. O pino 3 é o eletrodo terra e os pinos 4 e 5 representam, respectivamente, o *shield* de referência e o eletrodo de referência. Na parte nomeada de P4, estão localizados os pinos 1 e 2 que representam, respectivamente, o VCC (alimentação) e o GND (terra). No canto inferior direito, na visão superior do circuito, está localizada a parte P3, que é designada para a comunicação UART/Serial. O pino 1 é o terra, o pino 2 a alimentação, e o pino 3 e 4 representam, respectivamente, Rx (*receiver*) onde recebe os dados e o Tx (*transiver*) onde envia os dados.

A figura 10 simula o esquema do circuito utilizado pela NeuroSky no módulo fabricado, nomeado de *Module ThinkGear*.

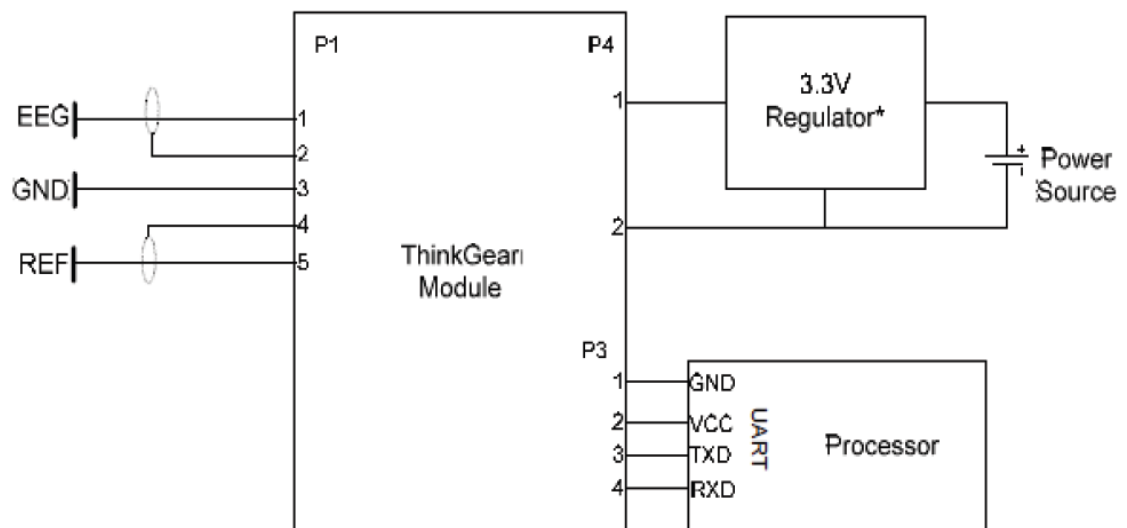
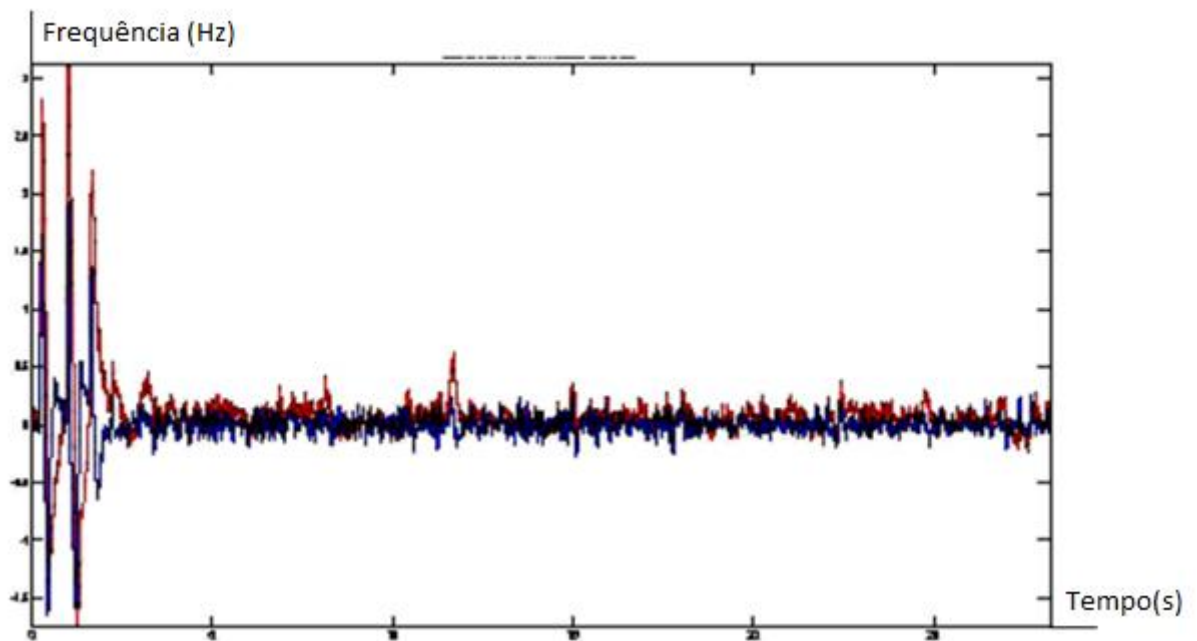


Figura 10- Circuito NeuroSky  
Fonte: NEUROSKY, 2011

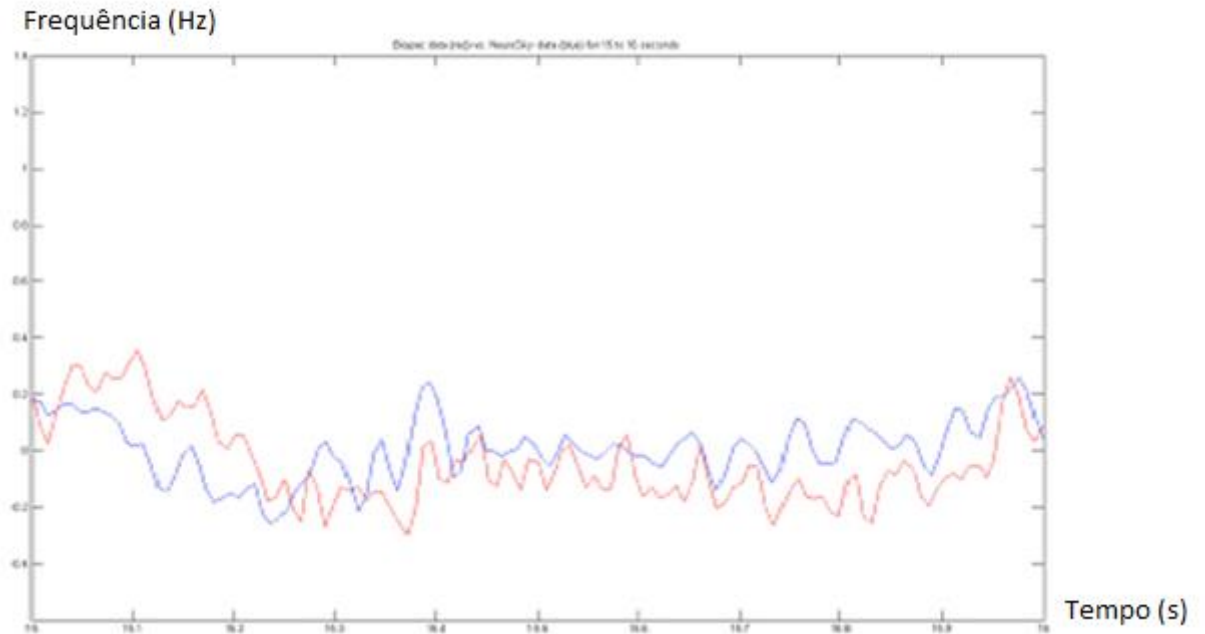
Como fonte de energia o módulo utiliza duas baterias do tipo AAA, tanto o eletrodo de referência quando de EEG estão conectados diretamente no módulo e o terra está ligado diretamente ao processador de comunicação UART.

A NeuroSky conduziu vários testes para servir de comparação entre o circuito criado e os EEG utilizados no mercado. O circuito da NeuroSky utiliza o FFT como ferramenta matemática para o processamento dos sinais. Os eletrodos foram posicionados no mesmo local, o mais próximo possível, sem que houvesse interferência um do outro. A imagem da figura 11 mostra a comparação do EEG desenvolvido pela NeuroSky (em vermelho) e o EEG convencional (em azul). Nos gráficos a seguir os eixos das ordenadas é dado em Hertz e nos eixos das abscissas em segundos.



*Figura 11- Comparação do EEG NeuroSky com um convencional  
Fonte: Adaptado de NEUROSKY, 2009*

A imagem a seguir faz a comparação dos sinais de atenção, num período de tempo entre 15 a 17 segundos. O seguinte resultado mostra que os sinais da NeuroSky e do EEG convencional são bastante similares. NeuroSky (em vermelho) e o EEG convencional (em azul).



*Figura 12- Comparação do EEG NeuroSky com um convencional(2)  
Fonte: Adaptado de NEUROSKY, 2009*

Como resultados de vários testes de comparação a NeuroSky, concluiu que os sinais do EEG desenvolvido são compatíveis com os EEGs disponíveis no mercado, e ainda, mostrou também que o circuito desenvolvido pela empresa possui uma tolerância a ruído maior.

A NeuroSky é uma empresa que incentiva a pesquisa e disponibiliza kits para desenvolvimento e espaço para publicação das mesmas.

### 2.3.2. Microcontrolador

Lançado em 2005, o Arduino foi desenvolvido com o fim de ser de baixo orçamento e de fácil acesso para meios acadêmicos. A placa do Arduino Uno, mostrado na figura 13, utiliza o microcontrolador ATmega328, e é composta de quatorze entradas e saídas digitais, seis entradas analógicas, um conector de alimentação, uma conexão USB e um botão de reset. (ARDUINO, 2015) A tensão de operação é de 5V e a tensão de alimentação recomendada é de 7 até 12V.

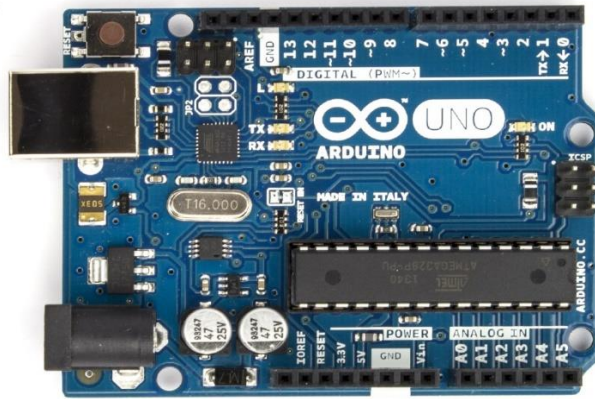


Figura 13- Arduino Uno

Fonte: <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>

O Arduino é desenvolvido na linguagem de programação C e C++, sendo de fácil configuração dos circuitos desenvolvidos, possui diversas bibliotecas disponíveis e também é possível criar novas. É disponível um *software* para a sua programação, chamado Arduino IDE (*Integrated Development Environment*). Esse *software* foi desenvolvido em linguagem Java. A comunicação com o Arduino é feita via USB A/B. A figura 14 ilustra a interface do software utilizado para programação.



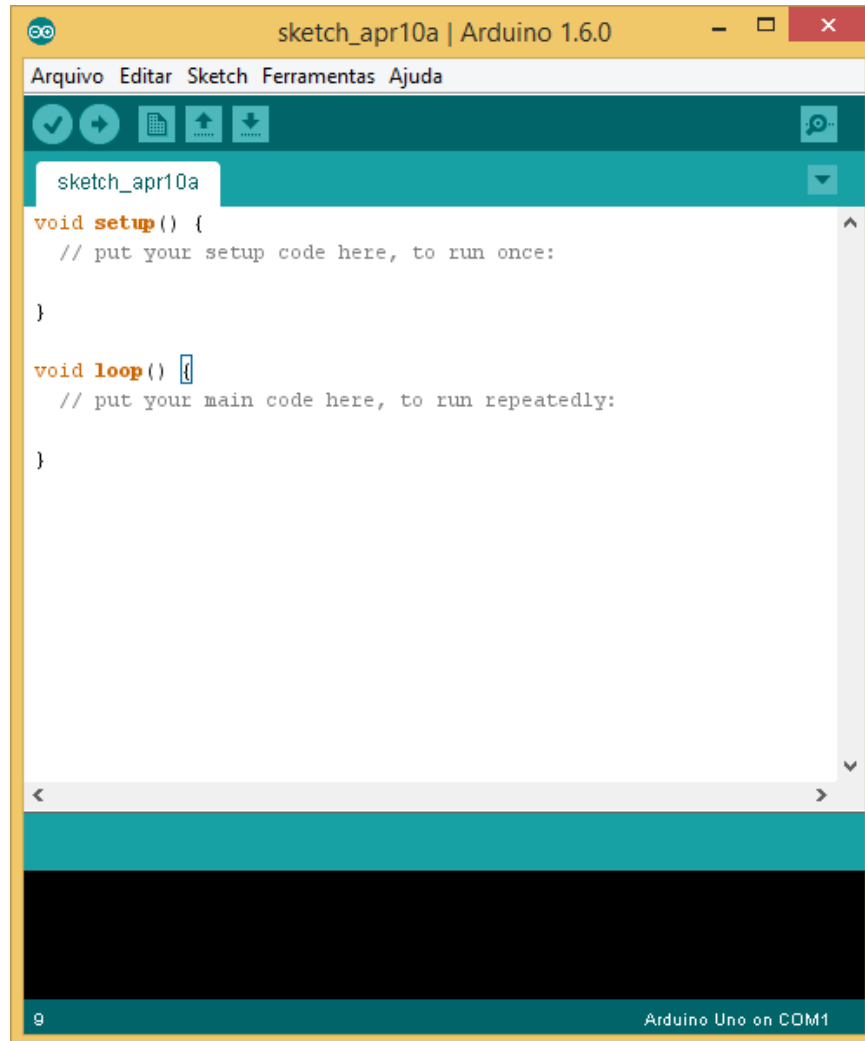


Figura 14- Ambiente de desenvolvimento do Arduino

Fonte: Elaborado pela autora

O microcontrolador Arduino Uno foi selecionado para compor o desenvolvimento deste projeto, por ser de baixo custo e *open source*. O Arduino é uma fantástica plataforma para desenvolvimento e testes de protótipos, sendo útil para fins profissionais e acadêmicos.

