

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA

FELIPE BORINO GIROLDO

**ELETROENCEFALÓGRAFO DE DOIS CANAIS COM TRANSMISSÃO DE SINAL
BLUETOOTH**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2019

FELIPE BORINO GIROLDO

**ELETROENCEFALÓGRAFO DE DOIS CANAIS COM TRANSMISSÃO DE SINAL
BLUETOOTH**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso Superior de Engenharia Eletrônica do Departamento Acadêmico de Engenharia Eletrônica - DAELN - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Giometti Bertogna

CAMPO MOURÃO

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão
Coordenação de Engenharia Eletrônica



TERMO DE APROVAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO INTITULADO
Eletroencefalógrafo de dois canais com transmissão de sinal Bluetooth

DO(A) DISCENTE
Felipe Borino Giroldo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 27 de novembro de 2019 ao Curso Superior de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão. O(A) discente foi arguido(a) pela Comissão Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a comissão considerou o trabalho aprovado com alterações.

Prof. Dr. Marcio Rodrigues da Cunha
Avaliador(a) 1
UTFPR

Prof. Dr. Osmar Tormena Junior
Avaliador(a) 2
UTFPR

Prof. Dr. Eduardo Giometti Bertogna
Orientador(a)
UTFPR

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente a Deus, pelas oportunidades dadas a mim diariamente durante todo esse período de estadia em uma universidade pública federal, obrigado meu Deus e meu Salvador.

Agradeço muitíssimo a minha família, que se esforçou a todo instante para me dar condições necessárias para seguir em frente, agradeço pelo apoio emocional e financeiro saídos de um constante suor diário dentro de uma lanchonete durante o período de quase 24 horas diárias.

Ao meu pai, que em poucas palavras me trouxe enormes ensinamentos para toda a vida, com seu exemplo me criou para ser um homem honesto, trabalhador e batalhador.

A minha mãe, que sempre segurou na minha mão e com suas palavras de amor me mantinha na sanidade para sobreviver as pressões constantes, com seu exemplo me mostrou que tudo é possível e me motivou diariamente.

Aos meus irmãos de sangue, que sempre estiveram ao meu lado para me dar apoio quando precisava, aos meus irmãos não de sangue que estavam lá para curtir comigo algumas dores e algumas alegrias, algumas festas e alguns estudos, algumas reclamações e algumas motivações, a minha namorada que constantemente tenta me convencer que eu sou capaz de fazer tudo aquilo que desejo e por ser um ser de luz em minha vida.

A certeza maior é que não estaria aqui sem vocês, sou fraco e pecador, mas com a presença de todos fui além um pouquinho de cada vez. Obrigado!

Também não poderia deixar de agradecer a todo corpo docente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná que, com todas as dificuldades apresentadas durante esse percurso passaram a nós alunos a chance de levar ao mundo uma mudança através da tecnologia, muito obrigado por essa jornada de ensinamentos e aprendizados!

RESUMO

GIROLDO, Felipe Borino. ELÉTROENCEFALÓGRAFO DE DOIS CANAIS COM TRANSMISSÃO DE SINAL BLUETOOTH. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Trabalho de Conclusão de Curso 2, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Campo Mourão, 2019.

Eletroencefalografia é umas das formas mais conhecidas para a análise de ondas cerebrais. Para este fim, desenvolveu-se um equipamento de eletroencefalógrafo de duas derivações, capaz assim de amostrar em pontos diferentes do crânio os sinais por lá percorridos. Assim este dispositivo coleta essas informações e as trabalha com fim de transmiti-las de forma segura, ética e baixo custo. Utilizando sistema de alimentação próprio com tripla filtragem, também um circuito de amplificação e transmissão de sinal bluetooth, através do sistema embarcado ESP32. Em síntese o dispositivo é capaz de coletar todos esses sinais de forma eficaz e não agressiva ao usuário do mesmo.

Palavras-chave: Eletroencefalógrafo, ESP32, *bluetooth*.

ABSTRACT

GIROLDO, Felipe Borino. TWO CHANNEL ELECTROPHENOGRAPH WITH BLUETOOTH SIGNAL TRANSMISSION. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Trabalho de Conclusão de Curso 2, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Campo Mourão, 2019.

Electroencephalography is one of the best-known forms for brain wave analysis. For this purpose, a two-lead electroencephalograph equipment was developed, capable to show at different points of the skull the signals traveled there. So, this device collects this information and the works in order to transmit them safely, ethics and low cost. Using its own triple filtration power system, also an amplification circuit and Bluetooth signal transmission, through the ESP32 embedded system. In synthesis the device is able to collect all these signals effectively and non-aggressive to its user.

Palavras-chave: Electroencephalograph, ESP32, bluetooth.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Potencial de Ação	15
Figura 02 - Sistema nervoso simplificado.....	16
Figura 03 - Curva de funcionamento do neurônio	17
Figura 04 - Tipos de eletrodos.....	20
Figura 05 - Forma de onda cerebral.....	22
Figura 06 - Esquemático de funcionamento do EEG	22
Figura 07 - Simbologia do AMP OP	24
Figura 08 - Fluxograma de funcionamento.....	27
Figura 09 - Cabo coaxial	33
Figura 10 - Eletrodo descartável	36
Figura 11 - ESP WIFI LORA 32 PINOUT	39
Figura 12 - PCI Eletroencefalógrafo	40
Figura 13 - PCI Fonte de alimentação.....	40
Figura 14 - Fonte de alimentação antes da regulador.....	41
Figura 15 - Ponto de primeira filtragem	41
Figura 16 - Ponto de segunda filtragem	42
Figura 17 - Ponto de terceira filtragem	43
Figura 18 - Ponto de leitura pino 2 Ch1-	44
Figura 19 - Ponto de após filtro passa alta leitura no pino 3	44
Figura 20 - Ponto de amplificação pino 1	45
Figura 21 - Ponto intermédio de filtro rejeita faixa pino 5	45
Figura 22 - Ponto final de filtro rejeita faixa pino 7	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações de trabalho nos aparelhos eletromédicos.....	19
Tabela 2 - Bandas de frequência	21
Tabela 3 - Banda de trabalho de ondas de rádio	26

ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

A/D	Analog to Digital – Analógico para digital
AEEGS	American EEG Society
ATP	Adenosine triphosphate - Trifosfato de Adenosina
CI	Circuito Integrado
cm	centímetros
DDP	Diferença de Potencial
ECG	Eletrocardiógrafo
EEG	Eletroencefalógrafo
EMG	Eletroneuromiógrafo
EOG	Eletro-oculógrafo
ERG	Eletroretinógrafo
FC	Frequência de Corte
Hz	hertz
m	metros
mV	mili volts
mW	mili watt
μ V	micro volts

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	8
ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS	9
SUMÁRIO	10
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVO GERAL	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.3 JUSTIFICATIVA	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 A FISILOGIA POR TRÁS DE UM APARELHO ELETROMÉDICO	14
2.2 APARELHOS ELETROMÉDICOS	18
2.3 TRANSMISSÃO DE SINAIS	24
3 – METODOLOGIA	27
3.1.1 Desenvolvimento do pré-projeto	27
3.1.1 ORÇAMENTOS	29
3.1.2 RISCOS E BENEFÍCIOS	31
3.1.3 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO EXCLUSÃO	31
3.2 <i>HARDWARE</i>	32
3.2.1 FONTE DE ALIMENTAÇÃO	32
3.2.2 COLETA, AMPLIFICAÇÃO E FILTRAGEM	33
3.1.3 PROCESSAMENTO	35
3.3 O FIRMWARE	36
3.3.1 AQUISIÇÃO DE DADOS	36
3.3.2 PROCESSAMENTO	37
3.3.3 TRANSMISSÃO BLUETOOTH	37
4 RESULTADOS	38
4.1 PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO	38
4.2 PONTOS DE LEITURA, LEITURA ANALÓGICA E SINAIS	40
4.3 LEITURA DOS SINAIS COM O OCISLOSCÓPIO	41
4.3.1 LEITURA DA FONTE	41
4.3.2 LEITURA DO ELETROENCEFALÓGRAFO	43
5 CONCLUSÕES	47
REFERÊNCIAS	48
ANEXO A – ESQUEMÁTICO FONTE DE ALIMENTAÇÃO	50
ANEXO B – ESQUEMÁTICO ELETROENCEFALÓGRAFO	51
ANEXO C – FIRMWARE	52
ANEXO D – TERMO DE COMPROMISSO	56
ANEXO E – TCLE	57

1 INTRODUÇÃO

O cérebro é considerado o órgão mais importante e mais complexo de todo o corpo humano, sendo responsável por controlar boa parte da ação corporal, controle através do sistema nervoso, onde o cérebro compõe o sistema nervoso central (SILVA , 1934). Composto basicamente por matéria cinzenta e matéria branca, sendo a cinzenta uma área externa onde são alocadas as camadas de neurônios e suas ramificações fibrosas (SILVA , 1934), e a branca composta por axônios (ICB, 2017).

Com toda complexidade presente no cérebro, ele pode ser dividido em dois grandes grupos conectados entre si, hemisfério esquerdo e hemisfério direito, que são responsáveis por raciocínio e emoção, respectivamente (Super Inteligente, 2017).

Toda a comunicação celular é feita através das fibras nervosas, onde na sua parte interna há um pequeno potencial elétrico produzido por concentração de potássio, e através das quais são transmitidas as informações sensoriais para todo corpo, principalmente para o cérebro (GUYTON, 1988).

De acordo com fundamentos da biologia celular, os princípios gerais da sinalização celular podem vir sob várias formas de comunicação e há conversões dos sinais de informação, onde os comportamentos elétricos podem gerar um potencial de ação intracelular (ALBERT, BRAY e HOPKIN, 2011).

Com o estudo eletrofisiológico, feito de forma invasiva, se define o comportamento elétrico do sistema em análise, é possível obter os períodos que o nosso sistema intracelular de condução elétrica necessita para a condução. Com isso a neurociência nos traz formas em que o nosso cérebro opera conforme seu estado de excitação (EINSTEIN, 2017).

No final da década de 1920, o médico Hans Berger descobriu a possibilidade de gravar os sinais elétricos em arquivos de memória e exibi-los graficamente em folha de papel. Com isso, o eletroencefalógrafo demonstrou que o cérebro humano se comportava diferentemente conforme a atividade elétrica impulsionada pelo indivíduo (NCBI, 2017).

O eletroencefalógrafo é um aparelho eletromédico de monitoramento no qual é utilizado pela neurologia para aferir sinais celulares eletrofisiológicos cerebrais, e amostrar os dados de forma a ser compreendida pelo profissional de saúde responsável (SILVA, 1999).

Na necessidade de compreender melhor o funcionamento cerebral e detectar anomalias no encéfalo, o eletroencefalógrafo auxilia ao realizar as medições de correntes elétricas e assim assiste no diagnóstico de doenças ou comportamentos não controláveis da atividade cerebral. Com a aquisição de sinal do eletroencefalógrafo é possível fazer a transmissão do sinal obtido com a finalidade de análise remota (KHANDPUR, 2003).

Fazer a transmissão de sinais eletrônicos de forma digital ou analógica é deveras importante para a construção de um eletroencefalógrafo. Transmitir digitalmente os sinais obtidos através do eletroencefalógrafo é representar de forma instantânea, por amostras, os valores contidos dentro de um intervalo de medição com suas respectivas amplitudes (Neurologia, 2017).

O módulo de transmissão Bluetooth elimina a exigência de fios condutores de conexão entre os aparelhos eletrônicos, emitindo os sinais através de ondas eletromagnéticas, essa transmissão de radiofrequência é de curto alcance por suas características físicas e não depende de posicionamento angular para a leitura do sinal (YOUNG, 2006).

1.1 OBJETIVO GERAL

Projetar, implementar e testar um eletroencefalógrafo de 2 canais com módulo de transmissão de sinal Bluetooth.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Tem como necessidade específica o desenvolvimento minucioso dos seguintes objetivos:

- Analisar o funcionamento eletrofisiológico do cérebro;
- Desenvolver o circuito eletrônico analógico do aparelho eletroencefalógrafo;
- Desenvolver o circuito microcontrolado para a aquisição do sinal de EEG proveniente do circuito analógico;
- Desenvolver a transmissão de sinal via módulo Bluetooth do eletroencefalógrafo para o computador pessoal.

1.3 JUSTIFICATIVA

Com o passar do tempo, o rigor nos atendimentos médicos aumentou de acordo com as normas que regem os procedimentos médicos, assim como o progresso da implementação eletrônica nos aparelhos eletromédicos de aquisição de sinal passaram a ser de extrema importância para a identificação de possíveis doenças de acordo com as diferentes formas de tecnologia abordadas (Telemedicina Morsh, 2017).

Na área neurológica, o eletroencefalógrafo traz os registros feitos de toda atividade cerebral, sendo de suma importância na identificação de diversas doenças provenientes de contextos psíquicos (SILVA, 1999).

Diante deste dado, a importância de fomentar um protótipo de um aparelho eletroencefalógrafo de dois canais, capaz de fazer a aquisição do sinal cerebral com aumento de segurança por sua transmissão de sinal Bluetooth, viabiliza este o projeto. Lembrando ainda que esse protótipo pode evoluir para aparelhos com mais de dois canais pois, os conceitos serão os mesmos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Serão abordados neste capítulo conceitos sobre a fisiologia básica do cérebro, sobre o registro da atividade elétrica e como captá-lo.

2.1 A FISIOLOGIA POR TRÁS DE UM APARELHO ELETROMÉDICO

A forma funcional básica do sistema biológico é a célula. O corpo humano é composto por aproximadamente 75 trilhões de células, onde boa parte é um conjunto de células vivas e que estão em constante ação celular e cada célula é capaz de realizar suas reações químicas para desempenhar a sua ação celular (GUYTON, 1988).

Em cada tipo de conjunto do sistema biológico humano, os órgãos, desempenham diferentes tarefas e essas tarefas estão de acordo com a composição biológica do órgão (GUYTON, 1988).

2.1.1 COMPOSIÇÃO E FUNCIONAMENTO CELULAR

Na fisiologia celular é dito que uma célula é composta por cinco substâncias: água, proteínas, lipídios, carboidratos e substâncias iônicas. Estão contidas nas células estruturas físicas denominadas organelas, nas quais cada estrutura desempenha funções distintas de forma organizada (LANDOWNE, 2007).

A mitocôndria é a organela responsável por transformar as formas de energias provenientes das células, por isso são chamadas de usinas celulares, a conversão de energia alimentar é estocada em forma de ATP, que por sua vez estimula o transporte de diversas substâncias através do meio intracelular (LANDOWNE, 2007).

