

Módulo de aquisição e condicionamento de sinais provenientes da atividade elétrica exercida pelo globo ocular

Module for the acquisition and conditioning of signals arising from the electrical activity exercised by the eye globe

Alex de Souza Bueno¹, Rafael Eidi Goto², Felipe Favaro Capeleti²,
Leandro Zeidan Toqueti¹, Leandro Nobeschi²

Resumo

Introdução: O estudo sobre a aquisição e condicionamento do sinal de eletro-oculografia, sinal de origem biológica, emitido pela diferença de potencial entre a córnea e a retina apresenta uma forte aplicação de tecnologia relacionada ao tecido biológico. O movimento do globo ocular faz com que seja gerado um sinal de baixa intensidade na casa dos micro-volts, este sinal passa por alguns estágios de amplificação e é lançado em uma plataforma para averiguação dos dados analógicos de entrada. O sistema é composto de materiais de fácil acesso, contendo o básico para realizar a aquisição do sinal de oculografia, para a montagem foi necessário o uso de eletrodos (padrão ECG), cabos de conexão que vão ser plugados nos eletrodos, um sistema de aquisição e pré-amplificação, utilizou-se o módulo AD620, foi necessário também um outro estágio de amplificação nesse caso utilizou-se um circuito integrado INA121, o sinal amplificado é direcionado para a placa arduino responsável pelo tratamento dos dados analógicos e digitais. **Objetivo:** aplicar futuramente a técnica em algum equipamento já existente, como cadeira de rodas, camas hospitalares, dentre outros. **Método:** Compilamos informações sobre tecnologias existentes, relacionada a componentes eletrônicos ou plataformas programáveis já inseridas no mercado, capazes de capturar o sinal de entrada do sistema, posteriormente seu condicionamento e por fim o sinal de saída amplificado. **Re-**

sultados: podemos constatar que notoriamente é um sinal de baixíssima amplitude e que ao tentar visualiza-lo somente com um estágio de amplificação torna-se quase impossível, enxerga-se pequenas ondulações, mas sem intensidade, somente após o segundo estágio de elevação o sinal mostra-se mais visível e mais plausível de ser calculado. **Conclusão:** O sinal obtido nos testes revela a possibilidade de condicioná-los mais adequadamente e aplicar em trabalhos futuros.

Palavras chave: Tecnologia assistiva, Eletroculografia, Amplificadores eletrônicos, Tecnologia

Abstract

Introduction: The study on the acquisition and conditioning of the electro-oculography signal, a signal of biological origin, emitted by the potential difference between the cornea and the retina presents a strong application of technology related to biological tissue. The movement of the eyeball causes a low intensity signal in the range of micro-volts to be generated, this signal passes through some amplification stages and is launched on a platform for verification of the input analog data. The system is composed of easily accessible materials, containing the basics to perform the acquisition of the oculography signal, for the assembly it was necessary to use electrodes (ECG standard), connection cables that will be plugged into the electrodes, an acquisition system and pre-amplification, the AD620 module was used, another amplification stage was also necessary, in this case an INA121 integrated circuit was used, the amplified signal is directed to the Arduino board responsible for processing the analog and digital data. **Objective:** to apply the technique in the future to some existing equipment, such as wheelchairs, hospital beds, among others. **Method:** We compile information on existing technologies, related to electronic components or programmable platforms already on the market, capable of capturing the input signal of the system, later its conditioning and finally the amplified output signal. **Results:** we can see that it is notoriously a very low amplitude signal and that when trying to visualize

1. Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo. Curso de Graduação em Tecnologia em Sistemas Biomédicos. São Paulo – SP – Brasil

2. Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo. Cursos de Graduação em Tecnologia em Radiologia e Sistemas Biomédicos. São Paulo – SP – Brasil

Trabalho realizado: Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo. Cursos de Graduação em Tecnologia em Radiologia e Sistemas Biomédicos. São Paulo – SP – Brasil

Endereço para correspondência: Leandro Nobeschi. Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo, Diretoria de Cursos Tecnológicos. Rua Dr. Cesário Mota Jr, 61 – 12º andar – 01221-020 - Vila Buarque – São Paulo – SP. E-mail: ln.nobeschi@gmail.com

it with only one amplification stage it becomes almost impossible, small ripples are seen but without intensity, only after the second elevation stage does the signal show more visible and more plausible to calculate. It is also observed the importance that the instrumentation amplifier has in relation to the low intensity signal. Conclusion: The signal obtained in the tests reveals the possibility of conditioning them more adequately and applying it in future works.