### 2.3.3. Módulo RF transmissor e receptor 433MHz

O rádio é uma solução tecnológica das telecomunicações utilizado para propiciar comunicação por intermédio da transmissão e recepção de informações previamente codificadas em sinal eletromagnético que se propaga pelo espaço. (VIEIRA, 2015)

Para que ocorra a comunicação são necessários três elementos básicos: o transmissor; receptor e um meio para que ocorra essa transmissão.

Nesse projeto será utilizado o módulo RF transmissor e receptor, que operam na frequência de 433MHz, sendo assim, será dispensada a utilização de fios. A comunicação chega a uma distância de até 200 metros. A figura 15 ilustra o módulo transmissor utilizado.

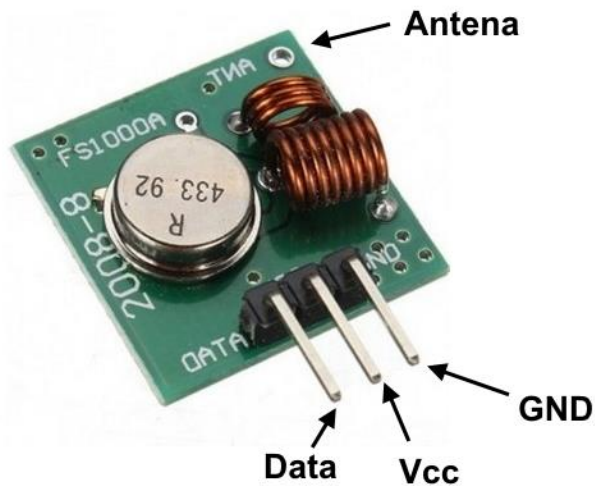


Figura 15- Módulo transmissor

Fonte: <http://blog.filipeflop.com/wireless/modulo-rf-transmissor-receptor-433mhz-arduino.html>

O transmissor converte sinais digitais em ondas eletromagnéticas, enviando-os para o espaço através de uma antena transmissora, para serem recebidos por um receptor. A figura 16 representa o módulo receptor utilizado nesse projeto.

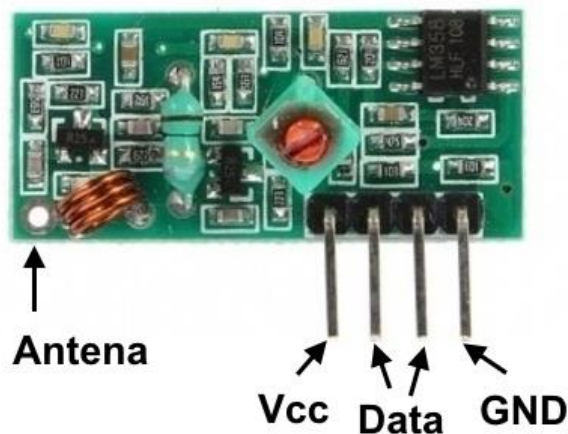


Figura 16- Módulo receptor

Fonte: <http://blog.filipeflop.com/wireless/modulo-rf-transmissor-receptor-433mhz-arduino.html>

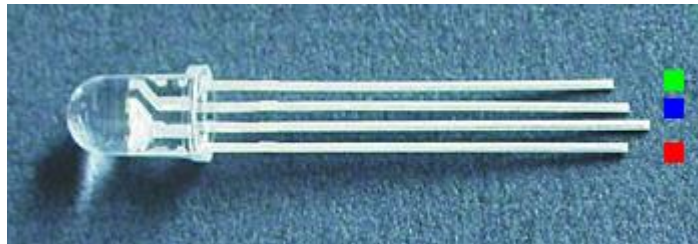
Um vez os dados enviados pelo transmissor, o receptor é responsável pela decodificação dos sinais eletromagnéticos recebidos do espaço, captados pela antena, transformando-os em ondas sonoras, sinais digitais e/ou analógicos.

Os módulos foram utilizados nesse projeto por serem de fácil instalação e baixo custo.

#### 2.3.4. Led RGB

LED é a abreviação de *Light Emmiting Diode*, traduzindo, Diodo Emissor de Luz e RGB vem do inglês *Red Green Blue*, que são as três cores primárias, vermelho, verde e azul, e com a combinação das mesmas é possível criar diversas tonalidades.

Nesse projeto são utilizadas todas as cores, sendo vermelho representando a pouca concentração, amarelo uma concentração neutra, verde alta concentração, rosa qualidade do sinal ruim e azul sem sinal. A figura 17 ilustra o LED utilizado.



*Figura 17- Led RGB*

*Fonte: <http://blog.bsoares.com.br/processing/controlling-rgb-led-with-arduino-and-processing>*

## CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Esse capítulo apresenta o desenvolvimento do sistema de coleta de sinais cerebrais e transformação dos dados em códigos de controle de atuadores. É apresentada a implementação e etapas necessárias para a obtenção do produto desejado com base nas tecnologias e conceitos apresentados no capítulo anterior.

### 3.1. Descrição do sistema proposto

A proposta deste projeto é desenvolver um sistema de controle de um atuador através das ondas cerebrais captadas pelo circuito de eletroencefalograma. O sistema sugerido consiste da análise das ondas captadas e identifica-las de acordo com o nível de concentração do paciente. Esse protótipo é usado como um *feedback* de auxílio para tratamentos clínicos de pacientes com TDAH.

Para facilitar o desenvolvimento do projeto, o mesmo é dividido em três blocos, conforme mostrado no diagrama da figura 18.

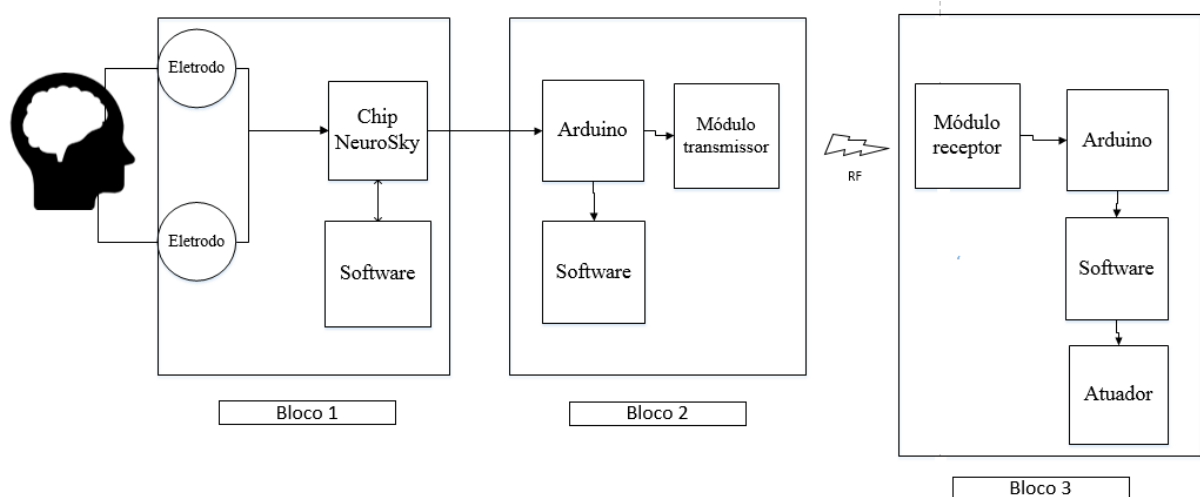


Figura 18- Diagrama de blocos do projeto

Fonte: Elaborado pela autora

O primeiro bloco (Bloco 1) consiste no sistema de neurofeedback, o qual capta os sinais cerebrais, nesse bloco é possível a análise desses sinais através de gráficos no computador, assim facilitará na identificação das mudanças dos sinais de acordo com o estado do paciente.

O Bloco 2 versa a conversão dos sinais cerebrais em dados, a serem enviados através do transmissor, para o controle do atuador. A comunicação entre o bloco 2 e 3 será feita sem fio. O Bloco 3 recebe os dados do primeiro Arduino e converte em comandos para o led RGB, cada cor representará um estado de concentração.

### 3.2. Sistema de neurofeedback (BLOCO 1)

Como mencionado anteriormente, esse projeto utiliza o chip de eletroencefalograma da empresa NeuroSky, que está sendo usado no jogo Mindflex.

Primeiramente, se fez necessário a interpretação dos sinais através do computador, podendo assim, analisá-los. A figura 19, ilustra como é feita a ligação dos pinos para a captação dos sinais, onde os dados serão importados para que fossem visíveis no computador.