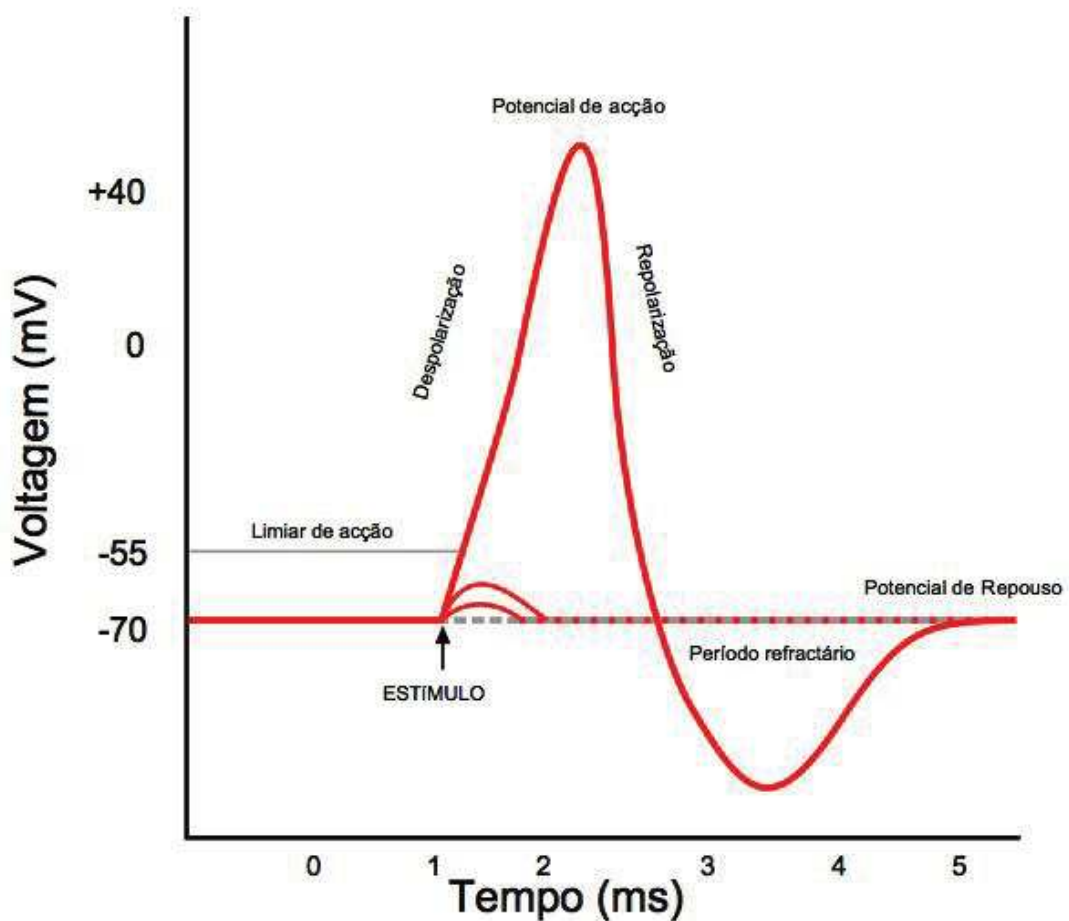
No transporte das substâncias de sódio e potássio feito pelo ATP para o citoplasma dá-se a energização de diferentes reações químicas dentro dos conjuntos celulares no organismo, estimulando suas funções celulares (GUYTON, 1988).

O transporte das informações consome quase metade do ATP produzido dentro da mitocôndria, cerca de 40 %, segundo COOPER (2007) o processo trata-se da proteína transportadora denominada bomba de sódio-potássio no qual faz a cisão do ATP expelindo para fora da célula o sódio (Na⁺) e introduzindo na célula o potássio

(K-), desse modo é gerado uma carga elétrica por diferença de potencial iônico entre o meio intracelular e o meio extracelular (AMABIS e MARTHO, 2003).

A esse transporte de sódio e potássio pelos meios celulares e a geração de uma diferença de potencial (DPP) dá-se o nome de potencial de ação. Com isso o transporte de sódio feito é de suma importância para a transmissão de impulsos elétricos por todo o corpo, dado que atinja a quantidade de energia necessária para superar o potencial de ação da membrana celular (AMABIS e MARTHO, 2003).

Figura 01 – Potencial de ação



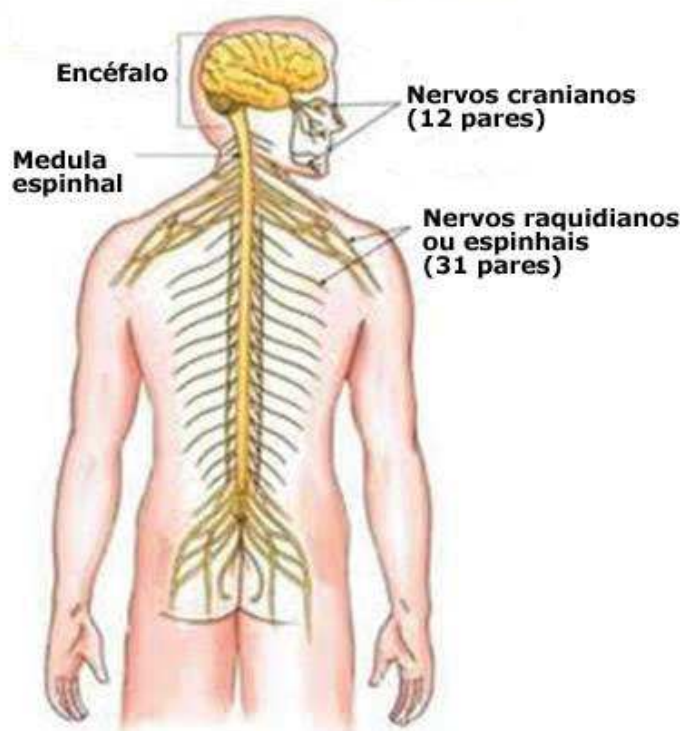
Fonte: FEIJÓ (2017)

2.1.2 SISTEMA NERVOSO E TRANSMISSÃO NERVOSA

O sistema nervoso, é responsável por monitorar e coordenar a atividade do corpo, sendo composto por outras subdivisões, segundo GUYTON (1988), o eixo sensorial, eixo motor e um sistema integrador.

O eixo sensorial é responsável por transmitir os sinais pelas terminações nervosas para a medula espinhal, tronco cerebral, cerebelo e córtex, como demonstrado superficialmente na Figura 2. A segunda subdivisão, denominada eixo motor, é a responsável por transmitir os sinais neurais originadas em parte do sistema nervoso central para as ramificações de todo corpo. Contudo o sistema integrador processa as informações sensoriais e guarda para um futuro uso da memória.

Figura 02 – Sistema nervoso simplificado



Fonte: Conceito (2017)

Para operar tais funções, o sistema nervoso recolhe informações de toda parte do corpo, vindas através de terminações sensoriais e as transmite através dos nervos e ramificações. Dependendo da terminação sensorial, a resposta a um estímulo é instantânea, dando a reação ao estímulo inicial de imediato, e também podem ter respostas de forma não instantânea, armazenando assim as informações

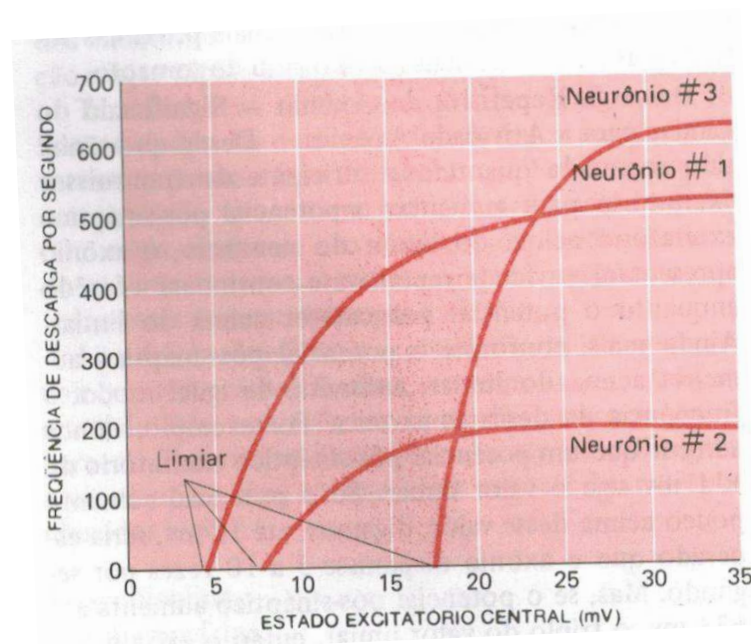
na memória humana para possivelmente um uso futuro (BEAR, CONNORS e PARADISO, 2008).

O encéfalo, que faz parte do sistema nervoso, é o centro de armazenamento de memória, desde a origem dos pensamentos e emoções, também na produção de fenômenos psíquicos e por fim controle geral do corpo humano (BEAR, CONNORS e PARADISO, 2008).

Contudo, o conjunto dos tecidos nervosos são compostos por duas bases celulares, entre elas os neurônios que por sua vez desempenham a tarefa de conduzir os sinais elétricos de forma unidirecional por todo o sistema. A composição do neurônio se resume em seu corpo celular, receptores neurais, denominados dendritos, transmissores neurais, chamados de axônios, e por fim, os terminais de transmissão neural onde acontecem as sinapses, responsável pela troca de informações entre os neurônios. Energicamente, o potencial de ação do neurônio é da ordem de -70 mV (LENT, 2010).

Visto que os neurônios estão em partes diferentes de todo o encéfalo, eles então, de modo separado, são responsáveis por diversas ações desempenhadas pelo encéfalo, gerando limitações físicas para cada neurônio, como demonstrado na figura 3 (GUYTON, 1988).

Figura 03 - Curva de funcionamento do neurônio



Fonte: GUYTON (1988)

2.1.3 ENCÉFALO E OS CIRCUITOS NEURAIIS

Formado pelo cérebro, cerebelo e tronco encefálico, o encéfalo juntamente com a medula espinhal e os nervos, agrupam-se no sistema nervoso central. O cérebro, com suas transmissões de sinais internas, faz o processamento de informações do conjunto corporal humano de várias formas separadas, porém interligadas, conforme suas características físicas e sua região de origem (ROCHA, , et al., 2014).

Na divisão interna do sistema nervoso central estão contidos grupos funcionais neuronais, padronizando internamente as diferentes ações do sistema por suas fibras neurais (GUYTON, 1988).

Os circuitos neurais são determinados pelas formas de agrupamentos e conexões neurais, compostos por até milhões de corpos neurais. Com isso cada diferente forma de circuito determina a frequência e a intensidade das informações que circulam pelos conjuntos, originando a diferenciação elétrica para cada comportamento, pensamento e sentimento do ser humano (BEAR, CONNORS e PARADISO, 2008).

2.2 APARELHOS ELETROMÉDICOS

A proposta dos aparelhos eletromédicos é medir ou determinar a presença de alguma resposta física que possa auxiliar o profissional da saúde a diagnosticar o fenômeno analisado, com isso os aparelhos eletromédicos podem também participar no tratamento de doenças ou condições físicas através do seu aparato tecnológico (CARR e BROWN, 2001).

2.2.1 AQUISIÇÃO DE SINAL EM APARELHOS ELETROMÉDICOS

Em todos os aparelhos eletromédicos deve ter um sinal elétrico como sinal de entrada, quando o biopotencial precisa ser adquirido, alguma forma de eletrodo é usada como um canal de aquisição de sinal entre o aparelho eletromédico e o paciente. Na existência do sinal gerado ser de uma grandeza física não elétrica tem-se a necessidade de uso de transdutores. Todo sinal a ser medido passa por

parâmetros de medição, e são tratados de forma a obter a coerência desejada (KHANDPUR, 2003).

Com o sinal já adquirido os aparelhos eletromédicos necessitam de um processamento deste sinal através de sua estrutura básica de análise, seja ela digital ou analógica, promovendo o condicionamento e tratamento de todo o sinal para o processamento futuro em imagens e gráficos (CARR e BROWN, 2001). Devido a todas as características físicas e elétricas das partículas no corpo humano comentados nos tópicos anteriores, os aparelhos eletrómedicos trabalham em faixas de frequências e níveis de tensões diferenciados, como exemplifica a Tabela 1 (KHANDPUR, 2003).

Tabela 1 - Especificações de trabalho nos aparelhos eletromédicos

Aparelhos	Característica primária do sinal	Tipo de eletrodo
ECG	Frequência: 0.05 - 120 Hz Amplitude: 0.1 - 5 uV Sinal típico: 1 uV	Eletrodo de pele
EEG	Frequência: 0.1 - 100 Hz Amplitude: 2 - 200 uV Sinal típico: 50 uV	Eletrodo de couro cabeludo
EMG	Frequência: 5 - 2000 Hz Amplitude: 0.1 - 5 uV	Eletrodo de agulha
ERG	Frequência: 20 Hz Amplitude: 0.5 - 1 uV Sinal típico: 0.5 uV	Eletrodo de contato
EOG	Frequência: 100 Hz Amplitude: 10 - 3500 uV Sinal típico: 0.5 uV	Eletrodo de contato

Fonte: KHANDPUR (2003)

2.2.2 ELETROENCEFALÓGRAFO

Com o funcionamento celular o cérebro gera potenciais elétricos rítmicos, esses potenciais são milhões de descargas elétricas celulares de maneira a produzir uma forma de onda síncrona, de modo a repetir o processo de polarização das células (KHANDPUR, 2003).

Os eletrodos utilizados no aparelho eletroencefalógrafo podem ser na forma de um eletrodo côncavo (disco) com 1 cm de diâmetro, feito de prata, e na forma de eletrodos agulha, que são fixados com uma pasta condutivas para melhor contato elétrico (CARR e BROWN, 2001).

Para diferentes pontos de análise os eletrodos podem ser colocados no couro cabeludo ou diretamente no córtex cerebral dando a opção de recepção diferenciada conforme a necessidade do formato de precisão do sinal recebido, como representado na Figura 4. Contudo, a obtenção do sinal necessita de um eletrodo de referência, geralmente colocado em uma área não ativa. Existem padrões para o posicionamento dos eletrodos adotados pela AEEGS, de modo tradicional são utilizados 21 eletrodos (KHANDPUR, 2003).