Keywords: Assistive technology, Electrooculography, Electronic amplifier, Technology

Introdução

O corpo humano possui uma infinidade de células, cada uma com sua função específica, mas há algo em comum entre elas, os sinais biológicos que cada estrutura celular emite, ainda que com uma intensidade baixa na ordem de microvolts dependendo da origem da aquisição, é possível nos dias de hoje com toda a evolução tecnológica, amplificar esse sinal analógico, converter em sinal digital e exibir o espectro em uma tela, para que esses, sejam comparados a parâmetros padrões pré-estabelecidos. Sinais como o de eletrocardiograma (ECG), sinais emitidos pela atividade cardíaca, eletroencefalograma (EEG), oriundo dos sinais elétricos cerebrais e nervoso da região da cabeça, temos ainda o eletromiograma (EMG) e eletro-oculograma (EOG), sinais captados respectivamente pela atividade das células musculares e pela movimentação dos olhos, dentre variados outros sinais obtidos da atividade biológica celular⁽¹⁾.

Os sinais mais conhecidos no âmbito médico são os sinais advindos do coração (ECG) e os sinais cerebrais (EEG), o que é pouco conhecido é que todo nosso globo ocular também gera sinais elétricos exercendo uma diferença de potencial a partir dos movimentos gerados por ele mesmo (EOG). Basicamente a parte anterior do globo ocular onde se encontra a córnea é mais positiva do que a parcela posterior onde é localizada a retina, resumindo a estrutura ocular é um dipolo denominado córneo-retinal, na qual o potencial varia conforme sua movimentação⁽²⁾.

Existem alguns tipos de movimentos que podem ser captados durante o experimento, alterações ao piscar dos olhos, tremores das pálpebras, movimentos diagonais, movimentos de sacada (movimentos rápidos com velocidades entre 100° a 500°s^{-1}), interferências neurais e musculares também podem surgir como artefato, a amplitude de sensibilidade entre os eletrodos variam entre $10\mu\text{V}$ a 5mV , necessariamente deve-se usar eletrodos do tipo Ag/AgCl (mais adiante serão analisados os diferentes tipos de eletrodos) e limpeza do local onde será aplicado é de suma importância para a aquisição dos sinais de baixo potencial⁽³⁾.

Qualquer sinal proveniente de um ser vivo é denominado como sinal bioelétrico ou biosinal, para que seja possível visualizar o espectro desse sinal é necessário que ele seja amplificado, para isso, existem alguns componentes eletrônicos que auxiliam no processo de aquisição e condicionamento do sinal de entrada, como por exemplo os amplificadores operacionais. Os mais conhecidos para os sinais bioelétricos são os amplificadores de instrumentação da Texas Instruments®, componentes da família INA (*instrumentation amplifier*) são os mais utilizados. Para os sinais de EOG é necessária uma configuração de ganho elevado e resposta em baixa frequência⁽⁴⁾.

Em suma, o estudo de aquisição e condicionamento dos sinais de EOG vão muito além de somente obter diagnósticos referente aos parâmetros de normalidade, é possível hoje usar esse sinal para infinitas aplicabilidades, tais como teclado virtual, cadeira de rodas, aplicações em realidade virtual, todas usando sinais amplificados dessas estrutura biológica, pode-se então, aprofundar futuramente em alguma aplicação do gênero e assim inovar cada vez mais a área⁽⁵⁾.