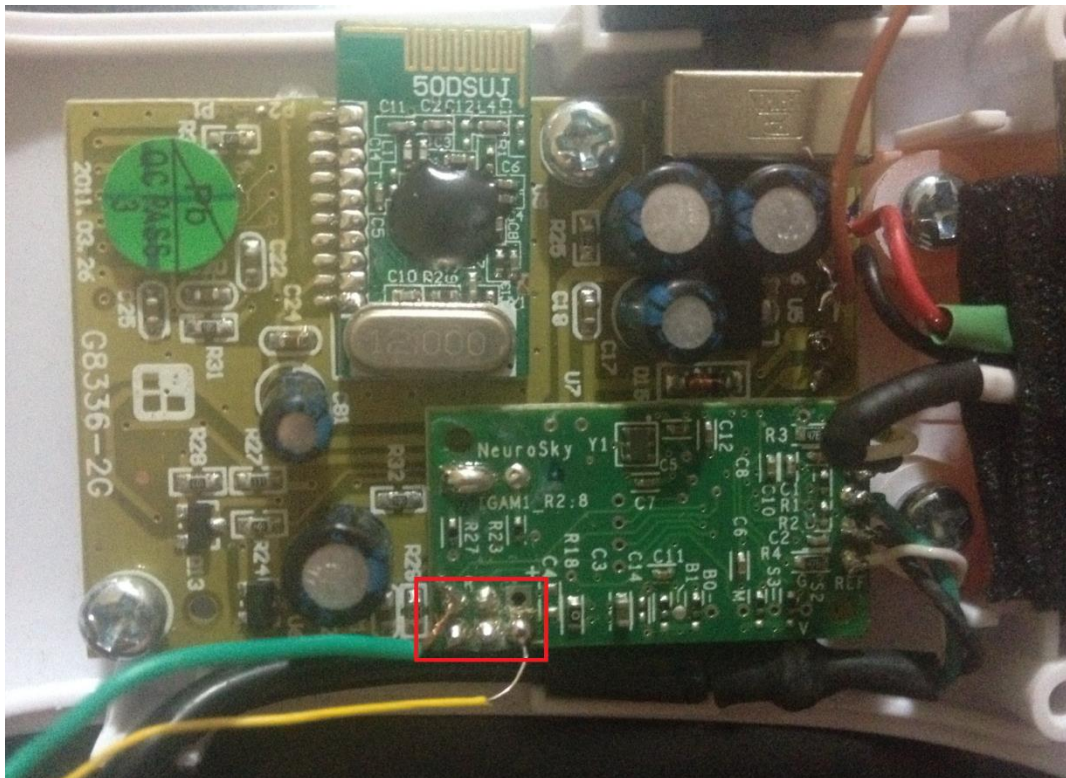
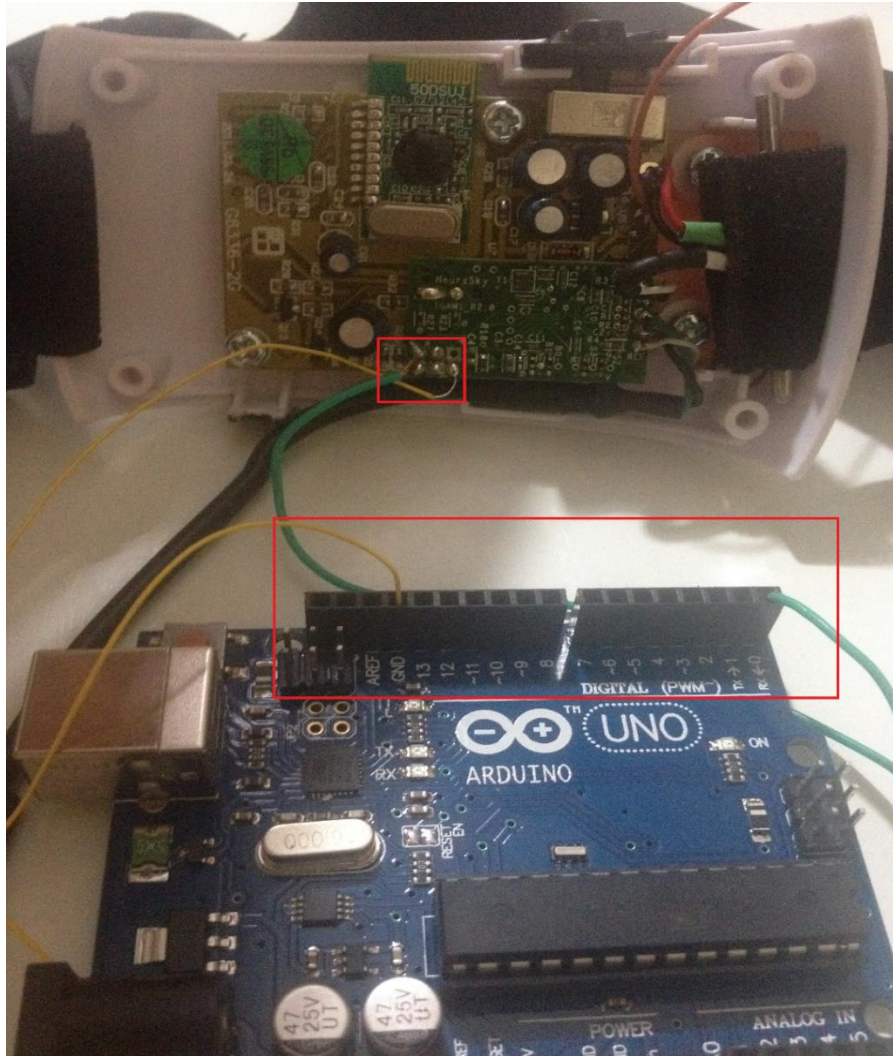


Figura 19- Chip da NeuroSky localizado no Mindflex

Fonte: Elaborado pela autora

Conecta-se dois fios ao chip, o primeiro (na figura, o fio verde) ligando o pino T do chip, que representa a transmissão dos dados, e o segundo (fio amarelo) ligado ao terra do circuito. Em seguida os fios são conectados ao Arduino, o verde, ligado ao pino T é conectado ao Rx

do Arduino e o terra do chip ao terra do Arduino (GND), conforme ilustra a figura 20.



*Figura 20- Chip NeuroSky conectado ao Arduino*

*Fonte: Elaborado pela autora*

Uma biblioteca (com o nome Brain.h) está disponível na internet para transformar os *bytes* de dados do chip NeuroSky em uma sequência de caracteres ASCII agradável de valores separados por vírgulas (CSV- *Comma Separated Values*).

O seguinte código representa a leitura dos sinais captados do chip da NeuroSky e retorna um pacote de dados com os valores que representam os sinais recebidos.

```
#include <Brain.h>
Brain brain(Serial);
void setup() {
    Serial.begin(9600);
```

```

}
void loop() {
    if (brain.update()) {
        Serial.println(brain.readCSV());
    }
}

```

Após carregar o código no Arduino, é possível ver, através do monitor serial, disponível no próprio *software* do Arduino, os sinais que estão sendo recebidos do chip da NeuroSky, conforme ilustra a figura 21.

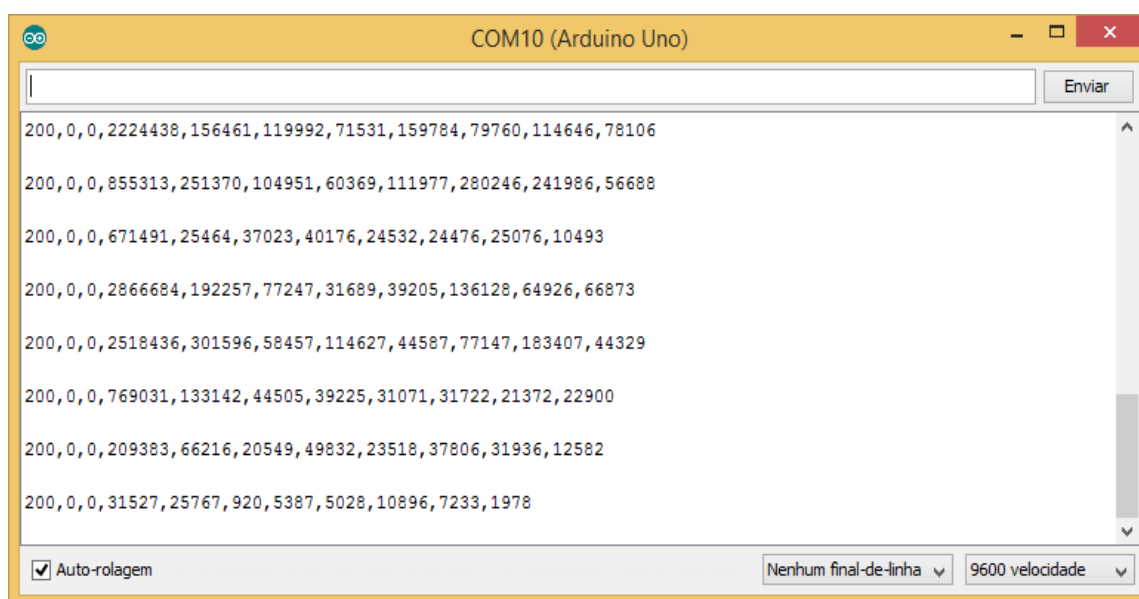


Figura 21- Sinais captados mostrados no Arduino

Fonte: Elaborado pela autora

O chip capta onze sinais diferentes. O primeiro representa a qualidade do sinal, que para esse projeto varia de 0 a 200, sendo 0 representando um qualidade boa e só quando alcança esse valor, poderá analisar os outros sinais. As outras ondas captadas pelo chip são: meditação (estado de relaxamento), onda delta, teta, baixa-alfa, alta alfa, baixa beta, alta beta, baixa gama e alta gama, cada uma representa um estado do paciente, que pode ser de sonolento a estado de alerta, porém não serão utilizadas para o sistema proposto.

A fim de expressar visualmente os dados de tal forma que fosse mais fácil de serem identificados, utilizou-se um *software*, de código aberto, chamado Processing, e foi disponibilizado na internet um código para a conversão dos números em gráficos.

### 3.2.1. Processing

Surgido em 2001, o Processing é um ambiente de desenvolvimento com o fim de servir de contexto visual. Tem como base a linguagem Java.

Para facilitar a compreensão do funcionamento do código, algumas partes do programa serão comentadas a seguir.

Primeiramente é definido o número de sinais recebidos, são onze, contudo o primeiro valor representa a qualidade do sinal, então ele não será representado graficamente.

```
Channel[] channels = new Channel[11];
Monitor[] monitors = new Monitor[10];
```

Cada onda será definida com uma cor diferente para melhor visualização.

```
channels[0] = new Channel("Signal Quality", color(0), "");
channels[1] = new Channel("Attention", color(100), "");
channels[2] = new Channel("Meditation", color(50), "");
channels[3] = new Channel("Delta", color(219, 211, 42), "Dreamless
Sleep");
channels[4] = new Channel("Theta", color(245, 80, 71), "Drowsy");
channels[5] = new Channel("Low Alpha", color(237, 0, 119), "Relaxed");
channels[6] = new Channel("High Alpha", color(212, 0, 149), "Relaxed");
channels[7] = new Channel("Low Beta", color(158, 18, 188), "Alert");
channels[8] = new Channel("High Beta", color(116, 23, 190), "Alert");
channels[9] = new Channel("Low Gamma", color(39, 25, 159), "Multi-
sensory processing");
channels[10] = new Channel("High Gamma", color(23, 26, 153), "");
```

Para receber os valores dos sinais, a qualidade tem que ser diferente de 200, que nesse caso é considerada a pior qualidade, caso não seja diferente os valores serão zeros.

```
if ((Integer.parseInt(incomingValues[0]) == 200) && (i > 2)) {
    newValue = 0;
}
```



O Arduino que recebe os sinais do circuito da NeuroSky, apresenta a seguinte interface das ondas no *software* Processing, conforme ilustra a figura 22.

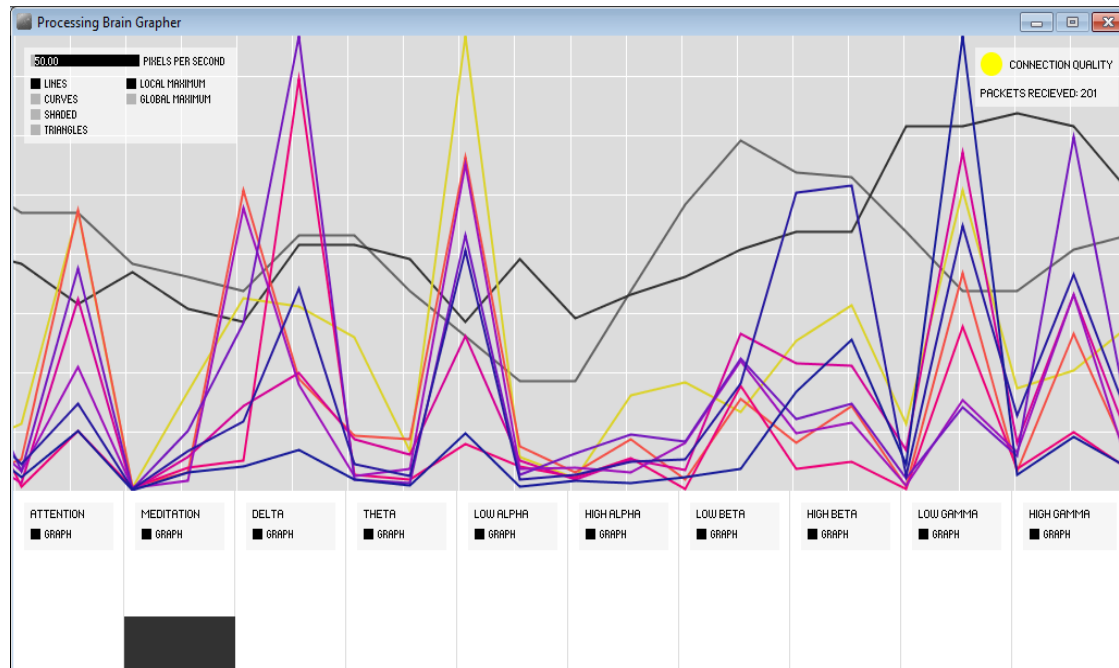


Figura 22- Visualização da ondas utilizando o Processing

Fonte: Elaborado pela autora

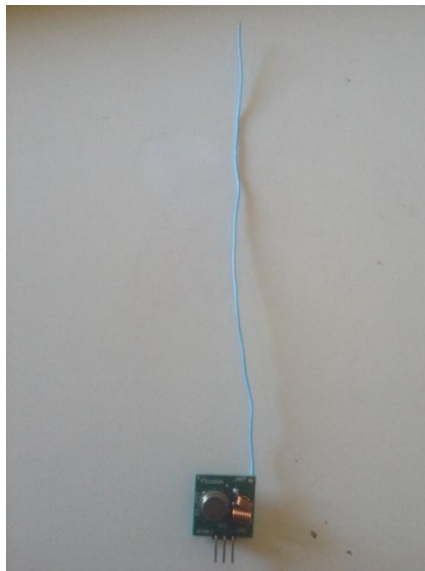
No gráfico apresentado, os onze dados coletados pelo chip estão sendo representados em cores distintas, sendo o primeiro dado, a qualidade do sinal, representado em um bola em forma de semáforo no canto superior direito da tela. Para esse projeto apenas os sinais de atenção (cor preta) será levado em consideração.