Figura 04 - Tipos de eletrodos



Fonte: Adaptado por BIOMEDRESEACHERS (2017)

Os sinais tirados do couro cabeludo são normalmente na faixa de 100 μ V, enquanto o sinal diretamente do córtex atinge a escala de 1 mV. Contudo a frequência e amplitude do sinal variam com os diferentes estados psíquicos do cérebro, essas variações conjuntas formam bandas de frequências nomeadas como:

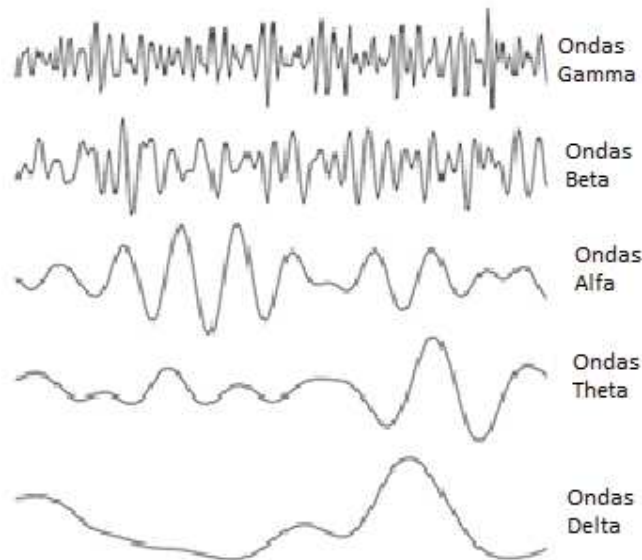
Tabela 2 - Bandas de frequência

CONJUNTO	Faixa de Frequências	Atividade cerebral
Delta (Δ)	0,5 – 4 Hz	Pouquíssima Atividade cerebral, sono profundo e perda de consciência
Theta (θ)	4 – 8 Hz	Pouca atividade cerebral, sono REM e profundo relaxamento
Alpha (α)	8 – 13 Hz	Atividade cerebral mediana, relaxamento cerebral e pré-sono
Beta (β)	13 – 22 Hz	Atividade cerebral, pensamento ativo e concentração
Gamma (γ)	22 – 30 Hz	Hiperatividade cerebral, excelente para o aprendizado

Fonte: Adaptador por MEDIUM (2017)

Estes diferentes padrões dos sinais de EEG estão mostrados de maneira gráfica na Figura 5 (KHANDPUR,2003).

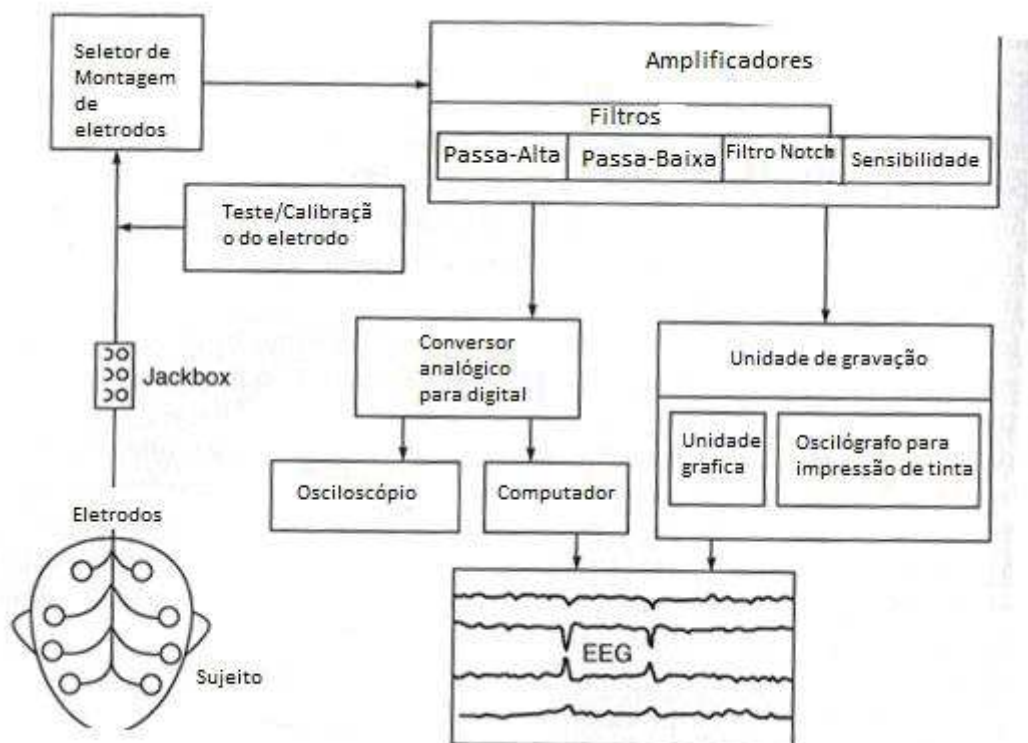
Figura 05 - Forma de onda cerebral



Fonte: Adaptado por MEDIUM (2017)

De acordo com KHANDPUR (2003), a principal componente entre as faixas de frequência para o ser humano é a frequência Alpha, a qual é indicativo de estado de alerta do cérebro, informação muito utilizada nos centros cirúrgicos para indicador de profundidade anestésica.

Figura 06– Fluxograma de funcionamento do EEG



Fonte: Adaptado por KHANDPUR (2003)

Um diagrama de blocos básico para o EEG contém componentes analógicos e componentes digitais, composto sempre aos pares simétricos de montagem, representado na Figura 6.

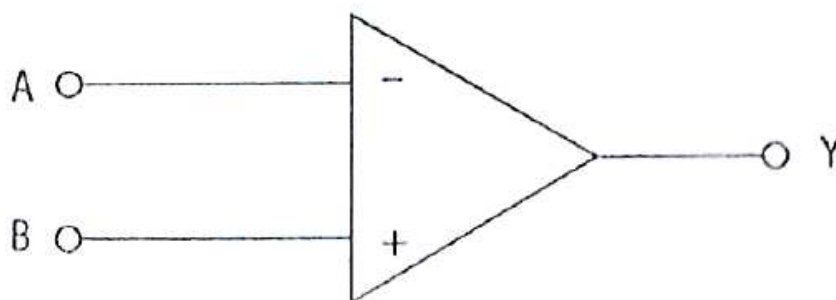
Cada canal do EEG exige um sistema de pré-amplificação compostos por circuitos de proteção, filtros de frequências e amplificadores de sinal. O sistema de pré-amplificação deve fornecer, para o restante do circuito, sinais com alto ganho de tensão e baixos ruídos, sendo livre da deriva de sinal para melhor garantia do sinal. Após a passagem do sinal da pré-amplificação são colocados conversores A/D, transformando os sinais em representações digitais coerentes, com essa conversão os sinais estão prontos para serem processados e transmitidos para a representação gráfica (KHANDPUR, 2003).

3.2.3 AMPLIFICADORES OPERACIONAIS NA INSTRUMENTAÇÃO MÉDICA

Inicialmente os amplificadores operacionais (AMP OP's) foram desenvolvidos para resolver operações matemáticas em computação analógicas e aplicações de instrumentação mais sofisticadas, contudo eram feitos por componentes discretos. Com o progresso e o desenvolvimento dos circuitos integrados (CI), o AMP OP passou a ser encapsulado construído a partir de transistores para reduzir tamanho e custos do mesmo (SEDRA, 2007). Sua grande funcionalidade enaltece o uso constante em diversas áreas da eletrônica, podendo ser comparado a computadores analógicos reduzidos (CARR e BROWN, 2001).

Segundo SEDRA (2007), o AMP OP é um amplificador de corrente projetado para funcionar a partir de diferenças de tensão em seus terminais de entrada, onde a tensão de saída recebe um ganho de amplitude, conforme a configuração adotada, como demonstrado na Figura 7. Dado que A e B são sinais de entrada e Y de saída. Contudo o AMP OP tem abordagens reais e ideais, onde o sistema ideal nos fornece uma melhor definição de funcionamento e matemática do CI.

Figura 07 – Simbologia do AMP OP



Fonte: JUNIOR (2015)

Na instrumentação médica os AMP OP's são usados em seus modos de operação dado pelas suas configurações. No ECG uma topologia utilizada é o AMP OP diferencial. Os AMP OP's também são utilizados como auxiliares na filtragem dos sinais recebidos e como amplificadores de instrumentação, que por sua vez dão grandes ganhos de tensão, variados a partir de resistores de ganho (SEMMLOW, 2011).

As filtrações necessárias feitas com o auxílio dos amplificadores no EEG são para remover ruídos, dado as possíveis interferências de todo o sistema eletrônico. De modo geral são feitos três filtros analógicos: Filtro passa baixa, filtro rejeita faixa e filtro passa alta (Open EEG, 2017).

Na filtração de baixas frequências a grande necessidade de implementação é a distorção gerada pela conversão do sinal em amostras digitais, a filtração de altas frequências por sua vez, remove todo deslocamento que ocorre a partir da tensão de corrente contínua, o filtro rejeita faixa remove os ruídos aplicados no circuito a partir da rede elétrica que transmite a tensão senoidal na frequência nominal de 60 Hz. Contudo toda instrumentação em torno dos AMP OP's é para fornecer ao circuito condições melhores nos sinais reais adquiridos durante todo o processo (Open EEG, 2017).

2.3 TRANSMISSÃO DE SINAIS

Os sistemas de comunicações sem fio, através de rádio em navios no final do século XIX, impulsionaram entusiasticamente a forma de adoção dos mesmos. O

conceito histórico da evolução da comunicação nos permite obter as informações de modo instantâneo conforme o crescimento das técnicas de comunicações, também apresentadas como telecomunicações (RAPPAPORT, 2008).

A comunicação sem fio via ondas de rádio pode ser obtida de três maneiras distintas: a comunicação simplex, a *semiduplex* e a *duplex*. Essas maneiras de comunicação nos dizem como a informação trafega através do sistema sem fio. Dado que a simplex é unidirecional, limitando o usuário apenas transmitir ou apenas receber dados, já na *semiduplex* a comunicação é bidirecional com a limitação de que a simultaneidade de funções não ocorra, os sistemas duplex permitem a comunicação simultânea em ambos os quesitos (RAPPAPORT, 2008).

2.3.1 ONDAS DE RÁDIO

Os conceitos de propagação de ondas eletromagnéticas se baseiam na reflexão, difração e dispersão do sinal, portanto grandes objetos ou grandes distâncias influenciam na qualidade e alcance da onda refletida eletromagnética. Nos modelos de transmissão de sinal via ondas de rádio são previstas essas quedas de intensidade e alcance para obter uma distância média de sinal viável (RAPPAPORT, 2008).

O aspecto fundamental envolvido na transmissão por onda de rádio insere-se no conceito de conversão de energias. Nesse esquema, o sinal elétrico é transformado em sinal eletromagnético e transmitido pelo equipamento emissor na forma de onda eletromagnética e adquirido no equipamento receptor e novamente transformado para sinal elétrico (YOUNG, 2006).

2.3.2 TRANSMISSÃO VIA BLUETOOTH

Segundo Infowester (2017), *bluetooth* é um padrão mundial de baixo custo e de consumo energético de comunicação sem fio entre dois dispositivos, onde a vigência dos modelos *semiduplex* e *duplex* são implementadas.

Essa transmissão é feita por radiofrequência, além disto os dispositivos conectados através desta tecnologia não dependem de posicionamentos para funcionarem, apenas que se estabeleça um alcance máximo para a transmissão. A

classificação do *bluetooth* foi dividida de maneira a balancear o alcance e a potência de uso, conforme apresentado na Tabela 3 (Infowester, 2017).

Tabela 3 – Banda de trabalho de ondas de rádio

Classificação	Potência máxima	Alcance máximo
Classe 1	100 mW	100 m
Classe 2	2,5 mW	10 m
Classe 3	1 mW	1 m
Classe 4	0,5 mW	0,5 m

Com a facilidade de implementação da transmissão de sinal via tecnologia *bluetooth* os aparelhos eletrônicos em ambientes domésticos e empresariais, por adaptação ao não uso de cabos, passou a ser utilizado com mais frequência. Nos aparelhos eletromédicos raramente são aderidos o uso dessa tecnologia, o que torna mais interessante sua aplicação por uma questão de inovação (Infowester, 2017).

3 – Metodologia

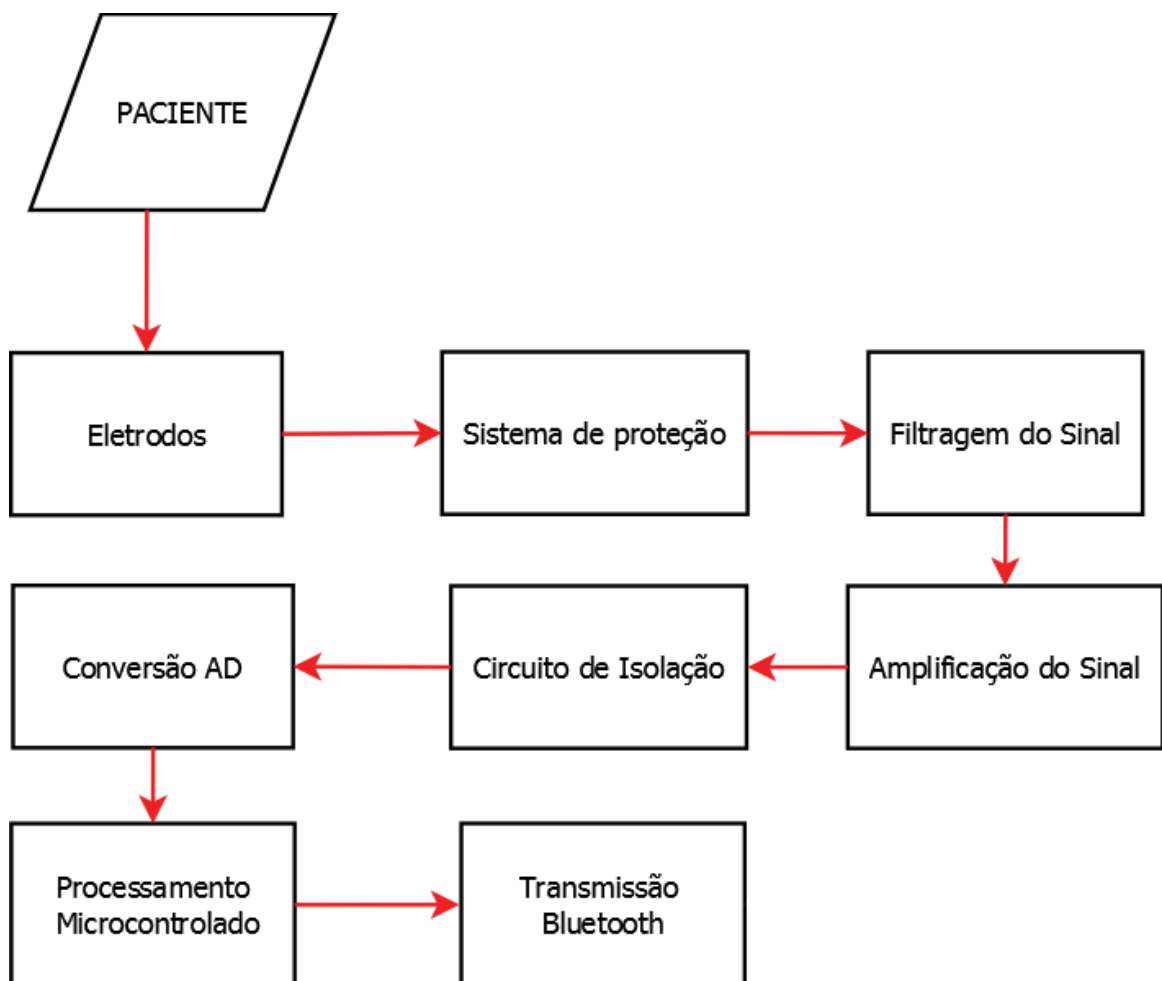
O desenvolvimento deste projeto será a partir de uma revisão bibliográfica sobre os conceitos mais importantes da sua composição, no qual serão escolhidas melhores metodologias para implementação do projeto.