Objetivo

O objetivo do nosso trabalho foi iniciar estudos para a implementação de um hardware de aquisição e condicionamento dos sinais biológicos emitidos pela movimentação dos olhos, conhecido como eletro-oculografia (EOG) através de uma revisão bibliográfica sobre sistemas de aquisição e condicionamento de sinais.

Método

Os materiais utilizados nesse experimento são acessíveis e de baixo custo. Para a obtenção dos primeiros sinais como premissa de um projeto que possa estar evoluindo com sistemas embarcados futuramente, melhorando ainda mais a eficiência e precisão, estes citados abaixo são os materiais básicos para se extrair algum dado biológico do corpo humano.

Começando pelo eletrodo, optou-se usar o eletrodo de prata/cloreto de prata, por ser usado na maioria dos equipamentos médicos como meio de conseguir realizar a captação de sinal e também pelo seu baixo custo e fácil obtenção podendo ser encontrado em qualquer loja especializada em material médico e afins. Para esse projeto foi usado alguns eletrodos infantis, por terem uma área de contato maior com gel eletrólito e por possuírem uma área adesiva menor, deixando-os mais otimizados na face.

Novamente para não fugir de modelos já existentes e que sejam mais fáceis de ser encontrados, optou-se por usar cabos padrão de ECG do tipo plugue, onde se encaixa facilmente ao eletrodo mostrado acima.



Figura 1 - Eletrodo de prata/cloreto de prata. Comparação de tamanho entre os eletrodos. Fonte: próprio autor.



Figura 2 - Cabos padrão para ECG, tipo plugue. Fonte: próprio autor.

Durante a pesquisa foi escolhido o módulo de aquisição e pré-amplificação AD620, este módulo permite que o sinal seja adquirido e pré-amplificado, é de fácil montagem e entendimento.

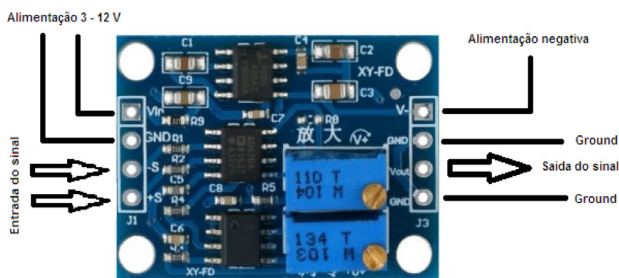


Figura 3 - Módulo de aquisição e pré-amplificação AD620. Fonte: Adaptado de tdelectronica.com/wp-content/uploads/2020/06/AD620_1.png⁽⁶⁾

Esse módulo é constituído de 2 circuitos integrados além do amplificador de instrumentação AD620 responsável pela amplificação do sinal propriamente dito, além do circuito integrado 7660 responsável pela inversão da tensão de entrada e do circuito integrado LM358 agindo como seguidor de tensão para a saída do amplificador AD620, é munido também de 2 potenciômetros trimpots verticais que tem como função o ajuste de offset e de ganho do sinal.

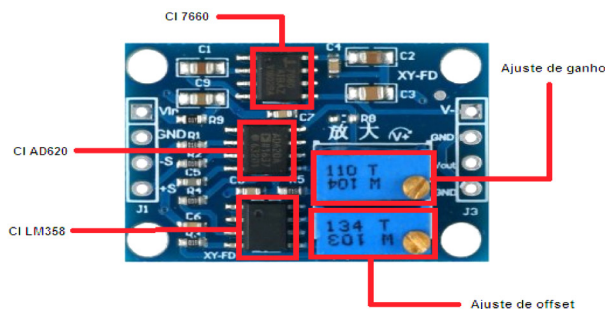


Figura 4 - Módulo AD620 e seus componentes principais. Fonte: Adaptado de tdelectronica.com/wp-content/uploads/2020/06/AD620_1.png⁽⁶⁾

Para dar início dos testes, foi utilizado alguns itens de que são necessários para interligar os componentes, destacando os cabos jumpers (fios com conectores metálicos que interligam os componentes) e a protoboard (placa de prototipagem perfurada usada em inícios de projetos eletrônicos).