Visto que os dados do circuito de eletroencefalograma, já estão sendo coletados e identificados através de números e gráficos, o próximo passo deste projeto é a transferência desses dados para o outro Arduino utilizando a comunicação sem fio através de rádio frequência, com isso é possível o controle do atuador.

### 3.3. Transmissão (BLOCO 2)

Para a montagem da transmissão de dados, se fez necessário o circuito de eletroencefalograma da NeuroSky, um Arduino e o módulo transmissor.

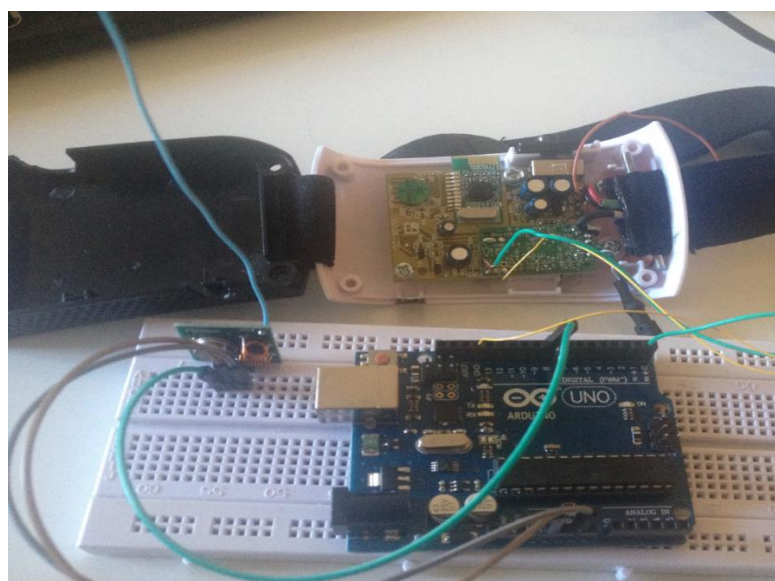
Para ter um alcance maior na comunicação, se fez necessário o uso de um antena, e para isso foi utilizado um fio de cobre simples conectado no pino da antena do próprio transmissor, conforme ilustra a figura 23.



*Figura 23- Antena do modulo transmissor*

*Fonte: Elaborado pela autora*

O módulo transmissor possui três pinos, um GND (terra), um VCC (fonte) e ATAD (entrada de dados). Eles serão ligados ao Arduino da seguinte forma, VCC do transmissor no 5V do Arduino, GND conectados entre si e ATAD no pino digital de número 8 do Arduino. A figura 24 a seguir esboça como foi feita a conexão entre os pinos.



*Figura 24- Módulo transmissor conectado ao Arduino*

*Fonte: Elaborado pela autora*

### 3.3.1. Código do módulo transmissor

Em todo o projeto foi utilizado o Arduino como plataforma de desenvolvimento. Composto de um *software* com a linguagem de programação C/C++.

O Arduino necessariamente deve estar conectado ao chip da NeuroSky para receber os dados. Três bibliotecas serão utilizadas nesse módulo. DataCoder.h e VirtualWire.h para comunicação sem fio e a Brain.h a conversão dos dados do chip da NeuroSky.

Os dados a seguir representam o código utilizado para receber os dados do chip da NeuroSky e também enviá-los via rádio frequência.

```
//Codigo do Transmissor
#include <DataCoder.h>
#include <VirtualWire.h>
#include <Brain.h>

Brain brain(Serial);

int led=0;
const int transmit_pin = 8;
const int led_pin = 13;
const int baudRate = 500;
long interval = 500; // Changes based on attention value.
long intervalMillis = 500; // intervalo do millis
long previousMillis = 0;

void setup(){

  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Teste brain");
  pinMode(led_pin,OUTPUT);
  SetupRFDataTxnLink(transmit_pin, baudRate);
}
```

```

void loop(){
  float outArray[RF_DATA_ARRAY_SIZE];
  //unsigned long currentMillis = millis();

  // Expect packets about once per second.
  if (brain.update()) {
    Serial.println(brain.readCSV());

    // Attention runs from 0 to 100.
    interval = (100 - brain.readAttention()) * 10;

    // Make sure we have a signal.
    if(brain.readSignalQuality() == 0) {
      if (brain.readAttention() < 40)
        led = 1;
      else if (brain.readAttention() >= 40 && brain.readAttention()
<60)
        led = 2;
      else if (brain.readAttention() >=60)
        led = 3;
    }
    else if (brain.readSignalQuality()==200)
      led = 0;
    else if (brain.readSignalQuality()>0 &&
brain.readSignalQuality()<200)
      led = 4;

    //Saida dos dados
    outArray[0] = led;
    outArray[1] = 0;
  }
}

```

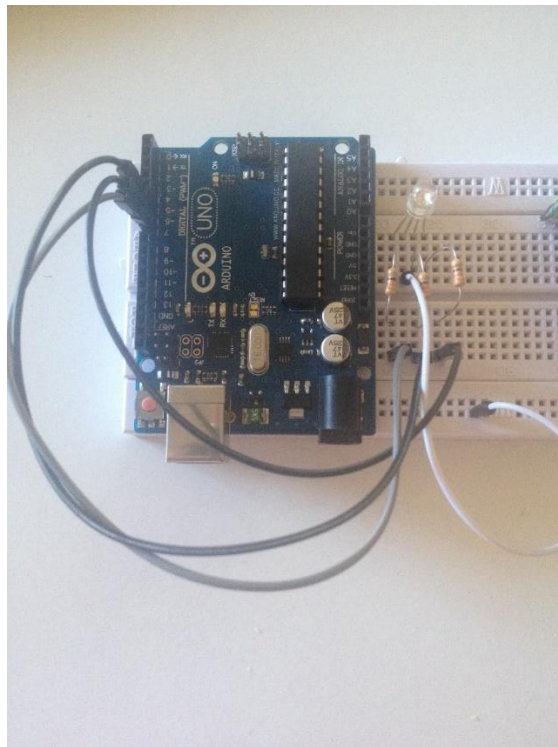
```
//Conversao de dados  
union RFData outDataSeq;  
EncodeRFData(outArray, outDataSeq);  
TransmitRFData(outDataSeq);  
}  
}
```

### 3.4. Recepção (BLOCO 3)

O segundo Arduino receberá os dados e irá controlar o led RGB de acordo com os dados coletados no primeiro Arduino.

O mesmo foi feito com a instalação de um antena no módulo do receptor, assim será garantido uma distância maior para a comunicação, pode alcançar até 200 metros.

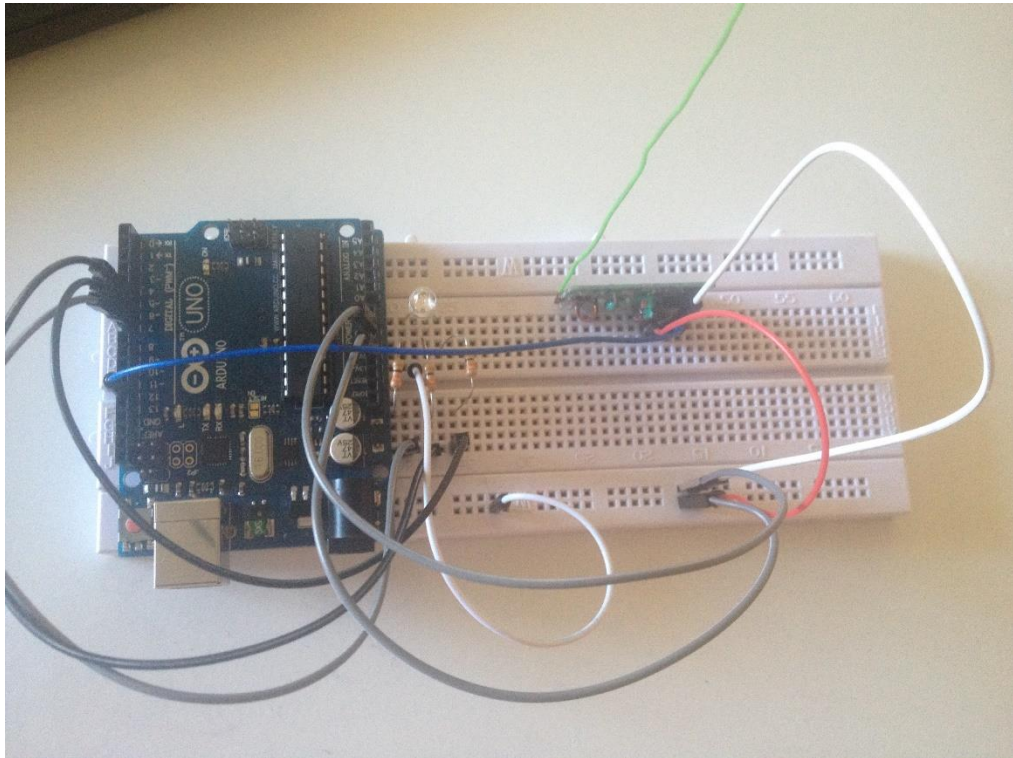
Três resistores de 330 ohms foram utilizados para conectar ao led RGB. O led possui 4 pinos, três dos quais representam as cores e um o terra. Nesse projeto serão utilizadas todas as cores disponíveis. A cor vermelha será ligada ao pino 7 do Arduino, o verde ao pino 6 e por último a cor azul ao pino 5. A figura 25 demonstra como foi feita essa ligação.



*Figura 25- Led RGB*

*Fonte: Elaborado pela autora*

Conectando o módulo receptor ao Arduino, as ligações serão dadas a seguir: O pino do GND do módulo será conectado ao GND do Arduino, o VCC do módulo ao 5V do Arduino e a entrada de dados ao pino 12 do Arduino, esse pino foi definido aleatoriamente, qualquer outro pino de entrada digital, que não estivesse sendo utilizado poderia ser conectado. A figura 26 representa essa ligação.



*Figura 26- Ligação do módulo receptor*

*Fonte: Elaborado pela autora*

### **3.4.1. Código do módulo receptor**

Apenas as bibliotecas de comunicação sem fio serão utilizadas nesse módulo. O código a seguir é o que está sendo utilizado para receber os dados.

```
//Codigo do Receptor RF com LCD
#include <DataCoder.h>
#include <VirtualWire.h>
```

```
const int rx_pin = 12;
const int ledR_pin = 7;
const int ledG_pin = 6;
const int ledB_pin = 5;
const int baudRate = 500;

int led = 0;

void setup(){
    Serial.begin(9600);

    pinMode(ledR_pin,OUTPUT);
    pinMode(ledG_pin,OUTPUT);
    pinMode(ledB_pin,OUTPUT);

    digitalWrite(ledR_pin,HIGH);
    digitalWrite(ledG_pin,HIGH);
    digitalWrite(ledB_pin,HIGH);

    SetupRFDataRxnLink(rx_pin, baudRate);
}

void loop(){
    uint8_t buf[VW_MAX_MESSAGE_LEN];
    uint8_t buflen = VW_MAX_MESSAGE_LEN;
    union RFData inDataSeq;
    float inArray[RF_DATA_ARRAY_SIZE];

    if(RFLinkDataAvailable(buf, &buflen)){
        for(int i =0; i< buflen; i++){
            inDataSeq.s[i] = buf[i];
        }
        DecodeRFData(inArray, inDataSeq);
    }
}
```

```
//Exibicao dos dados no LCD
led = inArray[0];

Serial.println(led);

digitalWrite(ledR_pin, HIGH);
digitalWrite(ledG_pin, HIGH);
digitalWrite(ledB_pin, HIGH);

if(led == 0)
    digitalWrite(ledB_pin, LOW);

else if (led == 1)
    digitalWrite(ledR_pin, LOW);

else if (led == 2){
    digitalWrite(ledR_pin, LOW);
    digitalWrite(ledG_pin, LOW);
}

else if (led == 3)
    digitalWrite(ledG_pin, LOW);

else if (led == 4){
    digitalWrite(ledR_pin, LOW);
    digitalWrite(ledB_pin, LOW);
}
}
}
```

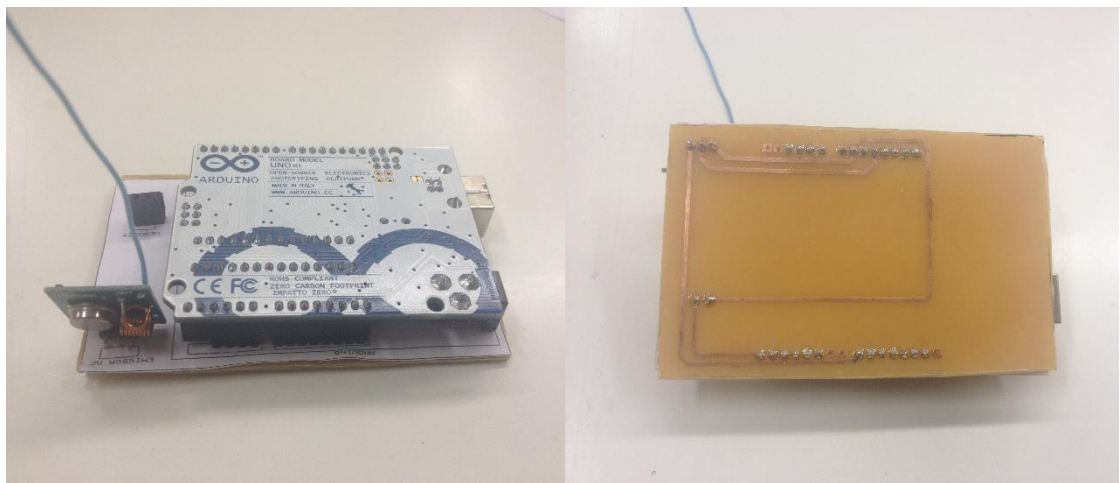
Na análise do código, podemos verificar que cada pino do led, que representa cores distintas, foi conectado a uma entrada diferente no arduino. Ao receber um dado enviado pelo módulo transmissor, uma cor específica será acesa. Para criar cores diferentes das básicas



(vermelho, verde e azul), ligam-se dois pinos ao mesmo tempo, para dar o efeito de uma cor distinta.