Em seguida, será realizado o desenvolvimento prático dos módulos que constituem o sistema, respeitando as configurações mínimas necessárias que possam atender as especificações de um eletroencefalógrafo típico.

3.1.1 Desenvolvimento do pré-projeto

O diagrama funcional do aparelho eletroencefalógrafo seguirá o diagrama representado na Figura 8.

Figura 08 – Fluxograma de funcionamento



Fonte: Autoria Própria

De todo modo, a realização da pesquisa durante todo o processo metodológico conta com a presença de um participante de projeto para tonar sujeito, no qual será proveniente de sinal biológico humano, para serem realizados os testes requeridos para a validação do mesmo.

O projeto utilizará eletrodos descartáveis fornecidos pela universidade compostos por prata clorada e sua conexão será feita a partir de cabos para a placa. Estes eletrodos serão afixados com suporte de fita, podendo ser elástica para maior adesão, nas regiões do cérebro responsáveis por elaboração de pensamento e processamento de informação visual, lóbulos frontal e occipital, sendo sujeitos à alteração de posicionamento conforme o interesse do sinal adquirido. Para esta coleta os eletrodos serão afixados direto no couro cabelo, sem a necessidade de raspagem do local, com contato direto com o couro cabeludo.

Com essa fixação dos eletrodos nas regiões cerebrais, dá-se necessário um tempo mínimo de aquisição para a leitura dos sinais, como os conversores do micro controlador trabalha com frequência de 10.000 Hz, o tempo de exposição do paciente é por alguns segundos, dando a possibilidade de reprocesso do mesmo, contudo o tempo máximo de exposição é de cinco minutos por coleta, pois não é necessário um tempo maior de aquisição.

A quantidade de vezes no teste é variável, dado que o objetivo é testar a funcionalidade do aparelho, mas a quantidade máxima de vezes ao participante ser submetido é de duas coletas. Contudo, dá-se necessário sinais biológicos reais de pacientes para uma melhor validação do projeto.

Na construção do circuito de proteção serão utilizados limitadores de tensão e corrente, evitando assim que o circuito possa ter fuga de corrente para os eletrodos.

De modo geral, os AMP Op's proporcionam que o circuito de filtragem esteja na topologia de filtro ativo, e no desenvolvimento do projeto será avaliado a ordem necessária dos filtros e também o seu modelo de operação, espera se utilizar os filtros Butterworth. Para construção física do filtro o *software* FILTER PRO será utilizado.

O filtro passa-alta a ser projetado deverá ter sua frequência de corte $F_c = 0,5$ Hz, em serie terá o filtro passa-alta com $F_c = 101$ Hz. Para eliminar a interferência da rede um filtro rejeita faixa será adicionado em serie com frequência de corte aproximadamente $F_c = 60$ Hz. Todas as aplicações dos filtros via FILTER PRO serão testadas no Software PROTEUS e fisicamente na *protoboard*.

Em seguida, na etapa de amplificação de tensão do circuito, amplificadores da família INA, produzidos pela Texas Instruments, deverão ser usados dado as suas especificações atenderem a aplicação em questão. Após todo o processo de amplificação, um circuito isolador deverá ser usado promovendo a devida isolação do circuito de potência dos circuitos de amplificação e de processamento. Isto é necessário devido a possíveis danos físicos ao paciente.

O microcontrolador utilizado deverá ser escolhido conforme a facilidade de implementação de recursos necessários para a finalização do projeto, visando a praticidade e simplicidade na implementação lógica.

A transmissão de sinal de EEG digitalizado pelo microcontrolador e enviado através do sistema de transmissão Bluetooth.

Todo o circuito poderá ser alimentado por fonte externa ou até mesmo por baterias de acordo com a necessidade.

Após todas as etapas de testes e definições das abordagens lógicas, os circuitos serão montados em placa de circuito eletrônico impresso (PCI).

3.1.1 ORÇAMENTOS

Os orçamentos realizados são com gastos de equipamentos para produção do aparelho eletromédico e seus componentes que constroem seu desenvolvimento como um todo.

- Gastos com componentes: R\$ 118,25.
 - 2 x INA144 = R\$15,00;
 - 4 x TLC27L2AC = R\$ 37,40;
 - 4 x BC547 = R\$0,10;
 - 4 x BC557 = R\$0,10;
 - 4 x Cap 100pF 5% = R\$0,10;
 - 2 x Cap 10pF 5% = R\$0,10;
 - 12 x Res 2k2 5% = R\$ 2,90;
 - 4 x Res 10k 5% = R\$ 1,00;
 - 2 x Res 15k 5% = R\$ 0,50;
 - 2 x Res 8k2 5% = R\$ 0,50;
 - 4 x Res 1M 5% = R\$ 1,50;

- 3 x Res 1k 5% = R\$ 0,50;
- 2 x Res 100k 5% = R\$ 0,50;
- 2 x Res 200k 5% = R\$ 0,50;
- 17 x Cap 100nF 5% = R\$1,00;
- 3 x Cap 47 uF 5% = R\$ 1,00;
- 6 x Cap 1uF 5% = R\$1,50;
- 5 x Cap 1nF 5% = R\$ 1,25;
- 2 x Cap 10nF 5% = R\$ 0,50;
- 2 x Cap 33nF 5% = R\$ 0,50;
- 3 x Pot 20k = R\$ 2,00;
- 1 x LED difuso = R\$ 0,50;
- 1 x 1n5818 = R\$ 0,50;
- 3 x indutor 22uH = R\$ 15,00;
- 1 x Header 2x4 = R\$ 3,80;
- 1 x Header 1x8 = R\$ 1,50;
- 1 x Conector Jack P4 = R\$ 2,00;
- 3 x conector TBLOCK-2 = R\$ 6,00;
- 1 x Switch ON/OFF = R\$ 2,50;
- 1 x LM7805 = R\$ 2,00;
- 1 x DMC0505 = R\$ 16,00;
- Gastos com fretes: R\$ 60,00;
- Produtos para fabricação PCI:
 - 1 x Fenolite 20x10 dupla face = R\$ 20,00;
 - 1 x Percloreto de ferro 250g = R\$ 10,00;
 - 3 x broca 1mm = R\$ 4,50;
- Sem gastos:
 - ESP32;
 - Tempo de projeto e fabricação.

3.1.2 RISCOS E BENEFÍCIOS

Na elaboração do aparelho eletromédico dá-se riscos ergonômicos de uso de equipamentos para a produção de placas eletrônicas, entre eles: queimaduras com ferro de solda, intoxicação respiratória por inalação de estanho (leve).

Já nos testes do aparelho dá-se como riscos de manuseio: micro choques derivados de corrente de fuga ou de componentes com defeitos, podendo causar desconforto no usuário do equipamento.

Os riscos de micro choques são minimizados pela presença de aterramento por toda placa de circuito impresso, fazendo com que se uma possível descarga de energia ocorra ela será direcionada para o mesmo aterramento. Se ainda assim houver o paciente tomar o micro choque, as medidas serão: Desligamento da fonte de energia do circuito eletrônico, remoção do contato do aparelho com o paciente e um possível encaminhamento médico.

Todos os riscos analisados apresentam seus devidos cuidados na produção do mesmo, como componentes de proteção, de isolamento e de controle do sistema como um todo.

Por fim dá-se como benefício objeto de estudo e pesquisa relacionado ao campo da eletroencefalografia.

3.1.3 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO EXCLUSÃO

São previstos os critérios onde os participantes dos projetos podem ser escolhidos ou não para efetuar as coletas dos sinais biológicos, como os testes serão realizados no autor do projeto, o critério de inclusão é a deriva do mesmo e o critério de exclusão não se aplica.

3.2 HARDWARE

No desenvolvimento de todo conjunto de *hardware* do projeto, foi tido como software de ferramentas para captura esquemática e simulação de módulos e projetos de circuito impresso o PROTEUS 8 Professional com licença válida até 2022.

A placa de desenvolvimento escolhida foi a ESP-32 WiFi e Bluetooth, com comunicação UART e Serial através de conectores aos dispositivos, com seu *software* desenvolvido através da interface ARDUINO.

Para compreendermos, o funcionamento na integra do dispositivo eletromédico Eletroencefalógrafo se dá como princípio filtragem e amplificação de sinal.

3.2.1 FONTE DE ALIMENTAÇÃO

O projeto tem como exigência uma fonte de alimentação com características específicas em uso de sistemas eletromédicos.

A tensão vinda através de uma fonte de alimentação comum, suprindo uma conversão de corrente alternada para contínua na tensão de 12 V e 1 A, tem uma parcela significativa de filtragem e regulação. Com o regulador de tensão LM7805 o circuito tem fornecimento de energia após sua ação de 5 V.

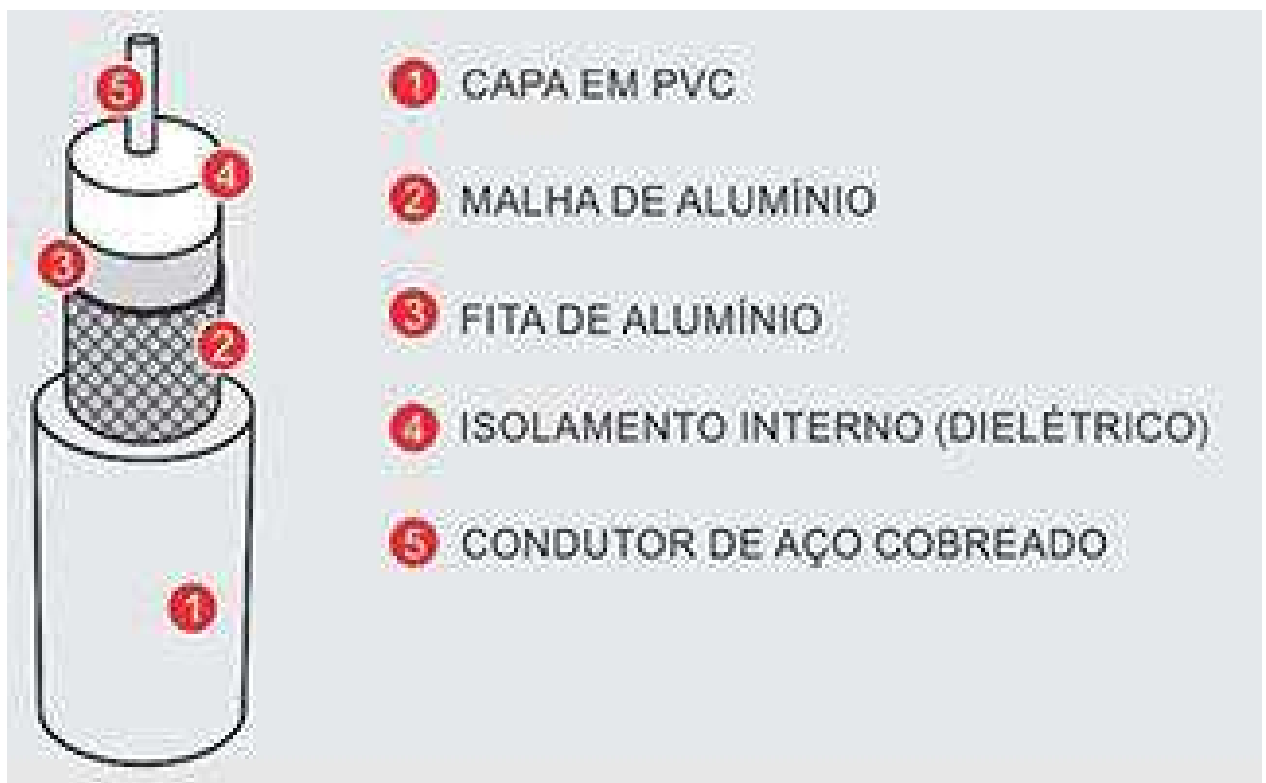
Contudo, o objetivo das filtragens do circuito da fonte de alimentação são de eliminar a imprecisão do sinal gerado através da fonte e corrigir as irregularidades desse sinal e obter um sinal limpo e estas filtragens são feitas através de indutores de 22 uH e capacitores de 1 uF, 47 uF, 100 nF e 10 nF.

Também tem a presença do conversor de Corrente Contínua para Corrente Contínua (CC-CC) de modelo TMV0505S. A necessidade de obter um conversor CC-CC no circuito é de obter um isolamento de aterramento, aterramento da fonte de 12 V e aterramento para os circuitos de filtragem e processamento. O conversor trabalha com um fator de 1 para 1 (1:1), não alterando a tensão de saída em relação a entrada nem para a corrente.

O circuito tem três pontos onde podem ser coletados 5V de saída, cada um desses pontos é passado por uma camada de filtros indutor, capacitor eletrolítico e capacitor cerâmico.

O ponto de alimentação para o circuito de amplificação e filtragem foi o ponto de maior qualidade do sinal representado por J3 no anexo A e para o circuito de processamento foi usado o de qualidade intermediária representado J2. Estes pontos são conectados nas demais placas através de um cabo coaxial com dupla blindagem, construído por um fio de cobre único condutor e pseudo maleável, revestido por material isolante de isopor com blindagem de papel metálico e outra blindagem de cobre entrelaçado e, por fim, um revestimento de plástico conforme representado na Figura 9.

Figura 09 – Cabo coaxial



Fonte: Adaptado por GPCABOS (2019)

3.2.2 COLETA, AMPLIFICAÇÃO E FILTRAGEM

Como parte principal do projeto o circuito é totalmente dependente de ausência de ruídos e de segurança para não existirem perigos no manuseio do mesmo.

Figura 10 – Eletrodo descartável



Fonte: Autoria própria

A coleta do sinal foi feita através de eletrodos descartáveis de modelo VC202 da marca VitalCor, com a presença de sensor metálico de alumínio e gel condutor selados por uma capa protetora, sua base é feita de espuma de polietileno isolante, conforme demonstrado na Figura 10. Este eletrodo é conectado aos pontos de leituras J3, J4, J5, J6 e J7 conforme representa o anexo B através do cabo coaxial duplamente blindado.