Na placa está fixado outro circuito integrado responsável pela amplificação do sinal de saída do módulo AD620, para o ajuste do sinal nesse estágio foi utilizado um potenciômetro linear de 5k Ω .

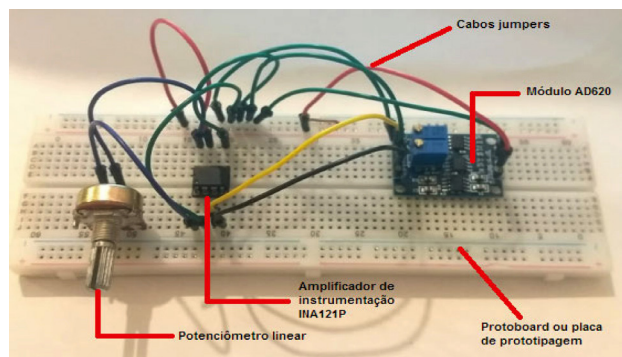


Figura 5 - Componentes eletrônicos e de interligação. Fonte: próprio autor.

Para plotagem do sinal, foi necessário lançar mão de uma plataforma livre que leia os sinais tratados e dê condições para que sejam aplicados, nesse caso utilizou-se a próprio ambiente de programação do arduino que é munido de algumas ferramentas, uma plataforma simples, didática e de fácil manuseio.

A plataforma programável Arduino será utilizada como coletora dos dados e controle condicional dos movimentos do globo ocular e por enquanto a fonte de alimentação de todo o sistema, o sinal biológico é de natureza analógica, ao conhecer a capacidade que o Arduino tem para reconhecer o sinal, é sabido que entradas e saídas não podem ultrapassar 5 volts, e sabe-se que a plataforma por padrão possui um conversor analógico-digital de 10 bits que corresponde a uma saída digital binária de 2¹⁰, pode-se dizer que

há um espaço com 1023 possibilidades dentro de seu processamento. Ao relacionar 5 volts permitidos na entrada analógica com o espaço permitido de possibilidades que são 1023, consegue-se estabelecer um valor dividindo 5 volts por 1023, tem-se o valor de aproximadamente 4,8 mili-volts. Tendo essa informação nítida, parte-se para um ganho maior que esse valor obtenha um melhor controle diante da dificuldade de amplificar sinais de baixa intensidade que é o caso do sinal de EOG.

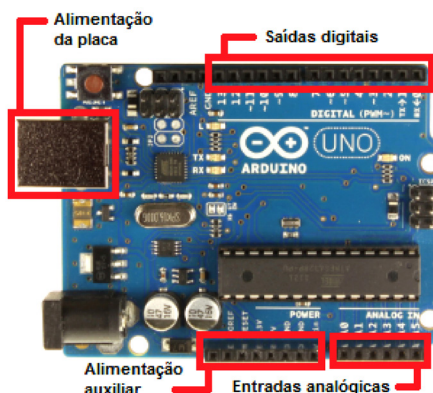


Figura 6 - Plataforma de programação arduino e suas principais conexões. Fonte: Adaptado de www.contatopro.com.br/electronica/arduino-uno-r3-smd⁽⁷⁾

Na saída digital será interligado um módulo relé de 4 canais, na qual usará somente 3, um possível teste de como aplicar o sinal, a saída deste módulo que são os contatos NA e NF podem ser comutados de acordo com a programação realizada e de acordo com o range de 0 a 1023 já citado anteriormente, pode-se dizer que com a ajuda da programação há a possibilidade de condicionar esses valores para que assumam comandos específicos (vide apêndice).