### 3.5. Placas do circuito

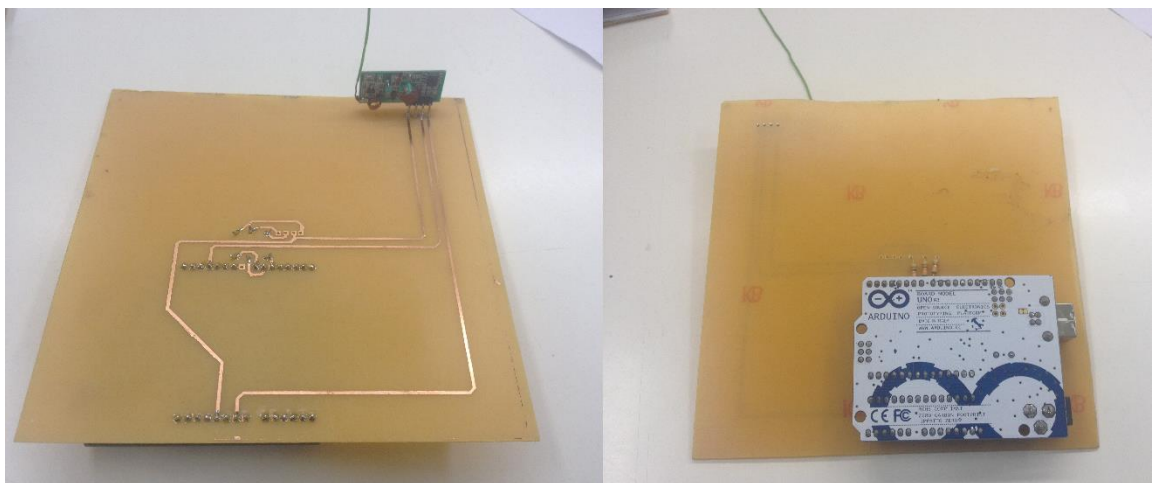
Os circuitos para teste foram montados na placa de fenolite com a intenção de torná-los mais organizados e sem o uso de fios para conexões. A figura 27 apresenta o circuito montado para emissão de dados, que será conectada ao *headset*.



*Figura 27- Circuito emissor*

*Fonte: Elaborado pela autora*

O circuito mostrado na figura 28 apresenta o circuito receptor que recebe os dados e controla o led.

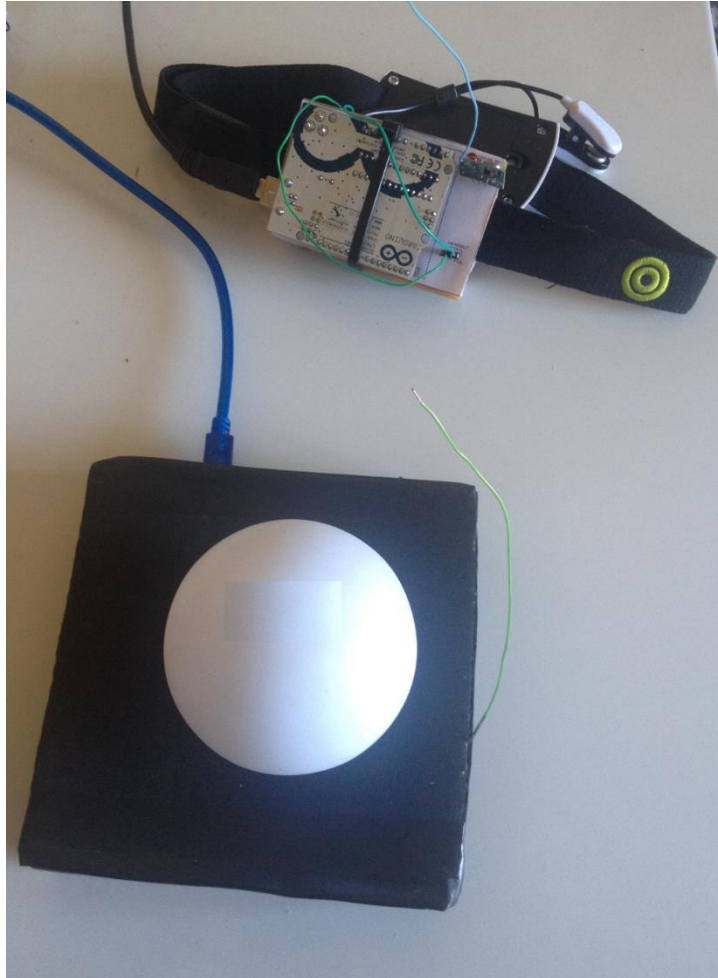


*Figura 28- Circuito receptor*

*Fonte: Elaborado pela autora*

### 3.6. Protótipo final

Durante o desenvolvimento fez-se necessário a montagem de uma caixa para armazenar o circuito e tornar o projeto mais organizado e de fácil manuseio sem que houvesse problemas em danificar o circuito. A figura 29 representa o protótipo final completo.



*Figura 29- Protótipo final*

*Fonte: Elaborado pela autora*

O protótipo possui uma estrutura para facilitar o manuseio e dispor uma melhor apresentação. A bola localizada no topo da caixa, facilita a melhor visualização e identificação das cores. O protótipo também possui as seguintes características para a proteção dos circuitos montados e evitar danos durante a manipulação do mesmo.

## CAPÍTULO 4 - TESTES E RESULTADOS

Esse capítulo tem como objetivo apresentar os resultados obtidos com os testes. Foram testados o *headset*, para avaliar se os dados recebidos correspondem com as ações do usuário e qual o melhor ambiente para esses testes, e os sensores de comunicação rádio frequência foram testados para aferir se os mesmos apresentam resultados eficazes.

O objetivo desses testes é estimar a performance do projeto e se os requisitos propostos foram atendidos.

### 4.1. Itens necessários

Como mostrado no capítulo anterior o projeto possui duas partes, o emissor de dados e o receptor montados em circuitos distintos. O quadro 6 a seguir exhibe os componentes necessários para a prática do projeto e as funções de cada um.

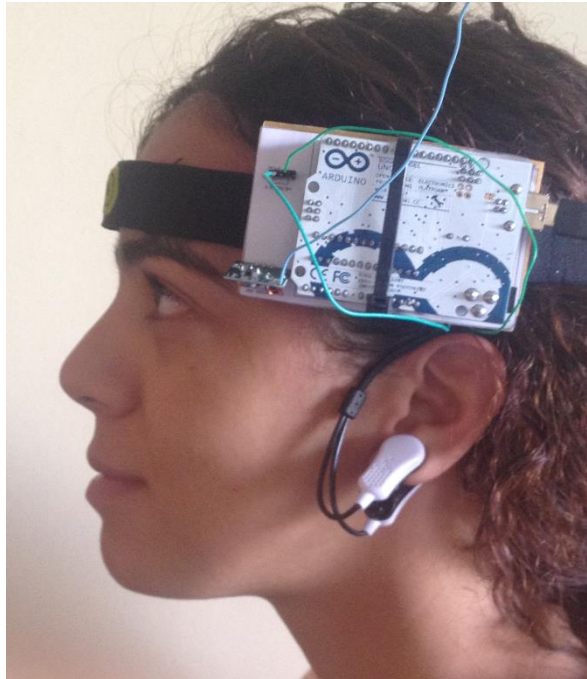
COMPONENTES	FUNÇÃO
Dois Arduinos Uno	Controle do sistema
Chip NeuroSky	Captar os sinais neurais
Modulo RF- 433MHZ	Comunicação dos sensores via rádio frequência
LED RGB	Atuador para representar os dados de forma interativa

*Quadro 6- Componentes e funções*

*Fonte: Elaborado pela autora*

#### 4.1.1. Primeira parte do projeto

A primeira parte do projeto é o *headset*. Foram utilizados o chip da NeuroSky localizado no próprio *headset* do jogo Mindflex, um Arduino Uno e o módulo emissor. Essa primeira parte será posicionada na cabeça do usuário. Na figura 33 pode-se observar como é feito o posicionamento.



*Figura 30- Posicionamento do headset*

*Fonte: Elaborado pela autora*

#### 4.1.2. Segunda parte do projeto

A segunda parte do projeto encontra-se o atuador que converte os dados em cores específicas para simular o grau de atenção do usuário. Um modelo foi montado para dispor uma visão mais agradável do protótipo.

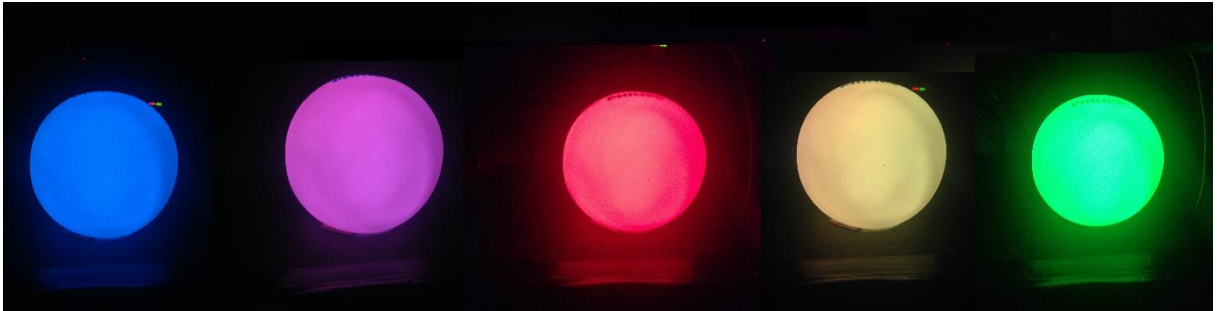
Foram selecionadas cinco cores que possuem a seguinte representação conforme indica o quadro 7.

<b>COR</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
Azul	<i>Headset não está posicionado na cabeça do usuário</i>
Roxo	Qualidade do sinal baixa
Vermelho	Pouca concentração
Amarelo	Concentração moderada
Verde	Alta concentração

*Quadro 7- Cores e seus significados*

*Fonte: Elaborado pela autora*

A figura 31 demonstra as cores utilizadas. Da esquerda para a direita seguem as cores, azul, roxo, vermelho, amarelo e verde.



*Figura 31- Cores selecionadas*

*Fonte: Elaborada pela autora*

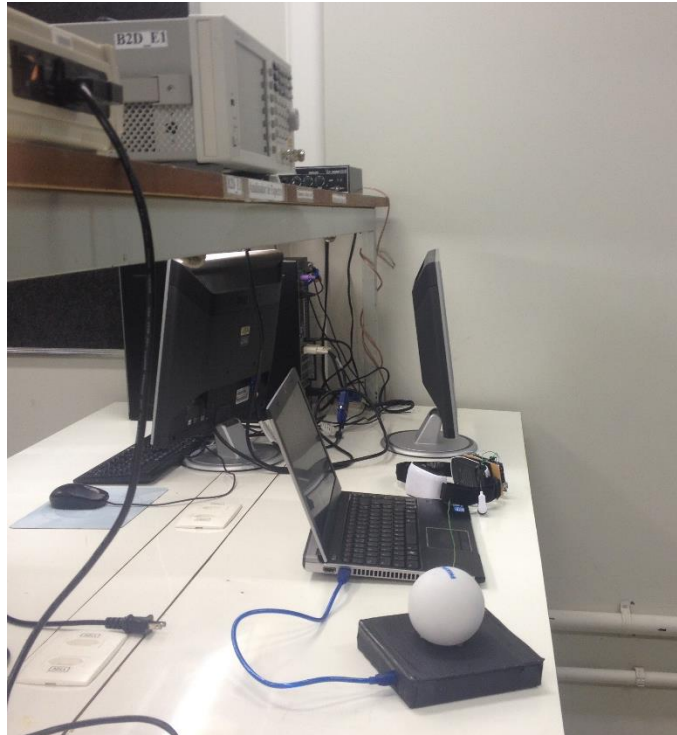
## **4.2. Testes do protótipo**

Nessa seção serão dispostos vários cenários de testes, para analisar os sinais e capacidade de controle do atuador através dos dados recebidos.