Foi projetado também uma proteção para descargas eletrostáticas (ESD) com o uso de capacitores e resistores, com complemento de um limitador de corrente transistorizado e resistivo para maior segurança.

Na amplificação de sinal é usado o amplificador de instrumentação da Texas Instruments o INA 114, um componente de alta qualidade e baixo custo, de ganho G , definido por:

$$R_g = R_7 + R_8 = 4,4 \text{ kohm}$$

$$G_1 = 1 + \frac{50k}{R_g} = \sim 12,3636$$

Com o ganho de tensão do sinal de entrada é feito um filtro passa alta passivo de primeira ordem, com frequência de corte definida por C6 e R9.

$$F_c = \frac{1}{2\pi R_9 C_6} = \sim 0,1591$$

Em seguida, é feito um circuito de amplificação com amplificador operacional no modo de trabalho inversor onde o ganho é definido por R11, R10 e RV1, onde o RV1 é um potenciômetro ajustado para valor aproximado de $RV1 = 1.5 \text{ kohm}$.

$$G2 = 1 + \frac{R11}{RV1 + R10} = 41$$

Em seguida é feito uma filtragem de terceira ordem *Butterworth* acompanhado de amplificação de sinal através do AMP-OP. Ganho calculado como

$$G3 = 1 + \frac{R16}{R14} = \sim 13,1951$$

E a frequência de corte para o filtro *Butterworth ativo rejeita faixa* é de $Fc = 59 \text{ hz}$.

Resultando em um ganho total do circuito como:

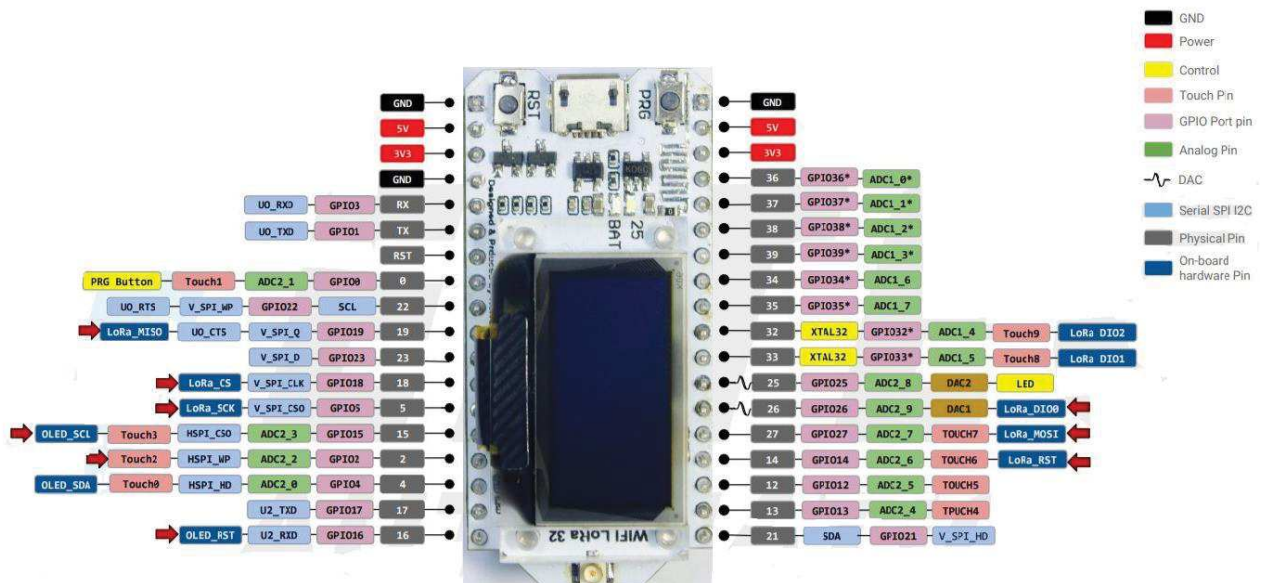
$$Gt = G1 * G2 * G3 = \sim 6.688,69$$

Todo este processo é replicado para cada um dos canais, resultado assim em duas saídas analógicas com amplitude necessária para leitura digital

3.1.3 PROCESSAMENTO

Para o processamento dos sinais analógicos foi utilizado o circuito embarcado ESP WIFI LORA 32, utilizando para a leitura do sinal analógico os pinos de conversores Analógico Digital (ADC) representados na Figura 11 (FIGURA ESP).

Figura 11 – ESP WIFI LORA 32 PINOUT



Fonte: Adaptador por USINAINFO (2019)

Para quesito de processamento foi utilizado o *clock* interno do circuito embarcado na frequência de 32 MHz e ADC de 12 bits.

3.3 O FIRMWARE

O Firmware foi desenvolvido para o circuito embarcado ESP WIFI LORA 32, todas versões compatíveis desse modelo podem utilizar o mesmo firmware sem maiores dificuldades, levando apenas em considerações aos terminais analógicos de entrada, sendo eles exclusivos para os conversores A/D ou RX/TX.

A plataforma de desenvolvimento utilizada foi a Arduino, utilizada por sua facilidade em uso de bibliotecas para o circuito embarcado escolhido.

3.3.1 AQUISIÇÃO DE DADOS

As ondas cerebrais desejadas foram adquiridas através da conversão analógica dos níveis de tensão do sinal, como as ondas cerebrais não são constantes e sim variáveis, este transcreve os comportamentos ligado aos estados de

consciência cerebral. Sendo o ADC de 12 bits existe uma constância maior no sinal, pois existem mais pontos distribuídos por toda a curva.

3.3.2 PROCESSAMENTO

Como processamento do sinal de entrada o microcontrolador inicializa seus registradores para trabalhar com as informações coletadas em seus pinos determinados.

Foi possível fazer um cruzamento de informações da coleta dos dois canais através de uma função pareamento para ver os pontos diferentes entre cada ponto coletado no crânio, porém para fins didáticos foi mantido cada sinal separadamente, como pré transmissão os dados são todos devidamente estruturados, demonstrados no anexo C.

3.3.3 TRANSMISSÃO BLUETOOTH

Em sua composição, o *ESP WIFI LORA 32*, comporta a antena de transmissão *bluetooth 4.2 low energy*, possibilitando a transmissão do sinal adquirido pelo eletroencefalógrafo para qualquer dispositivo com receptor do mesmo, restringindo apenas a distâncias menores à 10 metros.

Na programação é definido a classe de operação e as particularidades do sistema de transmissão apresentado no anexo C.

4 RESULTADOS

Abaixo são apresentados os resultados obtidos na execução do projeto.

4.1 PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO.

As placas desenvolvidas foram impressas em impressora de toner em papel couche para ser usado o método de transferência de calor em fenolite, com a tinta transferida tem-se as trilhas e ilhas do circuito eletrônico, a placa foi corroída por percloroeto de ferro, eliminando assim as sobras de cobre do circuito, resultando na placa de circuito impresso.

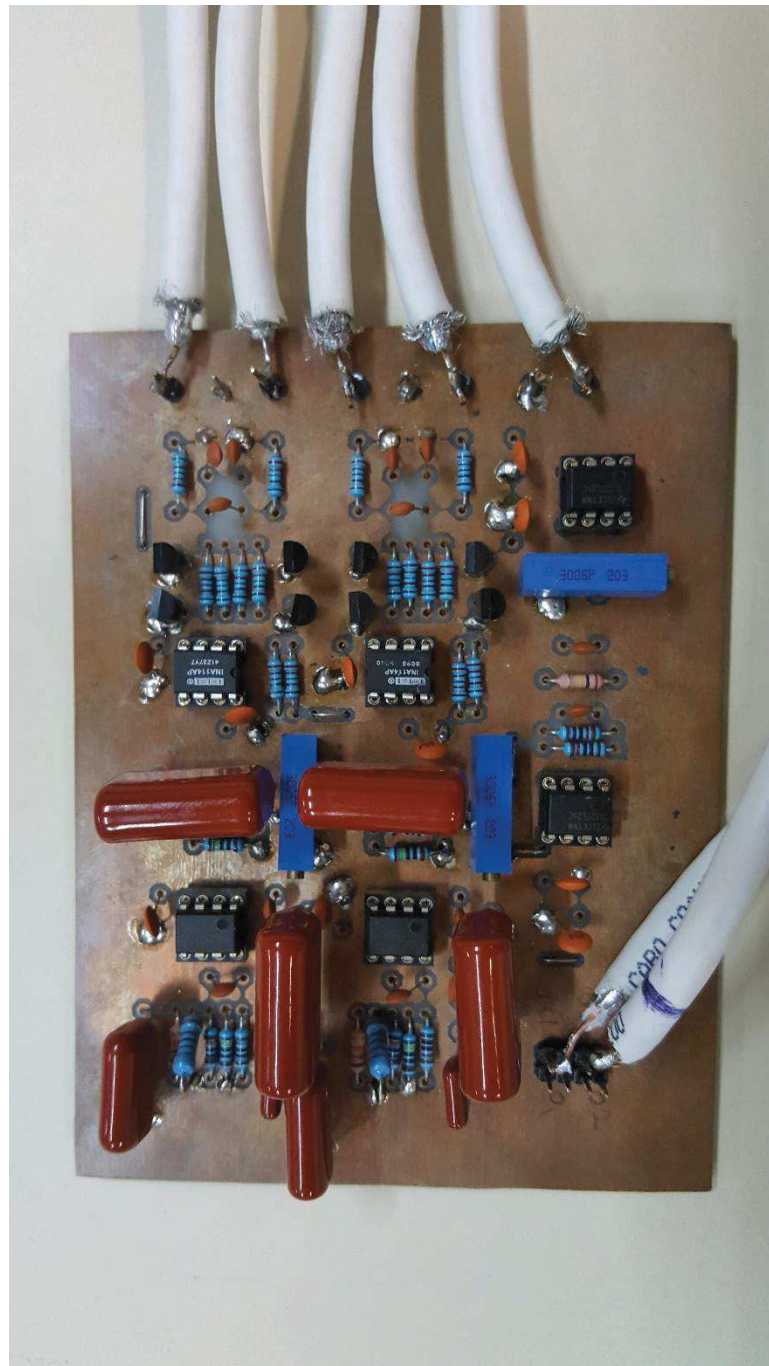
Conforme a Figura 12, é demonstrado um circuito repleto de malha GND, isso dá-se necessário para aterramento de todo e qualquer ruído possível no circuito eletrônico.

Na região superior são evidenciados os acessos da placa para a conexão devida aos eletrodos no usuário.

No canto superior esquerdo existem três terminais nos quais são responsáveis pelo Canal 2, composto por Ch2+, aterramento e Ch2- como exemplificados no anexo B, seguido o Canal 1 tem a mesma topologia, dois terminais de sinal Ch1+ e Ch1- e um terminal de aterramento, por fim o terminal de referência RLeg colocado devidamente na perna direita do usuário.

A região inferior direita tem os pontos de conexão para alimentação e aterramento e os terminais de saída para o circuito digital, onde os cabos de alimentação estão 5 V e GND, nesta ordem, e os terminais através da barra de pinos são O1 e O2.

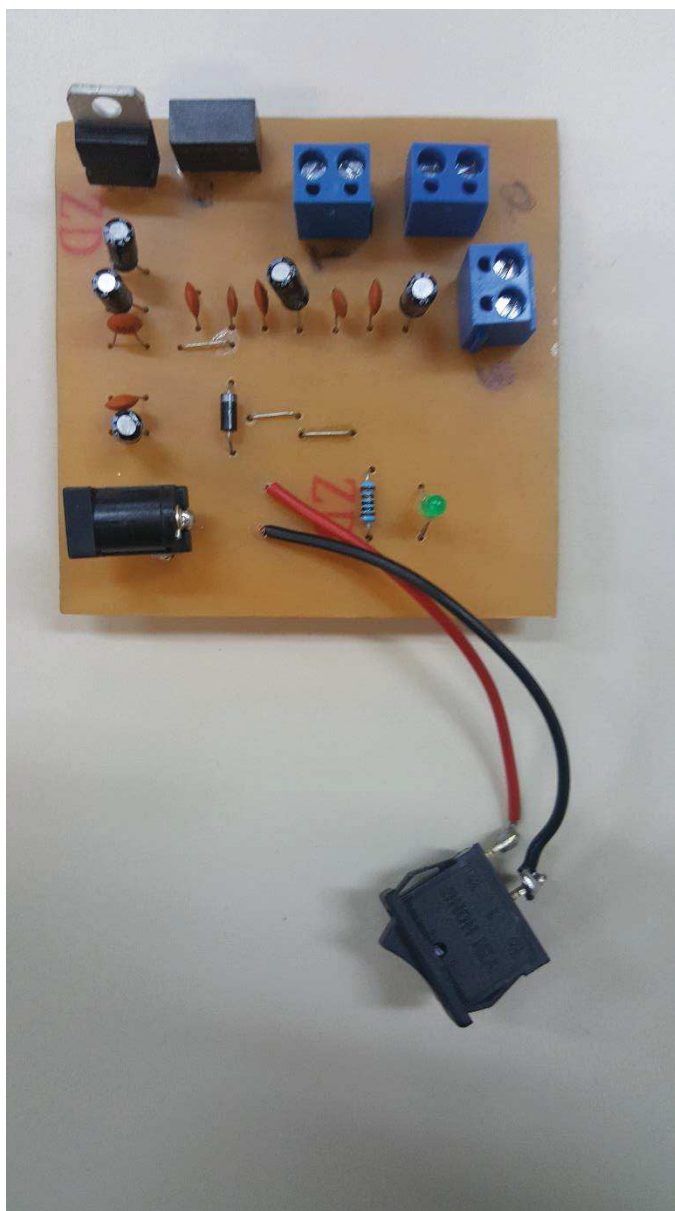
Figura 12 – PCI Eletroencefalógrafo 125mm x 100mm



Fonte: Autoria própria

Como a Figura 13, é dado um circuito mais simples de fonte de alimentação, responsável por suprir a energia dos demais circuitos, com as filtragens já apresentadas.

Figura 13 – PCI Fonte de alimentação



Fonte: Autoria própria

4.2 PONTOS DE LEITURA, LEITURA ANALÓGICA E SINAIS

Os pontos de leitura e de fixação dos eletrodos foram esclarecidos nos procedimentos metodológicos, contudo os sinais cerebrais são aferidos através do instrumento eletrônico osciloscópio.