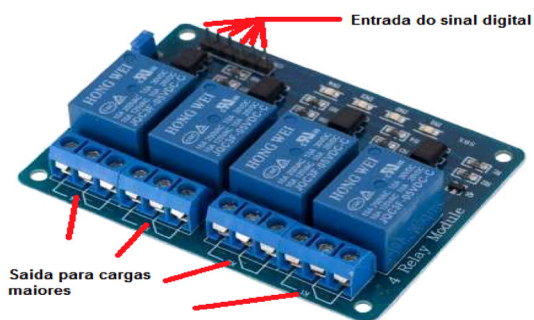


Figura 7 - Módulo relé de 4 canais. Fonte: Adaptado de www.eletronicacastro.com.br/componentes-eletronicos⁽⁸⁾

Os materiais apresentados são basicamente o que se precisa para ter algum resultado no que diz respeito a sinais biológicos, o subtítulo a seguir será mostrado os resultados obtidos com esse layout de projeto.

Interligando todos os itens do sistema, iniciando

pelo módulo de pré-amplificação AD620, é alimentado pela porta de 5 volts e ground da conexão de alimentação auxiliar da placa arduino, conecta-se os cabos com os eletrodos nas suas respectivas posições, cabo branco lado direito, cabo preto lado esquerdo e cabo marrom região frontal da cabeça.

Na saída do módulo AD620, é ligada na entrada não inversora do amplificador INA121 (pino 3), este, é alimentado (pino 7) também pelos 5 volts oferecidos pela saída auxiliar do arduino e a alimentação negativa (pino 4) é drenada do pino de inversão de tensão do módulo AD620, ainda no amplificador INA coloca-se os pinos 5 e 2 (entrada inversora do amplificador) em *ground* ou na mesma referência que é também chamado de terra, os pinos 8 e 1 são interligados ao potenciômetro linear responsável pelo ganho do sinal e restando somente o pino 6 que mostrará o sinal de saída já amplificado.

O sinal de saída é interligado à porta A0 (porta analógica) do arduino, daí em diante o sinal será mostrado em um gráfico gerado pela própria plataforma de programação do arduino. O sinal, posteriormente ao seu condicionamento pela programação realizada, será direcionado para as portas digitais 8, 9 e 10, afim de acionar as bobinas do módulo relé, comutando o contato interno e acionando a saída com uma carga qualquer, podendo ser uma lâmpada ou um motor, dentre outros dispositivos atuadores.

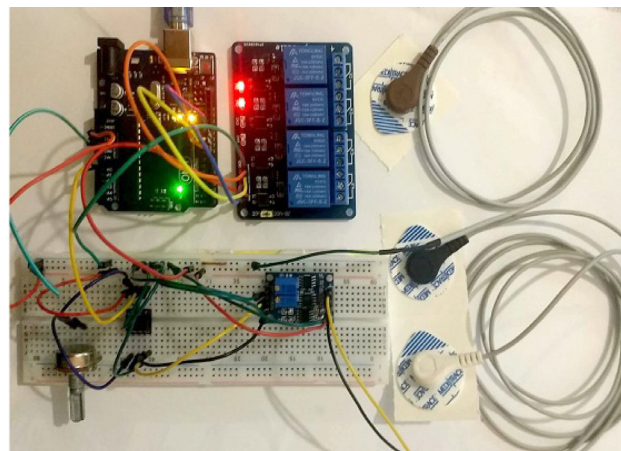


Figura 8 - Sistema completo, com todos os módulos e componentes interligados. Fonte: próprio autor.

Resultados

Diante da proposta de implementar um sistema na qual há a possibilidade de captura do sinal oculo-gráfico, posteriormente seu tratamento e uma possível aplicação, os dados a seguir revelam essa realidade.

Ao submeter o movimento dos olhos para a direita compreende-se um sinal positivo em relação ao estado de repouso, ou seja, quando se está olhando para



Figura 9 - Sinal positivo ao olhar para a direita.

frente e nenhum movimento é realizado, rejeitando obviamente as interferências ocasionadas por interferências de qualquer natureza física, sendo visíveis em todos os ensaios.