### **4.2.1. Cenário 1**

Nesse cenário foram realizados testes para avaliar qual o local mais apropriado e com menos interferência do ambiente para a captação dos sinais.

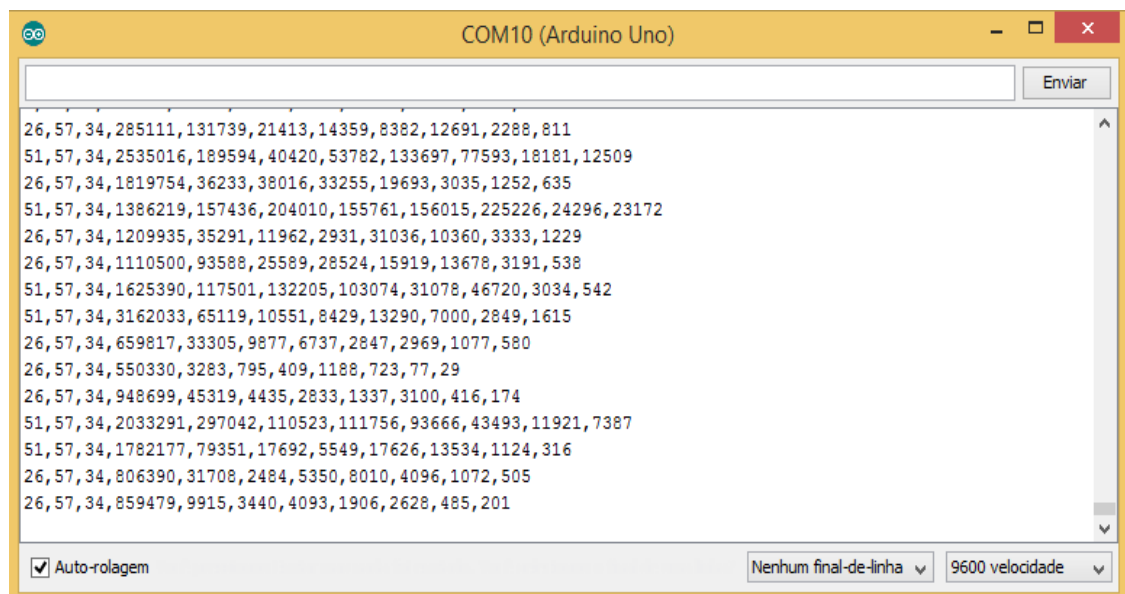
O primeiro teste foi realizado em um local com outros equipamentos eletrônicos, no laboratório do UniCeub. A figura 32 ilustra um dos ambientes utilizado para realização desses testes.



*Figura 32- Ambiente com aparelhos*

*Fonte: Elaborada pela autora*

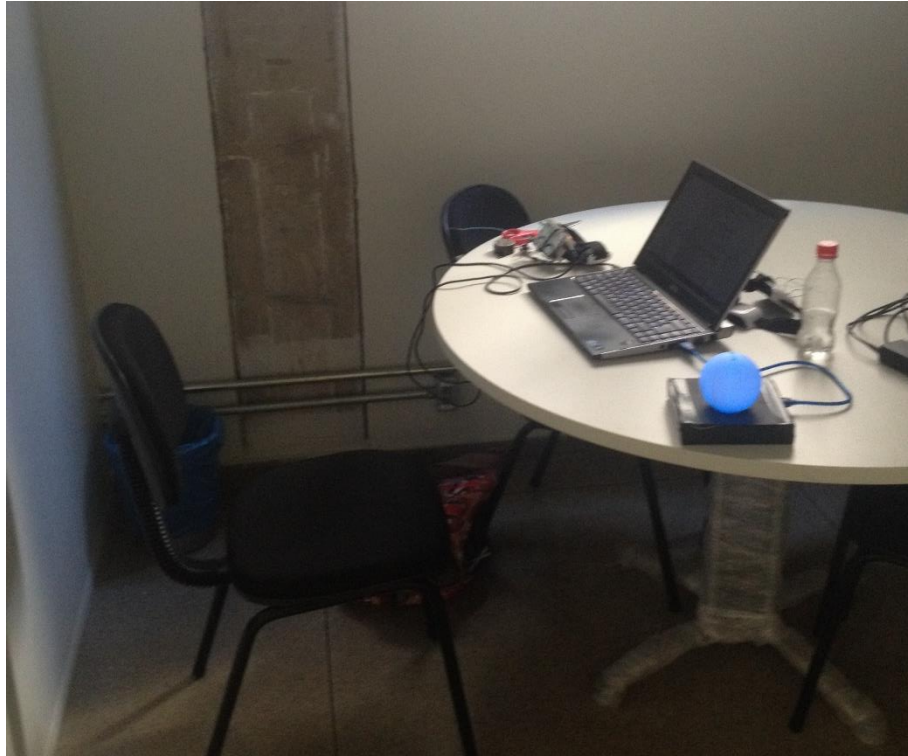
Conforme especificado no capítulo anterior, valores diferentes de zero exemplificam uma qualidade de sinal ruim, na figura 33 podemos notar que os sinais de qualidade são diferentes de zero em testes feitos em locais com outros aparelhos eletrônicos, podendo então concluir que a qualidade dos sinais em ambientes com aparelhos eletrônicos sofre uma interferência.



*Figura 33- Qualidade do sinal ruim*

*Fonte: Elaborada pela autora*

O segundo teste de ambiente, foi realizado em um local sem aparelhos eletrônicos nas mediações. A figura 34 mostra o local onde foi simulado o segundo teste de ambiente.



*Figura 34- Ambiente sem aparelhos*

*Fonte: Elaborada pela autora*

Na figura 35 a seguir, podemos notar que em ambientes sem aparelhagem próxima, foram obtidos resultados mais satisfatórios, o sinal de qualidade é igual a zero, sendo considerado um bom sinal.

```

COM10 (Arduino Uno)
Enviar
0, 60, 61, 375083, 43964, 9434, 29664, 9054, 13688, 8545, 814
0, 54, 44, 782221, 363205, 31990, 11992, 36711, 17678, 24264, 2977
0, 54, 40, 2605482, 571199, 106822, 89728, 47432, 69002, 36185, 8036
0, 57, 44, 994335, 30655, 43113, 14819, 19995, 13895, 2343, 1157
0, 51, 43, 1017888, 25267, 8391, 6418, 2632, 3231, 3812, 611
0, 54, 47, 1945644, 250720, 25055, 26833, 27208, 17986, 17491, 4195
26, 54, 47, 1428361, 273480, 124090, 23873, 24084, 51775, 4881, 2299
0, 57, 50, 751698, 82519, 23638, 18853, 17376, 16466, 4007, 807
0, 56, 50, 1508018, 3176, 8515, 9451, 10278, 3196, 977, 332
0, 53, 47, 1223450, 107991, 37396, 6157, 16308, 8850, 3058, 1205
0, 56, 57, 626419, 152877, 106229, 15921, 22537, 22875, 7858, 2922
0, 47, 54, 558271, 298472, 33951, 47995, 31111, 17089, 8950, 4375
0, 44, 48, 2239106, 109314, 54851, 29028, 39193, 22514, 10452, 2413
0, 44, 54, 2948336, 66240, 23417, 42838, 33190, 8645, 12607, 9301
0, 56, 54, 3078017, 53035, 23821, 46858, 37496, 33763, 15413, 3722
 Auto-rolagem
Nenhum final-de-linha
9600 velocidade

```

*Figura 35- Qualidade do sinal bom*

*Fonte: Elaborada pela autora*

Com esses testes pode-se concluir que o melhor ambiente para a realização da captação dos sinais é feita em ambientes sem aparelhos eletrônicos por perto.

#### 4.2.2. Cenário 2

Nesse cenário foram feitos testes apenas com o *headset* enviando dados ao computador, os dados são avaliados de acordo com a reação do usuário. Podendo assim, ter um entendimento mais avançado de como os sinais são representados através dos números.

Nos testes realizados são utilizados fontes de leitura e jogos de lógica, em que fosse possível estimular a concentração do usuário. Em alguns momentos, foram feitas algumas interrupções para analisar como os dados na tela do computador se comportavam.

A figura 36 representa o cenário utilizado para esses testes.



*Figura 36- Teste fazendo leitura*

*Fonte: Elaborada pela autora*

Com base nos testes feitos, pode-se definir um valor aproximado de cada estado de atenção. O quadro 8 a seguir demonstra as seguintes especificações dos dados.



DADOS	ESTADOS
0 a 40	Concentração baixa
41 a 60	Concentração neutra
61 a 100	Concentração alta

*Quadro 8- Estados dos sinais*

*Fonte: Elaborada pela autora*

#### 4.2.3. Cenário 3

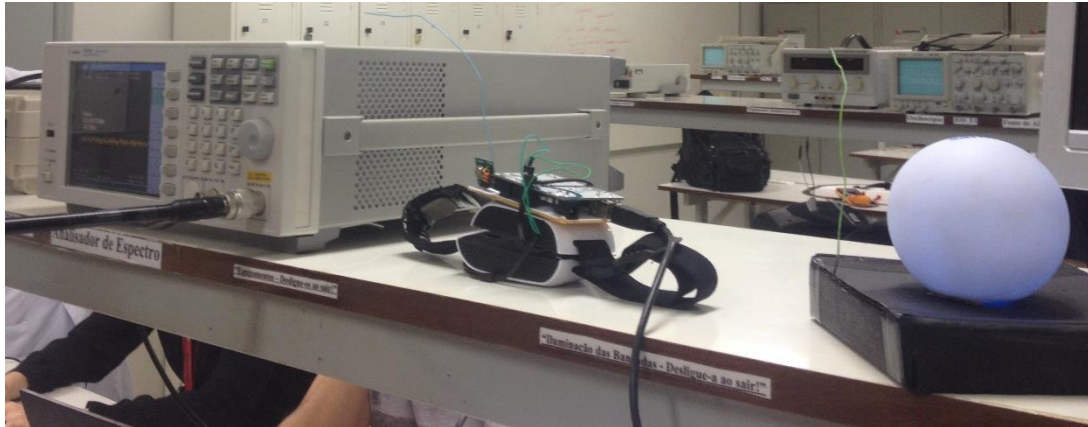
O terceiro cenário é composto do teste dos módulos emissores e receptores, para confirmar se os dados que são transmitidos não sofrem nenhuma alteração durante essa transferência e se possuem um desempenho positivo. Para avaliar a frequência emitida pelo módulo é utilizado o analisador de espectro Agilent NB9320B conforme mostra a figura 37.