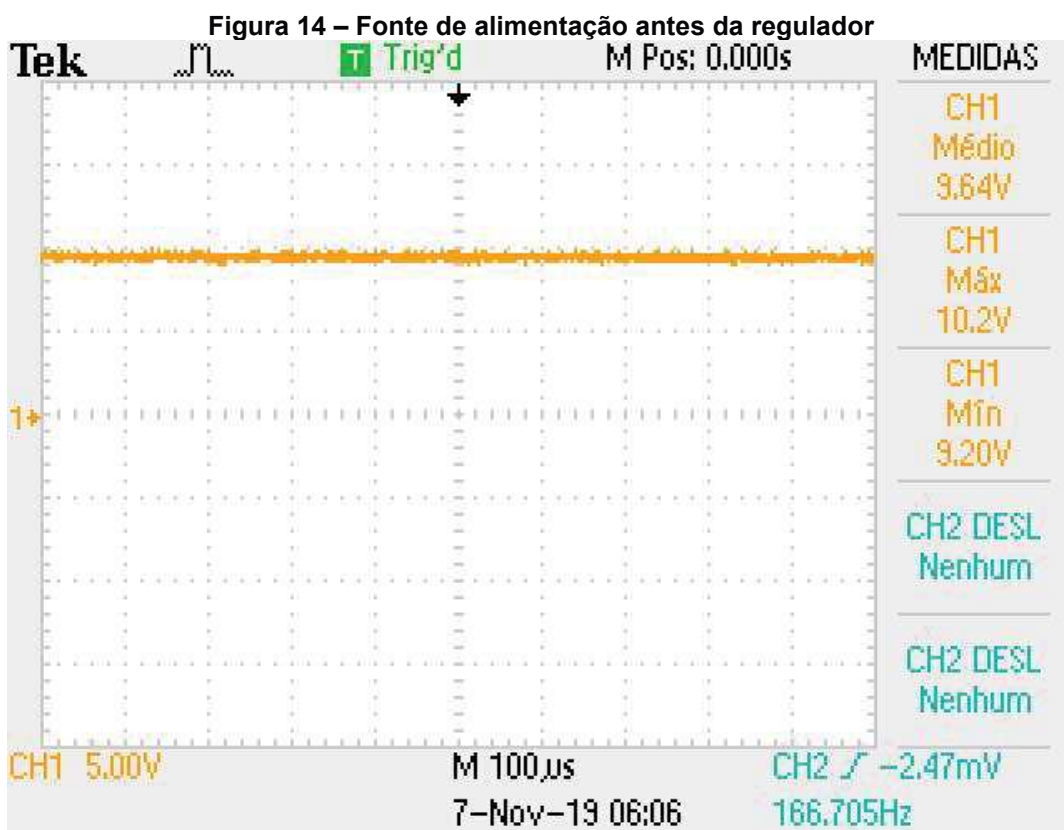
A leitura analógica foi feita para exemplificar quais sinais foram colhidos dos pontos de leitura demonstrando os processos apresentados anteriormente.

4.3 LEITURA DOS SINAIS COM O OCISLOSCÓPIO

As leituras foram feitas separadamente em cada ponto representado a seguir.

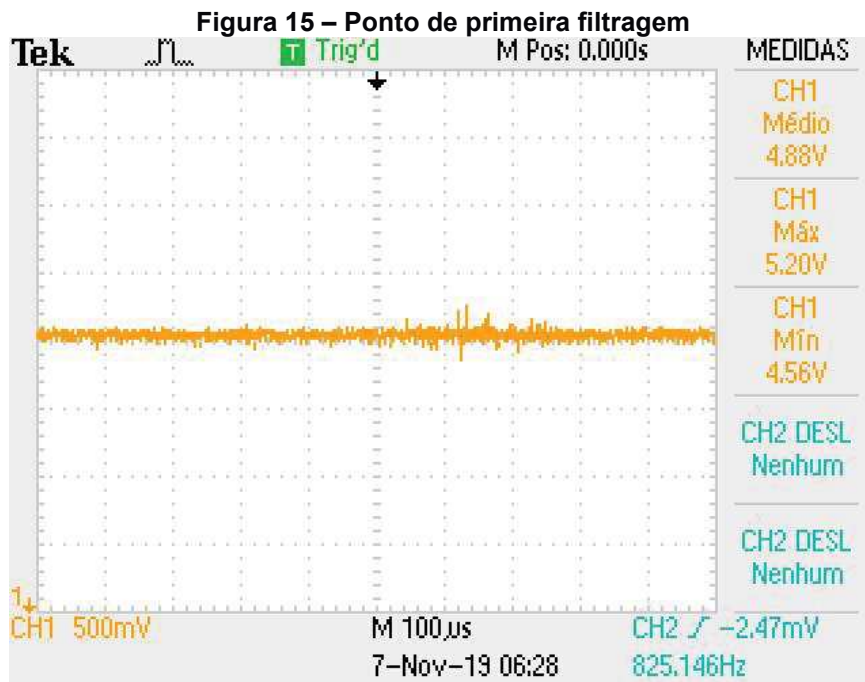
4.3.1 LEITURA DA FONTE

Os primeiros sinais colhidos foram da fonte de energia antes do regulador de tensão, conforme representado na Figura 14, no primeiro terminal do LM7805.



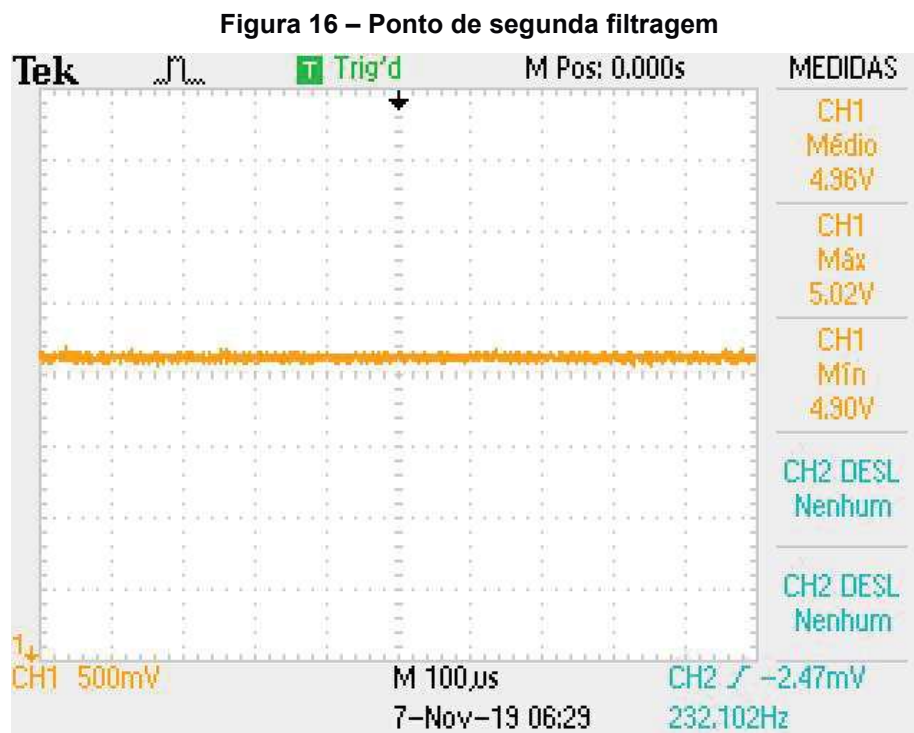
Fonte: Autoria própria

Após o regulador o sinal é aferido no primeiro conector J1, no ponto positivo de tensão, a regulagem é feita e a tensão é rebaixada para aproximadamente 5V, porém com ruídos, representado na Figura 15.



Fonte: Autoria própria

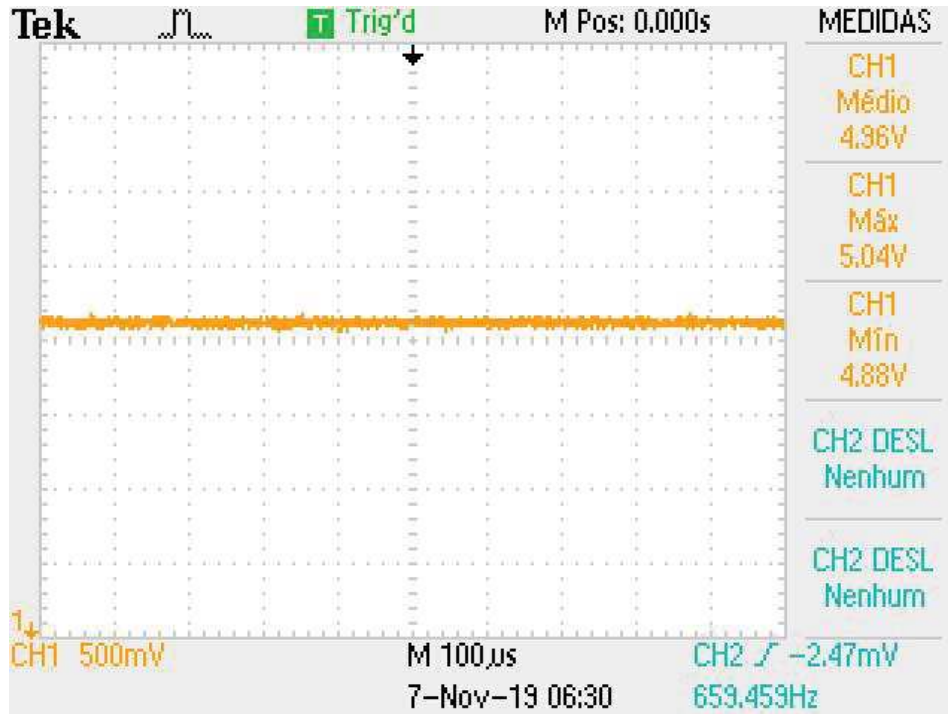
Após o ponto J1 é aferido em J2 com uma filtragem maior do sinal, note que a tensão média na Figura 15 é menor do que na figura 16 pois o *ripple* do capacitor eleva a tensão aferida.



Fonte: Autoria própria

No conector J3, por fim, é feita a filtragem final de sinal é muito próxima do conector J2, como representado na Figura 17.

Figura 17 – Ponto de terceira filtragem



Fonte: Autoria própria

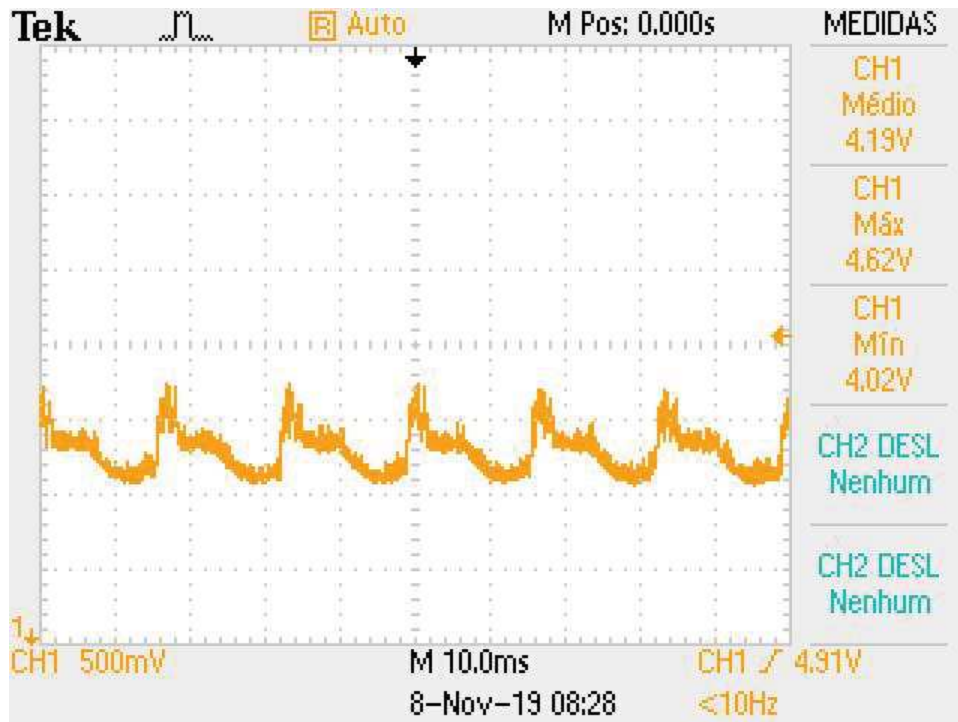
4.3.2 LEITURA DO ELETROENCEFALÓGRAFO

Todas as leituras feitas no osciloscópio do aparelho eletroencefalógrafo foram realizadas com segurança e de acordo com o comitê de ética, com exceto a execução do processamento digital dos sinais utilizando o LABVIEW, todos os sinais apresentados a seguir são do Canal 2.

Os terminais e componentes especificados a seguir estão todos aparentes no anexo B.

Leitura no Amplificador operacional U2.

Figura 18 – Ponto de leitura pino 2 Ch1-



Fonte: Autoria própria

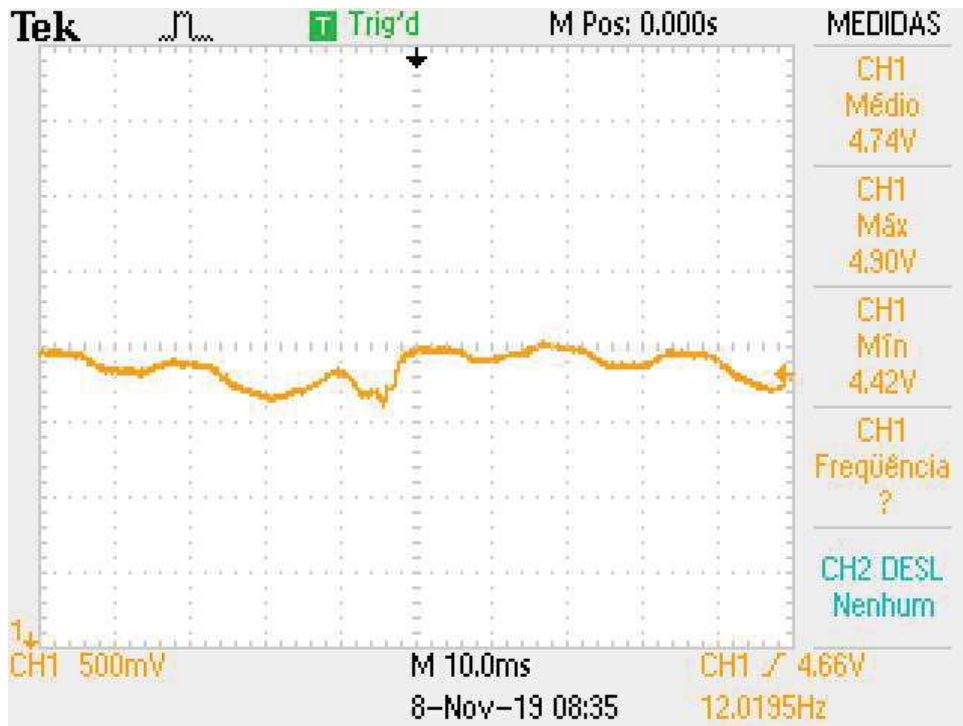
Leitura no amplificador operacional U5.