Nesse caso o valor da tensão de offset está na posição 450 aproximadamente, descartando o ruído existente proveniente de interferências externas, essa posição exibe o momento em que se está olhando para frente.

$$X \cong \frac{5 \text{ Volts} \times 450}{1023} \cong 2,19 \text{ Volts}$$

Nota-se que o valor na crista da onda chegando a quase 750, este valor corresponde ao range de 1023 posições que a entrada analógica permite, sendo que quando atingimos o valor 1023 enxerga-se uma amplitude de 5 volts e quando exibe o valor 0, obviamente obtém-se 0 volts. Ao fazer uma simples relação entre os valores, pode-se obter o valor da tensão nesse pico.

$$X \cong \frac{5 \text{ Volts} \times 750}{1023} \cong 3,66 \text{ Volts}$$

Com isso observa-se que houve uma elevação de amplitude no valor de 1,46 Volts. Pode-se ainda calcular o ganho do amplificador através da Equação 2, extraída do próprio manual técnico do componente.

$$V_o = G \times (V_{in}^+ - V_{in}^-)$$

$$1,46 = G \times (0,2 - 0)$$

$$G = \frac{1,46}{0,2} = 7,3$$

A saída do módulo AD620 teve uma amplitude no valor de 0,2 volts, conseqüentemente a entrada do amplificador INA foi exatamente esse mesmo valor sendo amplificada 7,3 vezes seu valor. Levando em consideração a amplitude típica do sinal oculográfico que é de aproximadamente 300 μv , pôde-se obter o ganho da pré-amplificação realizada pelo módulo AD620.

$$0,2 = G \times (0,0003 - 0)$$

$$G = \frac{0,2}{0,0003} \cong 667$$

Entende-se com esse resultado que a pré-amplificação gerou um ganho de aproximadamente 667 vezes o sinal puro da entrada, esse valor foi fixado para todos os ensaios.

Nesse caso é observado que a tensão de offset está na faixa de 400, o que remete a mesma relação realizada na situação anterior.

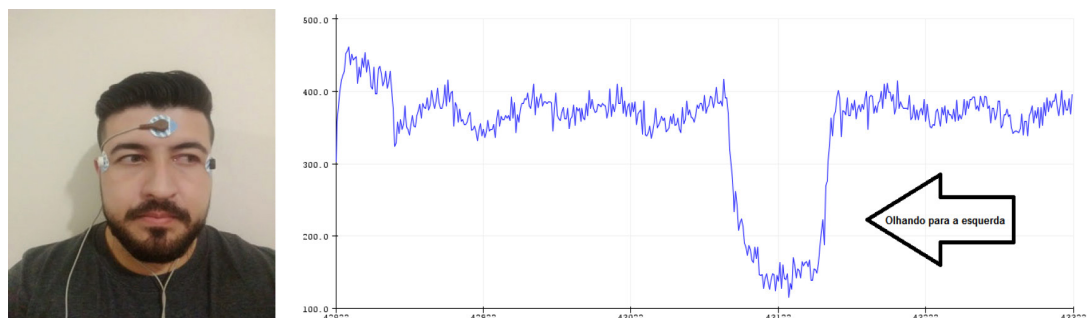


Figura 10 - Sinal negativo ao olhar para a esquerda.

$$X \cong \frac{5 \text{ Volts} \times 400}{1023} \cong 1,95 \text{ Volts}$$

Nota-se que agora o sinal tem um comportamento inverso a primeira situação. O valor chega a aproximadamente 120.

$$X \cong \frac{5 \text{ Volts} \times 120}{1023} \cong 0,58 \text{ Volts}$$

Observa-se que a amplitude desse sinal teve uma diferença de 1,37 volts, calculando o ganho desse potencial obteve-se:

$$1,37 = G \times (0,2 - 0)$$

$$G = \frac{1,37}{0,2} = 6,85$$

Assim constata-se que houve um ganho de 6,85 vezes o valor de entrada.