*Figura 37- Analisador de espectro*

*Fonte: Elaborada pela autora*

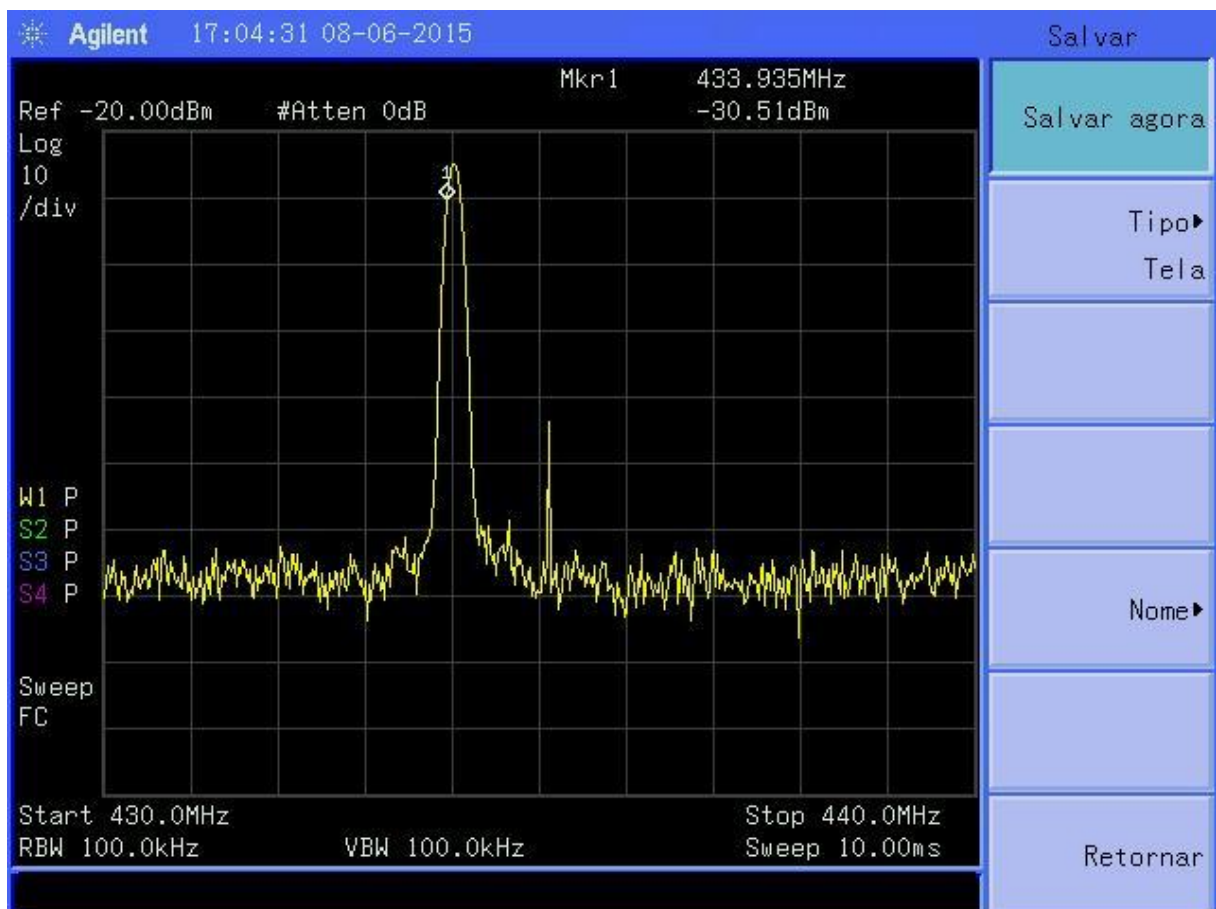
Os sensores foram dispostos em uma distância de meio metro do analisador para verificar se ocorre a comunicação entre eles na frequência de 433MHz, conforme demonstra a figura 38.



*Figura 38- Disposição do protótipo*

*Fonte: Elaborada pela autora*

É possível ver na figura 39 a seguir, o gráfico disposto no analisador de frequência quando os módulos se comunicam na mesma frequência. O pico, representa que está havendo uma transmissão de dados.

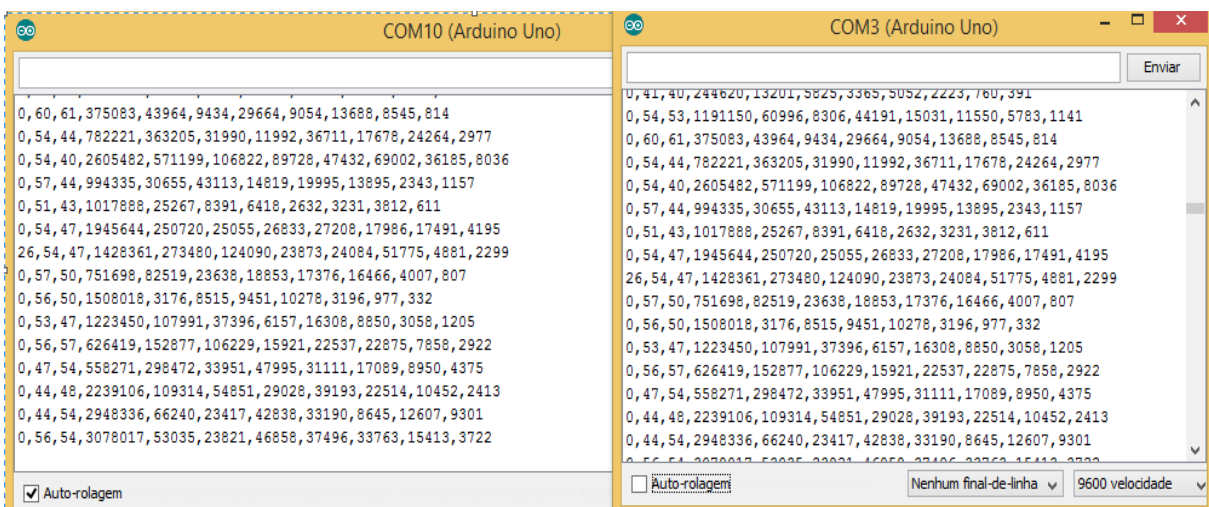


*Figura 39- Gráfico no analisador de espectro*

*Fonte: Elaborada pela autora*

Com os testes feitos com o analisador, foi possível concluir que os dados estão sendo emitidos de forma correta. O próximo teste foi analisar essa mesma transmissão através do Arduino, verificando através da plataforma do próprio *software* se ambos os módulos estão com os mesmos valores.

A figura 40 mostra a tela dos dados do módulo transmissor e receptor respectivamente. É possível notar na figura a seguir que os dados enviados (tela da esquerda) são os mesmos recebidos (tela da direita), podendo assim concluir que ambos os módulos estão comunicando entre si e recebendo os mesmos valores.



*Figura 40- Sinais no transmissor e receptor*

*Fonte: Elaborada pela autora*

Os testes feitos nesse cenários provam que os dados estão sendo transmitidos de forma correta para o receptor. Ambos os módulos apresentam os mesmos valores.

#### 4.2.4. Cenário 4

O último cenário de testes compõe na interação dos dados com o atuador disposto no circuito. Será analisado se as cores propostas correspondem aos dados e as reações captadas do usuário.

Nesse cenário foi realizado um teste similar ao do segundo cenário, contudo foram utilizadas quatro formas distintas de estímulo para concentração, como vendo tv, lendo um livro, jogando e a utilizando da bola de cores para estimular a concentração do usuário, como representado na figura 41.



*Figura 41- Testes em cenários diferentes*

*Fonte: Elaborada pela autora*

Os testes foram feitos em dias distintos, tentando sempre ser realizado no mesmo horário e local. Contudo, sem autorização para fazer testes em outras pessoas, os mesmos foram realizados pela própria autora.

Quatro cenários foram montados para analisar quais possuem a melhor resposta dos sinais. Todos possuem um tempo médio de 10 minutos de coleta de dados. O quadro 9, ilustra os resultados obtidos em cada cenário proposto.

CENÁRIOS	DESCRIÇÃO	RESULTADOS
Vendo TV	Nesse cenário, analisou-se os dados durante uma seção assistindo tv	Dados satisfatórios. Os níveis de concentração foram reduzidos quando havia mudança de canal e programação.
Lendo	A análise de dados foi feita a partir da leitura de um livro	Dados atenderam às expectativas, tendo uma pequena redução dos níveis de concentração ao mudar a página
Jogando	Dados coletados a partir de uma seção de jogos virtuais voltados para concentração do usuário	Maiores índices de concentração foram alcançados nesse cenário
Concentrado apenas na bola de cores	Nesse cenário a concentração seria estimulada apenas ao observar as cores do protótipo e com o objetivo de atingir sempre a melhor concentração (cor verde)	Dados satisfatórios, contudo houve muita alteração do nível do sinal comparado com os cenários anteriores, visto que o estímulo de concentração foi menor.

*Quadro 9- Cenários e resultados*

*Fonte: Elaborada pela autora*

### **4.3. Resultados**

Os resultados obtidos com os testes são satisfatórios e cumprem com os objetivos propostos. Foi apresentado um protótipo funcional, que pode servir de auxílio no tratamento de pessoas com TDAH, focado em crianças.

Com o fim de mostrar o resultado do projeto, é disposto uma análise gráfica do comportamento dos sinais. O gráfico da figura 42, representa os sinais de concentração. Os picos maiores representam maiores níveis de concentração. A figura 42 simula esse comportamento.

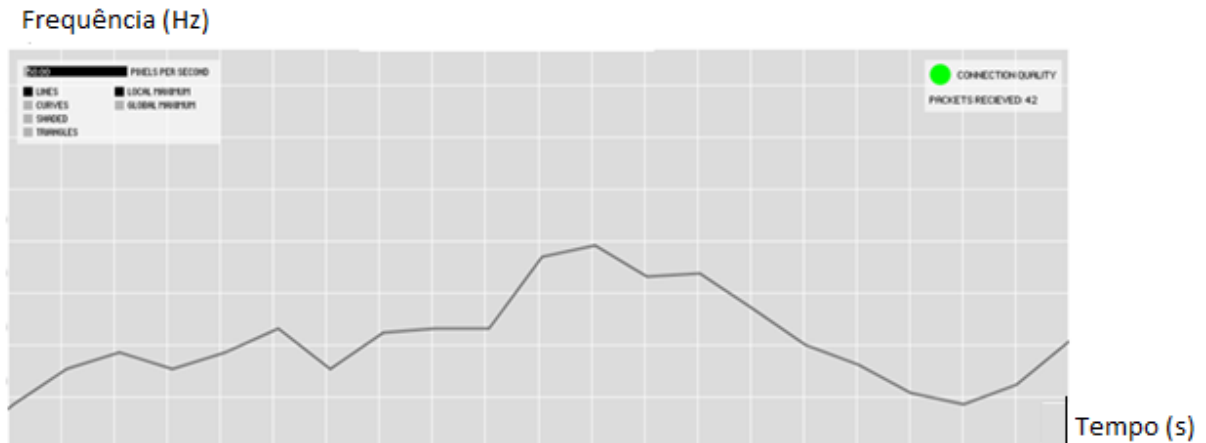


Figura 42- Análise gráfica dos sinais

Fonte: Elaborada pela autora

O protótipo desenvolvido e apresentado nesse projeto é prático, de fácil transporte e conexão com o computador, utiliza plataformas *open-source* e possui uma boa interatividade com o usuário. Entretanto, os ruídos do ambiente ainda apresentam interferências na qualidade de leitura dos sinais, tornando-se um ponto fraco do protótipo.

## CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO

O uso da tecnologia como auxílio na reabilitação de pacientes tem crescido muito nos últimos anos na área da saúde. Os médicos especialistas sempre procuram métodos interativos para entreter crianças e não tornar o processo de reabilitação cansativo e monótono, e também uma forma alternativa para reduzir o consumo de drogas psicoestimulantes.

A proposta desse projeto é a captação e interpretação dos sinais neurais para controle de um atuador, para usar como auxílio no tratamento de pessoas com transtorno de déficit de atenção e hiperatividade.

É desenvolvido um programa no Arduino para captação dos sinais do chip da NeuroSky e foi montado um protótipo para dispor as cores do led de forma que fosse de fácil manuseio e melhor apresentação. O protótipo elaborado é capaz de representar os graus de concentração em cores distintas, cada cor representa um estado e qualidade do sinal.

No desenvolvimento do projeto construiu-se dois circuitos com funcionalidades diferentes mas que se comunicam entre si. A comunicação entre os dois circuitos do projeto foi realizada utilizando módulos de rádio frequência, assim podendo evitar o uso de fios para conexão. Vários testes foram feitos, os quais foi possível a identificação do estado de concentração do usuário através das cores selecionadas.

As informações coletadas são importantes para os profissionais da área da saúde, uma vez que o mesmo traduz os sinais neurais em números e cores, sendo possível a assimilação do nível do paciente e assim auxiliar nos tratamentos.

Pode-se concluir que o objetivo do projeto, em captar os sinais neurais e controlar um atuador, foi alcançado. O sistema construído é prático e realiza as funções necessárias para a análise de sinais, sendo possível também a utilização em casa de acordo com as orientações de um profissional da área de saúde. Todas as colocações necessárias sugeridas foram alcançadas, de forma que pode ser útil no tratamento de pessoas com déficit de atenção ou outros distúrbios que o tratamento exige concentração.

### 5.1. Trabalhos futuros

O projeto desenvolvido atendeu aos objetivos propostos para criar um sistema de identificação de sinais neurais. Contudo várias outras sugestões de desenvolvimento do projeto surgiram, com o objetivo de melhorar o trabalho, tais como:

- a) Utilização da transformada de *wavelet* para a decomposição dos sinais e melhor entendimento da mesma. Essa transformada permite decompor um sinal em diferentes componentes de frequências. Sendo assim possível analisar cada componente separadamente em sua escala adequada.
- b) Criar um filtro para diminuir os ruídos externos. No projeto algumas interferências ocorreram por causas de ruídos do ambiente. A utilização de filtros reduziria esses ruídos e melhoraria a capacidade do sinal.
- c) Criar jogos para melhor interação com o usuário. Jogos podem dar diferentes *feedbacks* e melhorar a interatividade com o paciente.
- d) Utilizar módulos de transmissão mais eficazes para melhor performance da comunicação.
- e) Criar uma análise gráfica dos dados para facilitar o entendimento do comportamento dos sinais para o profissional de saúde.



## REFERÊNCIAS

ABC.MED.BR, 2013. **Eletroencefalograma: como é feito? Como se preparar para o exame? Quais são as complicações?** Disponível em: <<http://www.abc.med.br/p/exames-e-procedimentos/347519/eletroencefalograma-como-e-feito-como-se-preparar-para-o-exame-quais-sao-as-complicacoes.htm>>. Acesso em: 8 abr. 2015.