Figura 19 – Ponto de após filtro passa alta leitura no pino 3



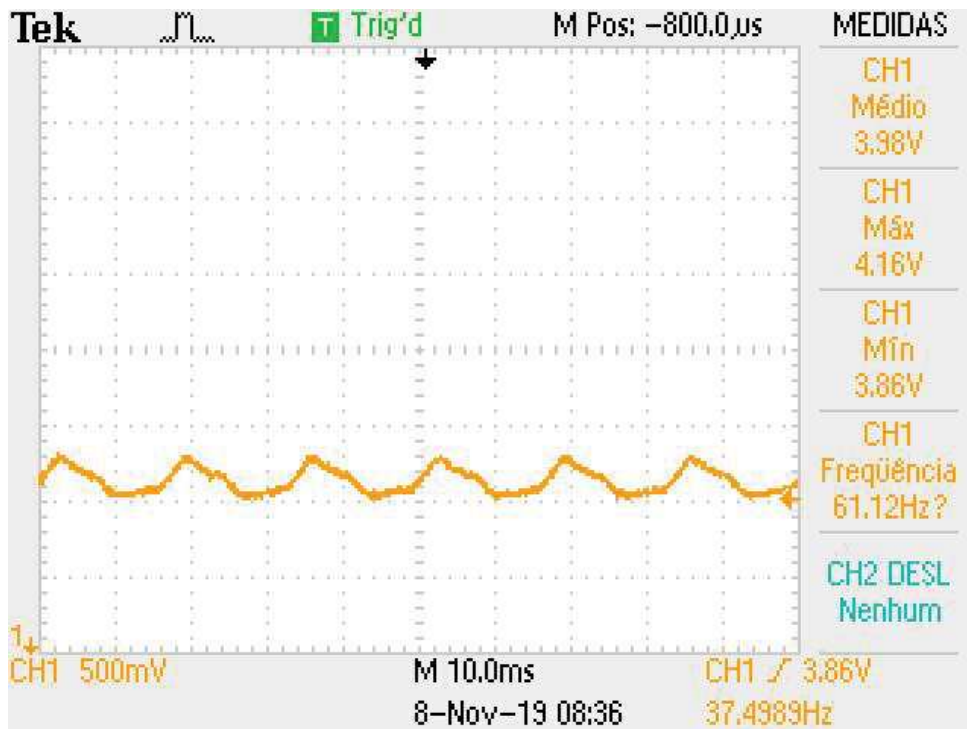
Fonte: Autoria própria

Figura 20 – Ponto de amplificação pino 1



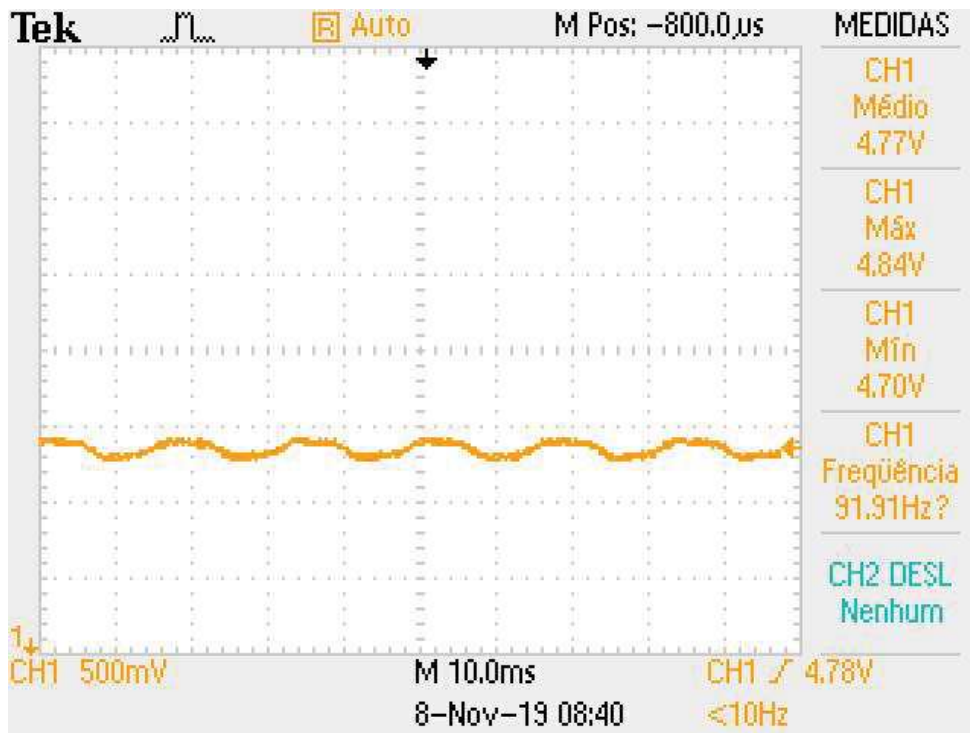
Fonte: Autoria própria

Figura 21 – Ponto intermédio de filtro rejeita faixa pino 5



Fonte: Autoria própria

Figura 22 – Ponto final de filtro rejeita faixa pino 7



Fonte: Autoria própria

5 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o projeto do dispositivo eletromédico o eletroencefalógrafo em sua forma atual será útil para fins de pesquisa, para aulas de engenharia médica e para uso de estudos.

Cada parte do projeto representa diferentemente um fator de qualidade atendendo separadamente quesitos únicos como segurança e portabilidade.

Com este dispositivo, pode-se fazer a leitura de 2 canais distintos, permitindo diferentes locais de leitura, podendo ser replicados com facilidade seguindo os anexos X e Y.

Para melhoria de projeto seria necessária uma nova composição geral, pois existe um deslocamento de fase no filtro rejeita-faixa, porém isso elevariam os custos de desenvolvimento gerais do projeto, particularmente a aderência de eletrodos ativos composto de materiais de melhor qualidade, como ouro e prata, também como melhoria a fabricação da placa por empresas especializadas no ramo. Contudo para ainda o tornar comercial se dá necessário uma blindagem de forma a construir uma gaiola de Faraday para evitar ainda mais os ruídos provenientes de celulares, eletrônicos e sinais de frequências próximas do projeto.

Contudo o projeto de pesquisa é satisfeito quando os resultados demonstram as filtragens formadas e amplificação devida do sinal.

Referências

- ALBERT, B.; BRAY, D.; HOPKIN, K. **Fundamentos da Biologia Celular**. 3. ed. [S.l.]: [s.n.], 2011.
- AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. **Fundamentos da Biologia Moderna**. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2003.
- BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. **Neurociencia - desvendando o sistem nervoso**. 3. ed. [S.l.]: [s.n.], 2008.
- BIOMED Researches. **Biomed Researches**, 2017. Disponível em: <http://www.biomedresearches.com/root/pages/researches/epilepsy/eeg_resources.html>. Acesso em: 26 Out 2017.
- CARR, J. J.; BROWN, J. M. **Introduction to Biomedical Equipment Technology**. [S.l.]: 4, 2001.
- CONCEITO. **Conceito**, 2017. Disponível em: <<https://conceito.de/sistema-nervoso>>. Acesso em: 31 Out 2017.
- COOPER, G. M. **A célula - uma abordagem molecular**. 3. ed. [S.l.]: [s.n.], 2007.
- EINSTEIN. **EINSTEIN**, 2017. Disponível em: <<https://www.einstein.br/especialidades/cardiologia/exames-tratamento/estudo-eletrofisiologic>>. Acesso em: 25 Out 2017.
- FEIJÓ. **Wikiciências**, 2017. Disponível em: <http://wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php/Potencial_de_Ac%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 26 Out 2017.
- GUYTON, A. C. **Fisiologia Humana**. 6. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1988.
- ICB. **ICB**, 2017. Disponível em: <<http://www.icb.usp.br/mol/9-19-organiz1.html>>. Acesso em: 23 Out 2017.
- INFOWESTER. **Infowester**, 2017. Disponível em: <<https://www.infowester.com/bluetooth.php>>. Acesso em: 31 Out 2017.
- JUNIOR, A. P. **Eletrônica Analógica: Amplificadores operacionais e filtros ativos**. 2. ed. [S.l.]: [s.n.], 2003.
- KHANDPUR, R. S. **Biomedical Instrumentation - Techonology and Applications**. 2. ed. New Delhi: [s.n.], 2003.
- LANDOWNE, D. **Fisiologia celular**. 1. ed. [S.l.]: [s.n.], 2007.
- LENT, R. **Cem bilhões de neurônios - conceitos fundamentais da Neurociência**. 1. ed. [S.l.]: [s.n.], 2010.

MEDIUM. **Medium**, 2017. Disponível em: <<https://medium.com/@rahul.goyl/what-are-brainwaves-brainwave-entrainment-deeper-states-of-meditation-d753eed8e59c>>. Acesso em: 30 Out 2017.

NCBI. **NCBI**, 2017. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16334737>>. Acesso em: 25 Out 2017.

NEUROLOGIA. **Neurologia**, 2017. Disponível em: <<http://www.neurologia.srv.br/eletroencefalograma-com-mapeamento>>. Acesso em: 27 Out 2017.

OPEN EEG. **OPENEEG**, 2017. Disponível em: <<http://openeeg.sourceforge.net/>>. Acesso em: 15 Out 2017.

PERTENCE, A. **Eletrônica Analógica: Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos**. 8. ed. Porto Alegre: [s.n.], 2015.

RAPPAPORT, T. S. **Comunicação sem Fio: Princípios e práticas**. 2. ed. [S.l.]: [s.n.], 2008.

ROCHA, J. A. et al. **Encefalo de OSBORN**. 1. ed. [S.l.]: [s.n.], 2014.

SEDRA, A. S.; SMITH, K. C. **Microeletrônica**. 5. ed. São Paulo: [s.n.], 2007.

SEMMLOW, J. L. **Signals and systems for bioengineers**. 2. ed. [S.l.]: [s.n.], 2011.

SILVA, C. **Biologia Cezar e Sezar**. [S.l.]: [s.n.], 1934.

SILVA, D. Bomba de sódio e potássio. **Estudo Prático**, 16 Abril 2017. Disponível em: <<http://www.estudopratico.com.br/bomba-de-sodio-e-potassio/>>. Acesso em: 17 abril 2017.

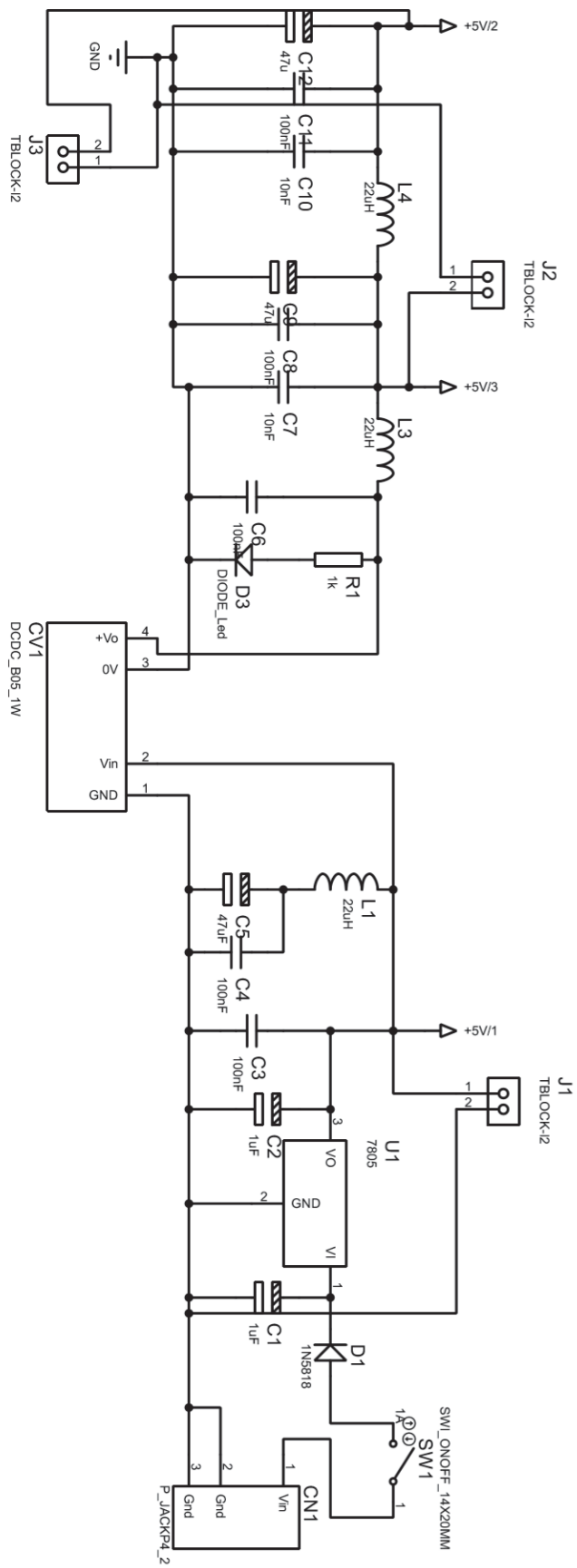
SILVA, N. E. **Eletroencefalography: Basic Principles, Clinical Applications and Related Fields**. 4. ed. [S.l.]: [s.n.], 1999.

SUPER Inteligente. **Superinteligente**, 2017. Disponível em: <<http://superinteligente.club/cerebro/>>. Acesso em: 24 Out 2017.