Para esse ensaio, nota-se que o valor de offset se situa em aproximadamente 500, ao calcular a relação com a tensão tem-se:

$$X \cong \frac{5 \text{ Volts} \times 500}{1023} \cong 2,44 \text{ Volts}$$

Ao inspecionar o traçado, se observa que o sinal novamente torna-se positivo, chegando a mais ou menos o valor de 800. Calculando a tensão alcançada tem-se.

$$X \cong \frac{5 \text{ Volts} \times 800}{1023} \cong 3,91 \text{ Volts}$$

O valor da amplitude relacionando o valor de offset e o valor de pico alcançado no teste foi de 1,47 volts.

$$1,47 = G \times (0,2 - 0)$$

$$G = \frac{1,47}{0,2} = 7,35$$

Desta maneira, constata-se um ganho de 7,35 vezes o valor de entrada referente ao módulo AD620.

Por fim, o último ensaio, trazendo o movimento dos olhos para baixo, assim como mencionado nos estudos supracitados, o cálculo de offset fixado em aproximadamente 500 tem com resultado o valor de:

$$X \cong \frac{5 \text{ Volts} \times 500}{1023} \cong 2,44 \text{ Volts}$$

O valor aproximado do pico gerado pelo movimento do olho para baixo ficou em torno de 100, para tanto se tem o valor de:

$$X \cong \frac{5 \text{ Volts} \times 100}{1023} \cong 0,48 \text{ Volts}$$

Para esse teste, obteve-se uma diferença de 1,96 Volts, calculando seu ganho em relação a entrada.

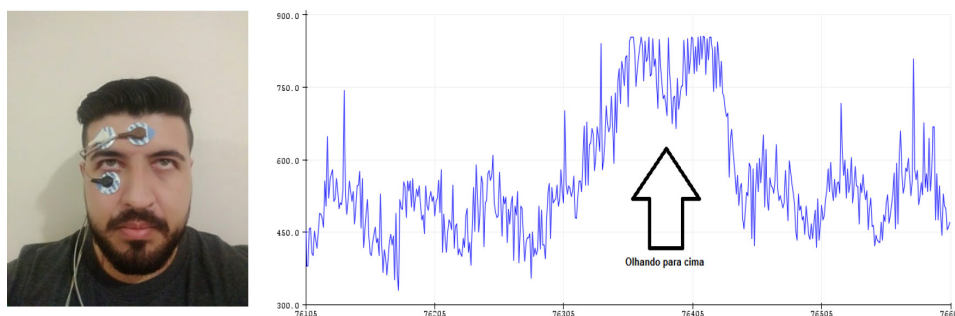


Figura 11 - Sinal positivo ao olhar para cima.

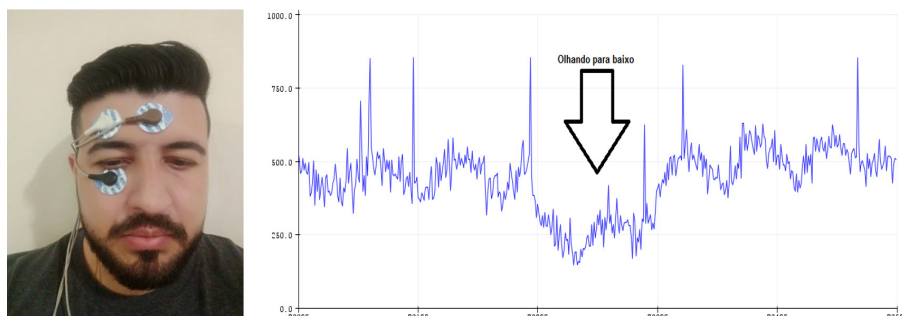


Figura 12 - Sinal negativo ao olhar para baixo.

$$1,96 = G \times (0,2 - 0)$$

$$G = \frac{1,96}{0,2} = 9,8$$

Por fim, o sinal com magnitude de 1,96 Volts, teve um ganho de 9,8 vezes seu sinal de entrada.