ADUR, ROBSON. **Sistema de processamento de sinais biomédicos: módulo didático de eletroencefalograma**. Universidade federal de Santa Catarina, 2008.

ALFIERI, FÁBIO MARCON. **Videogames ajudam pacientes em reabilitação**. Outubro 2014. Disponível em: <<http://vidaesaude.tv/blog/videogames-ajudam-pacientes-em-reabilitacao/>> Acesso em: 19 jan 2015.

ALVOEIRO, JORGE; C. PSYCHOL (B.P.S., U.K.). **RetroInformação Neurológica (Neurofeedback)**, Fevereiro 2010. Disponível em: <[http://jorge0alvoeiro.no.sapo.pt/Neurofeedback\\_Net.pdf](http://jorge0alvoeiro.no.sapo.pt/Neurofeedback_Net.pdf)>. Acesso em: 19 jan 2015.

AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRICS (AAP). **Subcommittee on Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. Clinical Practice Guideline: Treatment of the school-aged child with AttentionDeficit/Hyperactitvity Disorder**. Pediatrics, 108, 1033-1044 (2001).

ARDUINO. Products: ArduinoBoardUno. **Arduino Uno**, 2015. Disponível em: <<http://www.arduino.cc>>. Acesso em: 10 abril 2015.

BARBOSA, G. A.; ANDRADE, A.A.G.B. **Síndrome hipercinética: sintomas e diagnóstico**. Disponível em:< [http://www.moreirajr.com.br/revistas.asp?id\\_materia=465&fase=imprime](http://www.moreirajr.com.br/revistas.asp?id_materia=465&fase=imprime) > Acesso em: 19 março de 2015.

BARKLEY, R. A. **Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder**, (1998). Em E. J. Mash & R. A. Barkley (Orgs.). *Treatment of childhood disorders*. (vol. 2, pp. 55-110) New York: Guilford.

BARKLEY, R.A. **Major life activity and health outcomes associated with attention-deficit/hyperactivity disorder.** *J Clin Psychiatry*;(Suppl 12):10-15 (2002).

BEAUREGARD, M., LEVESQUE, J. **Functional magnetic resonance imaging investigation of the effects of neurofeedback training on the neural bases of selective attention and response inhibition in children with attention-deficit/hyperactivity disorder.** *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 31(1), 3-20, 2006.

BIRBAUMER, N.; RAMOS MURGUIALDAY, A.; WEBER, C.; & MONTOYA, P. **Neurofeedback and brain-computer interface clinical applications.** *International review of neurobiology*, 86(09), 107–117 (2009).

BORGES, TATIANE VIEIRA. **Processamento de sinais de atividade elétrica neuronal a partir de ferramentas matemáticas clássicas.** Universidade Federal de Uberlândia, 2009.

BOTSARIS, ALEX. Saúde: **Conheça a técnica do biofeedback.** Disponível em: <[http://www2.uol.com.br/vyaestelar/biofeedback.htm](http://http://www2.uol.com.br/vyaestelar/biofeedback.htm)> Acesso em: 02 fev 2015.

BRZOZOWSKI, FABIOLA STOLF; DIEHL, ELIANA ELIZABETH. **Transtorno de déficit de atenção/hiperatividade: o diagnóstico pode ser terapêutico?** Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-73722013000400008&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-73722013000400008&script=sci_arttext)> Acesso em: 26 março de 2015.

CARDOSO, ROGÉRIO RIBEIRO. **Uma Estratégia de Modelagem Tridimensional para Mapeamento de EED de Superfície.** Universidades Federal de Uberlândia, 2005.

CLÍNICA DE STRESS E BIOFEEDBACK. **Biofeedback.** Disponível em: <[http://www.anamrossi.com.br/biofeedback.htm](http://http://www.anamrossi.com.br/biofeedback.htm)> Acesso em: 02 fev 2015.

CLÍNICA MÁRCIO TASSINO. **O que é Biofeedback?** Disponível em: <[http://www.tassino.com.br/biofeedback\\_oquee.htm](http://http://www.tassino.com.br/biofeedback_oquee.htm)> Acesso em: 02 fev 2015.

COSTA, A. Q.; BETTI, M. **Mídias e jogos: do virtual para uma experiência corporal educativa**. Revista Brasileira de Ciências do Esporte, Campinas, v.27, n.2, p 165-178, Janeiro 2006.

DESIDÉRIO, R.C.S; MIYAZAKI, M.C.O.S. (2007) **Transtorno de Déficit de Atenção / Hiperatividade (TDAH): orientações para a família**. Disponível em:< [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-85572007000100018&script=sci\\_arttext#enderb](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-85572007000100018&script=sci_arttext#enderb)> Acesso em: 25 março 2015.

ELIAS, VIVIAN C. **Nova 'bíblia da psiquiatria' vem aí. E, com ela, mais doenças**. Disponível em:< <http://veja.abril.com.br/noticia/saude/nova-biblia-da-psiquiatria-vem-ai-e-com-ela-mais-doencas/>> Acesso em: 24 março 2015

FRIEL, P. N. **EEG biofeedback in the treatment of attention deficit hyperactivity disorder**. Alternative Medicine Review, 12(2), 146-151. (2007).

GANZZANIGA, M.S.; HEATHERTON, T.F. **Ciência psicológica: mente, cérebro e comportamento**. Porto Alegre, Artmed, 2005.

GIL, R. **Neuropsicologia**. 2ª ed. São Paulo, Livraria Santos Editora, 2005.

HALLOWELL, E.M., RATEY, J.J. **Tendência à Distração: identificação e gerência do distúrbio do déficit de atenção da infância à vida adulta**. Rio de Janeiro: Editora Rocco. 1994.

KANDA, PAULO A.M. **Análise de wavelets com máquina de vetor de suporte no eletrencefalograma da doença de Alzheimer**. Universidade de São Paulo, 2012.

LUSTOSA, JEAN R. **Acionamento de televisor e iluminação com controle unificado no celular**. Centro Universitário de Brasília, 2013.

MIKA, ERIC. **How to hack toys EEGs**. Disponível em: < <http://frontiernerds.com/brain-hack>> Acesso em: 10 maio 2015. (2010).

**Módulo Link de rádio frequência.** Disponível em: <http://blog.filipeflop.com/wireless/modulo-rf-transmissor-receptor-433mhz-arduino.html>>. Acesso em: 9 maio 2015.

MONTEIRO, MARIA A.S. **Transtorno de déficit de atenção e hiperatividade no adulto (TDAH): perfil sócio-demográfico e estudo de genes candidatos.** São Paulo, 2005.

MURATORI, DR.<sup>a</sup> TÂNIA. **Como funciona o neurofeedback.** Disponível em:< <http://www.neuroterapia.com.br/neurofeedback-funcionamento.html> >Acesso em:8 abr. 2015.

NEHER, CLARISSA (2014). **Aumento de 800% no consumo de ritalina alerta especialistas.** Disponível em: < <http://www.dw.de/aumento-de-800-no-consumo-de-ritalina-alerta-especialistas/a-17853115> > Acesso em: 25 março 2015.

NETO, JOÃO D. **O Neurofeedback como Recurso Neuropsicoterápico para o Transtorno do Déficit de Atenção com ou sem Hiperatividade e Impulsividade.** Revista FSA -Teresina - n° 9 / 2012.

NEUROSKY, Inc. **TGAM- Features + Technical Specifications.** 2011, 5p.

NEUROSKY, Inc. **Brain Wave Signal (EEG) of NeuroSky, Inc.** 2009, 22p.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Classificação de transtornos mentais e de comportamento da CID-10: descrições clínicas e diretrizes diagnósticas.** Porto Alegre: Editora Artes Médicas;1993.

PURVES, D. et al. **Neurociências.** Porto Alegre. Artmed, 2005.

RAPPLEY, M. D. **Attention-deficit-hyperactivity disorder.** *N Engl J Med*, 352(2), 165-173. (2005).

ROHDE LA, SZOBOT C, POLANCZYK G, SCHMITZ M, MARTINS S, TRAMONTINA S. **Attention deficit-hiperactivity disorder in a diverse culture: do research and clinical findings support the notion of a cultural construct for the disorder?** *Biol Psychiatry* 2005;57:1436-1441

SMITH, STEVEN W. **The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing.**  
Disponível em: <<http://www.dspguide.com/ch12/2.htm>> Acesso em: 22 jun 2015

TECHNEWS DAILY STAFF. **Biofeedback Video Game Helps Kids Control Anger.**  
Disponível em: <<http://www.livescience.com/24327-biofeedback-video-game-helps-kids-control-anger.html>> Acesso em: 10 fev 2015.

VIEIRA, MANOEL ALEXANDRE. **Comunicação via RF.** Disponível em:  
<[http://www.univasf.edu.br/~gari/futvasf/paginas/download/Apresenta%C3%A7%C3%A3oRF\\_Manoel%2009-04-2010.pdf](http://www.univasf.edu.br/~gari/futvasf/paginas/download/Apresenta%C3%A7%C3%A3oRF_Manoel%2009-04-2010.pdf)> Acesso em: 9 maio 2015.

## APÊNDICE A – CÓDIGO TRANSMISSOR

```

//Codigo do Transmissor RF com Sensor DHT22
#include <DataCoder.h>
#include <VirtualWire.h>
#include <Brain.h>

Brain brain(Serial);

int led=0;
const int transmit_pin = 8;
const int led_pin = 13;
const int baudRate = 500;
long interval = 500; // Muda o valor base da atenção.
long intervalMillis = 500; // intervalo do millis
long previousMillis = 0;

void setup(){

    Serial.begin(9600);
    Serial.println("Teste brain");
    pinMode(led_pin,OUTPUT);
    SetupRFDataTxnLink(transmit_pin, baudRate);
}

void loop(){
    float outArray[RF_DATA_ARRAY_SIZE];
    //unsigned long currentMillis = millis();

    // Espera pacote uma vez por segundo.
    if (brain.update()) {
        Serial.println(brain.readCSV());

        // Atenção roda de 0 a 100
        interval = (100 - brain.readAttention()) * 10;

        // Certifica que tem sinal.
        if(brain.readSignalQuality() == 0) {

```

```
    if (brain.readAttention() < 40)
        led = 1;
    else if (brain.readAttention() >= 40 && brain.readAttention() <60)
        led = 2;
    else if (brain.readAttention() >=60)
        led = 3;
}
else if (brain.readSignalQuality()==200)
    led = 0;
else if (brain.readSignalQuality())>0 && brain.readSignalQuality()<200)
    led = 4;

//Saida dos dados
outArray[0] = led;
outArray[1] = 0;

//Conversao de dados
union RFData outDataSeq;
EncodeRFData(outArray, outDataSeq);
TransmitRFData(outDataSeq);
}
}
```

## APÊNDICE B – CÓDIGO RECEPTOR

```
//Codigo do Receptor RF com LCD
#include <DataCoder.h>
#include <VirtualWire.h>

const int rx_pin = 12;
const int ledR_pin = 7;
const int ledG_pin = 6;
const int ledB_pin = 5;
const int baudRate = 500;

int led = 0;

void setup(){
  Serial.begin(9600);

  pinMode(ledR_pin,OUTPUT);
  pinMode(ledG_pin,OUTPUT);
  pinMode(ledB_pin,OUTPUT);

  digitalWrite(ledR_pin,HIGH);
  digitalWrite(ledG_pin,HIGH);
  digitalWrite(ledB_pin,HIGH);

  SetupRFDataRxnLink(rx_pin, baudRate);
}

void loop(){
  uint8_t buf[VW_MAX_MESSAGE_LEN];
  uint8_t buflen = VW_MAX_MESSAGE_LEN;
  union RFData inDataSeq;
  float inArray[RF_DATA_ARRAY_SIZE];

  if(RFLinkDataAvailable(buf, &buflen)){
    for(int i =0; i< buflen; i++){
      inDataSeq.s[i] = buf[i];
    }
    DecodeRFData(inArray, inDataSeq);
  }
}
```



```
//Exibicao dos dados no LCD
led = inArray[0];

Serial.println(led);

digitalWrite(ledR_pin, HIGH);
digitalWrite(ledG_pin, HIGH);
digitalWrite(ledB_pin, HIGH);

if(led == 0)
    digitalWrite(ledB_pin, LOW);

else if (led == 1)
    digitalWrite(ledR_pin, LOW);

else if (led == 2){
    digitalWrite(ledR_pin, LOW);
    digitalWrite(ledG_pin, LOW);
}

else if (led == 3)
    digitalWrite(ledG_pin, LOW);

else if (led == 4){
    digitalWrite(ledR_pin, LOW);
    digitalWrite(ledB_pin, LOW);
}
}
}
```