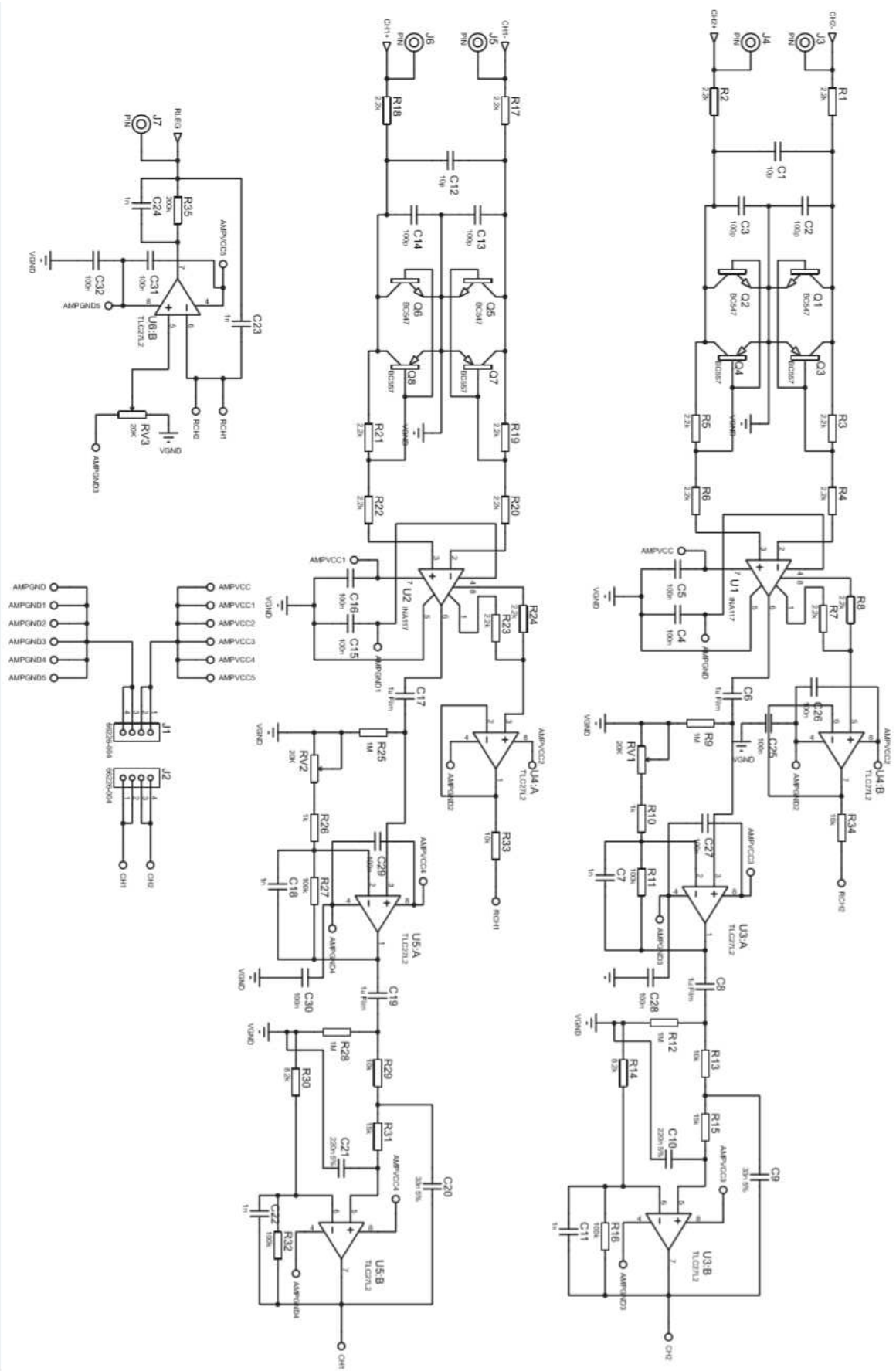
TELEMEDICINA Morsh. **Telemedicina Morsh**, 2017. Disponível em: <<http://telemedicinamorsch.com.br/blog/2016/05/por-que-regularizar-equipamentos-medicos/>>. Acesso em: 31 Out 2017.

YOUNG, P. H. **Técnicas de comunicação eletrônica**. 5. ed. [S.l.]: [s.n.], 2006.

ANEXO A – ESQUEMÁTICO FONTE DE ALIMENTAÇÃO



ANEXO B – ESQUEMÁTICO ELETRONECEFALÓGRAFO



ANEXO C – FIRMWARE

```
#include <BLEDevice.h>
#include <BLEServer.h>
#include <BLEUtils.h>
#include <BLE2902.h>
using namespace std;

#define SERVICE_UUID          "6E400001-B5A3-F393-E0A9-E50E24DCCA9E" //
UART service UUID
#define CHARACTERISTIC_UUID_RX "6E400002-B5A3-F393-E0A9-
E50E24DCCA9E"
#define CHARACTERISTIC_UUID_TX "6E400003-B5A3-F393-E0A9-
E50E24DCCA9E"
#define OVERFLOW_TIMER 1

int type_read = 0;
int pulse_sensor = 0;
int timer_buzzer = 0;
int timer_low_battery = 0;

String macAddr;
bool TransmitirEEG_ok = false;
bool Bluetoothcon = false;
const int Ch1pin = 34;
const int Ch2pin = 35;
int Ch1Value = 0;
int Ch2Value = 0;

BLECharacteristic *pCharacteristic;

void configuration_pins(){
    // pinMode(LED_POWER, OUTPUT);
    // digitalWrite(LED_POWER, HIGH);
}
```

```

class MyServerCallbacks: public BLEServerCallbacks {
    //TesteconexaoBluettoh
    void onConnect(BLEServer* pServer) {
        Bluetoothcon = true;
};

void onDisconnect(BLEServer* pServer) {
    Bluetoothcon = false;
}
};

class MyCallbacks: public BLECharacteristicCallbacks { // tread
    void onWrite(BLECharacteristic *pCharacteristic) {
        string rxValue = pCharacteristic->getValue();
        String value;
        if (rxValue.length() > 0) {
            Serial.println("*****");
            Serial.print("Valor recebido: ");
            Serial.println(rxValue.c_str());
            value = rxValue.c_str();
        }
    }
};

void transmit_data(){
    if(TransmitirEEG_ok == true){
        char txt_temp1[10]= "2:20";
        pCharacteristic->setValue(Ch1Value); // Setando o dado CH1
        pCharacteristic->notify(); // Enviando o dado CH1
        Serial.println(Ch1Value);
    }
}

```

```

    delay(100);
    pCharacteristic->setValue(Ch2Value); // Setando o dado CH2
    pCharacteristic->notify(); // Enviando o dado CH2
    Serial.println(Ch2Value);

    TransmitirEEG_ok = false;
    delay(100);
}
}

void setup_bluetooth(){
    // Criando o dispositivo BLE
    BLEDevice::init("EEG_bluetooth"); // Nome do dispositivo

    // Criando BLE servidor
    BLEServer *pServer = BLEDevice::createServer();
    pServer->setCallbacks(new MyServerCallbacks());
    BLEService *pService = pServer->createService(SERVICE_UUID);

    // Criando BLE características
    pCharacteristic = pService->createCharacteristic(
        CHARACTERISTIC_UUID_TX,
        BLECharacteristic::PROPERTY_NOTIFY
    );

    pCharacteristic->addDescriptor(new BLE2902());

    BLECharacteristic *pCharacteristic = pService->createCharacteristic(
        CHARACTERISTIC_UUID_RX,
        BLECharacteristic::PROPERTY_WRITE
    );

    pCharacteristic->setCallbacks(new MyCallbacks());

```

```
// Start no dispositivo
pService->start();

// Start advertising
pServer->getAdvertising()->start();
macAddr = BLEDevice::getAddress().toString().c_str(); //Endereço MAC unico, caso
necessário.
Serial.println(macAddr);
Serial.println("Waiting a client connection to notify...");
}

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  configuration_pins(); // Configuração de pinos caso necessário
  setup_bluetooth();
}

void loop() {
  Ch1Value = analogRead(Ch1pin);
  Ch2Value = analogRead(Ch2pin);
  transmit_data(); //Transmitir dado
}
```

ANEXO D – TERMO DE COMPROMISSO

TERMO DE COMPROMISSO, DE CONFIDENCIALIDADE DE DADOS E ENVIO DO RELATÓRIO FINAL


Eu, **Prof. Dr. Eduardo Giometti Bertogna**, pesquisador (es/as) responsável (is) pelo projeto de pesquisa intitulado **Eletroencefalógrafo de dois canais com transmissão de sinal bluetooth analisado via Labview** comprometo-me a dar início a este estudo somente após apreciação e aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná e registro de aprovado na Plataforma Brasil.

Com relação à coleta de dados da pesquisa, nós pesquisadores, abaixo firmados, asseguramos que o caráter anônimo dos dados coletados nesta pesquisa será mantido e que suas identidades serão protegidas.

Eu, como professor (a) orientador (a), declaro que este projeto de pesquisa, sob minha responsabilidade, será desenvolvido pelo(s) aluno(s) **Felipe Borino Giroldo** do curso de **Engenharia eletrônica**

Declaro, também, que li e entendi a Resolução 466/2012 (CNS) responsabilizando-me pelo andamento, realização e conclusão deste projeto e comprometendo-me a enviar ao CEP/UTFPR, relatório do projeto em tela quando da sua conclusão, ou a qualquer momento, se o estudo for interrompido.

Local, 28 de setembro de 2018



Dr. Eduardo Giometti Bertogna



Felipe Borino Giroldo

ANEXO E – TCLE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Título da pesquisa: Eletroencefalógrafo de dois canais com transmissão de sinal *bluetooth* analisado via *labview*.

Pesquisador(es/as) ou outro (a) profissional responsável pela pesquisa, com Endereços e Telefones: Dr. Eduardo Giometti Bertogna
*Rua Tony Nishimura 36b Parque das Acácias. Campo Mourão – Paraná.
(44) 9 9776 6569.*

Local de realização da pesquisa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campo Mourão.

Endereço, telefone do local: R. Rosalina Maria Ferreira, 1233 - Vila Guarujá, Campo Mourão - PR, 87301-899. (44) 3518 1400.

A) INFORMAÇÕES AO PARTICIPANTE

Você está sendo convidado para a participação de pesquisa sobre o uso do aparelho eletromédico Eletroencefalógrafo com finalidade de aquisição do sinal biológico cerebral.

1. Apresentação da pesquisa.

O estudo é referente ao funcionamento do aparelho eletromédico Eletroencefalógrafo com intuito de analisar as particularidades físicas do mesmo.

2. Objetivos da pesquisa.

O objetivo é aprovar a funcionalidade do aparelho eletromédico desenvolvido com recursos reduzidos e com maior segurança.

3. Participação na pesquisa.

Na pesquisa se dá o procedimento de coleta do sinal biológico cerebral humano através do aparelho Eletroencefalógrafo desenvolvido pelo pesquisador.

Os procedimentos seguirão da seguinte forma:

- Condicionamento da coleta;
- Fixação dos eletrodos no couro cabeludo do paciente através de fitas elásticas;
- Coleta temporal dos sinais adquiridos;
- Armazenamento dos dados obtidos;
- Remoção dos eletrodos fixados;

O procedimento poderá ser repetido conforme o resultado do primeiro teste, isso será feito com intuito de reavaliação dos sinais obtidos. Todo procedimento não ultrapassará o tempo de dois minutos.

4. Confidencialidade.

Todos os dados obtidos serão confidenciais ao pesquisador respeitando a privacidade do paciente sem exposição das informações obtidas.

5. Riscos e Benefícios.

5a) Riscos:



Felipe Girardo

Rubrica do Pesquisador Rubrica do participante da pesquisa

Os riscos da coleta de dados são de manuseio do aparelho tais como: micro choques derivados de corrente de fuga ou de componentes com defeito, desconforto devido a temperatura do eletrodo por ter materiais metálicos.

Os riscos de micro choques são minimizados pela presença de aterramento por toda placa de circuito impresso, fazendo com que se uma possível descarga de energia ocorra ela será direcionada para o mesmo aterramento. Se ainda assim houver o participante da pesquisa tomar o micro choque, as medidas serão: Desligamento da fonte de energia do circuito eletrônico, remoção do contato do aparelho com o participante da pesquisa e um possível encaminhamento médico a unidade de saúde mais próxima.

5b) Benefícios:

Os benefício da pesquisa é o desenvolvimento do aparelho com grande segurança, devido a sua particularidade de construção, tendo assim transmissão de sinal por bluetooth e conexão de energia isolados e por baterias.

6. Critérios de inclusão e exclusão.

6a) Inclusão: Os testes serão realizados no autor do projeto.

6b) Exclusão: Não se aplica.

7. Direito de sair da pesquisa e a esclarecimentos durante o processo.

É totalmente permitido ao paciente deixar de participar das pesquisas a qualquer momento, necessitando apenas o aviso ao pesquisador e envolvidos na pesquisa.

A todo momento o paciente pode requisitar esclarecimentos do pesquisador sobre todo o processo de pesquisa, sanando assim as dúvidas do mesmo.

Você pode assinalar o campo a seguir, para receber o resultado desta pesquisa, caso seja de seu interesse :

quero receber os resultados da pesquisa (email para envio : *gualdo@aluno.utfpr.edu.br*)

não quero receber os resultados da pesquisa

8. Ressarcimento e indenização.

Todos os testes serão realizados na UTFPR - CM. Você não será remunerado por participar desta pesquisa, porém se houver custos com transporte até o local da pesquisa você será ressarcido. Caso ocorram perdas ou danos comprovadamente decorrentes de sua participação da pesquisa, indenizações podem ocorrer como previsto na resolução 466 / 2012.

ESCLARECIMENTOS SOBRE O COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA:

O Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos (CEP) é constituído por uma equipe de profissionais com formação multidisciplinar que está trabalhando para assegurar o respeito aos seus direitos como participante de pesquisa. Ele tem por objetivo avaliar se a pesquisa foi planejada e se será executada de forma ética. Se você considerar que a pesquisa não está sendo realizada da forma como você foi informado ou que você está sendo prejudicado de alguma forma, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR). **Endereço:** Av. Sete de Setembro, 3165, Bloco N, Térreo, Bairro Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR, **Telefone:** (41) 3310-4494, **e-mail:** coep@utfpr.edu.br.

B) CONSENTIMENTO



Rubrica do Pesquisador Rubrica do participante da pesquisa

Eu declaro ter conhecimento das informações contidas neste documento e ter recebido respostas claras às minhas questões a propósito da minha participação direta (ou indireta) na pesquisa e, adicionalmente, declaro ter compreendido o objetivo, a natureza, os riscos, benefícios, ressarcimento e indenização relacionados a este estudo.

Após reflexão e um tempo razoável, eu decidi, livre e voluntariamente, participar deste estudo. Estou consciente que posso deixar o projeto a qualquer momento, sem nenhum prejuízo.

Nome Completo: Felipe Borivo Giraldo
RG: 16.512.216-0 Data de Nascimento: 15/12/95 Telefone: 49.939256141
Endereço: AV. Manoel M. de Carvalho
CEP: 87302-000 Cidade: Campo Mourão Estado: PR
Assinatura: Felipe Giraldo Data: 11/11/2019

Eu declaro ter apresentado o estudo, explicado seus objetivos, natureza, riscos e benefícios e ter respondido da melhor forma possível às questões formuladas.

Nome completo: Eduardo Giometti Berboina
Assinatura pesquisador (a): [assinatura] Data: 11/11/2019
(ou seu representante)

Para todas as questões relativas ao estudo ou para se retirar do mesmo, poderão se comunicar com _____, via e-mail: _____ ou telefone: _____.

Contato do Comitê de Ética em Pesquisa que envolve seres humanos para denúncia, recurso ou reclamações do participante pesquisado:

Comitê de Ética em Pesquisa que envolve seres humanos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR)

Endereço: Av. Sete de Setembro, 3165, Bloco N, Térreo, Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR, **Telefone:** 3310-4494, **E-mail:** coep@utfpr.edu.br

[assinatura] Felipe Giraldo
Rubrica do Pesquisador Rubrica do participante da pesquisa