No decorrer das pesquisas, muitas informações foram fazendo sentido desde os estudos mais superficiais até os mais abrangentes, onde realmente mostra a realidade e dificuldade na realização da aquisição de tais sinais, diante da literatura revisada, pôde-se constatar que notoriamente é um sinal de baixíssima amplitude e que ao tentar visualiza-lo somente com um estágio de amplificação torna-se quase impossível, enxerga-se pequenas ondulações mas sem intensidade, somente após o segundo estágio de elevação o sinal mostra-se mais visível e mais plausível de ser calculado. Observa-se também a importância que o amplificador de instrumentação tem em relação ao sinal de baixa intensidade.

Em suma, a pesquisa teve forte influência nos resultados obtidos, sendo fidedigna nos assuntos pertinentes ao tema, o que não o torna mais simples ou menos complexo.

Conclusão

De acordo com a proposta objetivada neste trabalho, a maior dificuldade foi entender como realmente o sinal é transmitido e como é minuciosamente tratado de acordo com as ideias formadas com relação a fisiologia humana, acrescentando a tecnologia embarcada torna-se ainda mais misteriosa essa ideia de que o corpo produz energia capaz de movimentar um motor ou ligar algum tipo de equipamento, tornar a vida de uma pessoa com limitações físicas ou motoras mais facilitada, é o foco de continuidade desse projeto.

O sinal obtido nos testes revela a possibilidade de condicioná-los mais adequadamente e aplicar em trabalhos futuros, melhorar a arquitetura de cada bloco incrementar mais tecnologia afim de torná-lo livre de qualquer interferência externa, motivo esse que pode estar causando as falhas na saída digital para o atuador.

Contribuição dos Autores: Os autores contribuíram de todas as etapas do artigo.

Conflito de interesses: Os autores declaram que não há conflito de interesses.

Referências

1. Santana MB, Nascimento AA, Santos LB. Sistema de aquisição de sinais de EMG e ECG para dispositivos Android. In: 3º Seminário de Tecnologias Aplicadas em Educação e Saúde. 2017; Salvador. Anais. Salvador: Universidade do Estado da Bahia; 2017. p.1-9.
2. Joseph W, Vermeeren G, Verloock L, Martens L. Estimation of whole-body SAR from electromagnetic fields using personal exposure meters. *Bioelectromagnetics*. 2010; 31(4):286-95.
3. Ruiz MEC. Estudo de filtros adaptativos para a remoção de artefatos de EOG em sinais de EEG. Dissertação (Mestrado). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 1999.
4. Garcia AF, Silva PT, Masselli YMC. Avaliação de amplificadores de instrumentação para sinais de aquisição de sinais bioelétricos. [Santa Rita do Sapucaí]: Instituto Nacional de Telecomunicações; 2010.
5. Ikeda A. Tecnologia substitui mouse e teclado pelos olhos no comando do PC. In: CEBIT - Feira Internacional de Tecnologia de Informação, Telecomunicações, Software e Serviços. [Internet]. 2010; Hanover, Alemanha. [citado 2021 Set 19]. Disponível em: <https://tecnologia.uol.com.br/especiais/cebit/ultimas-noticias/2010/03/02/tecnologia-mouse-e-teclado-pelos-olhos-no-comando-do-pc.jhtm#:~:text=Na%20interface%20do%20Tobii%2C%20ficam,%22%C3%89%20uma%20tecnologia%20vers%C3%A1til>.
6. TdElectronica. Módulo AD620. [Internet]. [citado 2021 Set 19]. Disponível em: tdelectronica.com/wp-content/uploads/2020/06/AD620_1.png
7. Contato PRO. [citado 2021 Set 19]. Plataforma de programação Arduino. [Internet]. [citado 2021 Set 19]. Disponível em: <https://www.contatopro.com.br/loja/loja.php?loja=947485>
8. Eletrônica Castro. Módulo relé de 4 canais. [Internet]. [citado 2021 Set 19]. Disponível em: www.eletronicacastro.com.br/componentes-eletronicos

Trabalho recebido: 20/12/2021

Trabalho aprovado: 26/07/2022

Trabalho publicado: 27/07/2022

Editor Responsável: Prof. Dr. Eitan Naaman Berezin (Editor Chefe)