



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

NAYANA LETÍCIA DE MORAIS VIANA

**ESTUDO DE BIOPOTENCIAIS E IMPLEMENTAÇÃO DE UM
ELETROOCULOGRAMA**

CARAÚBAS – RN

2014

NAYANA LETÍCIA DE MORAIS VIANA

**ESTUDO DE BIOPOTENCIAIS E IMPLEMENTAÇÃO DE UM
ELETROOCULOGRAMA**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como exigência final para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: M. Sc. Francisco de Assis Brito Filho – UFERSA.

CARAÚBAS – RN

2014

O Conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade de seus autores



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Campus Caraúbas (BCC)

V614e Viana, Nayana Letícia de Moraes.

Estudo de biopotenciais e implementação de um eletrooculograma
/ Nayana Letícia de Moraes Viana - Caraúbas, RN, 2014.
59f. : il.

Orientador: Prof. M. Sc. Francisco de Assis Brito Filho.

Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade
Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Graduação.

1. Engenharia Ótica. 2. Biopotencial. 3. Eletrooculograma.
I. Título.

RN/UFERSA/BCC

CDD: 621.36

Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB-15/700

NAYANA LETÍCIA DE MORAIS VIANA

**ESTUDO DE BIOPOTENCIAIS E IMPLEMENTAÇÃO DE UM
ELETROOCULOGAMA**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como exigência final para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Francisco de Assis Brito Filho – UFERSA.

APROVADO EM: 05 / 08 / 2014

BANCA EXAMINADORA



M. Sc. Francisco de Assis Brito Filho – UFERSA
Orientador



M. Sc. José Ailton Leão Barbosa Júnior – UFERSA
Primeiro Membro



D. Sc. Hugo Michel Câmara de Azevedo Maia – UFERSA
Segundo Membro

À minha amada avó Teresinha Delfina da
Costa (*In Memoriam*).

À minha avó, Nilda de Oliveira e aos meus
irmãos, Acací Neto e Natália Viana. As três
pessoas que mais amo e admiro.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus que sempre abençoou e abençoa os meus caminhos. Estando nos momentos de alegria e tristeza, confortando e nunca “falhando”, e ainda perdoando os meus erros. E acima de tudo, por me dar a oportunidade de conhecer pessoas tão iluminadas.

Aos meus pais, Alcivan e Genilda, que me deram o dom da vida, me instruíram com os ensinamentos desde cedo, me possibilitando fazer escolhas, e descobrir os prazeres da vida.

À minha rainha, minha mãe, por embora em momentos turvos direto ou indiretamente me acalmar, e sempre acreditar em mim. Pelo abraço, cheiro, afeto... Te amo, mais que tudo.

Aos meus familiares pelos momentos de solidariedade, pelas ajudas ao longo dessa jornada, pelos risos e choros compartilhados, vocês formam a minha base, e cada um contribui muito para a minha formação, tanto pessoal como profissional.

Aos Moraes e agregados, por juntos formarem o grupo-familiar mais unido que já vi. Por toda a disposição em me ajudar, e por participarem ativamente de minha caminhada.

Ao meu orientador, Brito Filho, por ter depositado confiança e dado a oportunidade de realizar este trabalho. Pela compreensão, disponibilidade e pela sua orientação, estando sempre pronto a me guiar e corrigir.

Obrigada Jayro por ser um companheiro compreensivo, entendendo todas as minhas virtudes e falhas, e me ajudando a levantar sempre.

Aos meus amigos da infância e aos que conquistei até aqui, o que inclui todo o Terceirão/2010, que estiveram comigo, escutaram minhas angústias e alegrias durante todo esse tempo, vocês são indispensáveis para mim.

Aos amigos de graduação, que me acompanharam durante todo esse tempo, e que levarei pelo resto de minha vida. À Ewerton Cosme, Sonagno Paiva, Dário Silva e PLYCIA Fernandes. Obrigada a Daniel Max, pelos momentos em que você se transformava num monitor, só para tirar minhas dúvidas quanto não entendia algo. Obrigada por se tornar esse amigo.

Aos meus atuais e futuros companheiros de graduação, Deusdedith Júnior e Gustavo Carneiro, por sempre estarem disponíveis para me ajudar, tirar dúvidas, se preocuparem quando não estou tão bem. Faz pouco tempo que estamos realmente juntos como uma turma, mas já tenho a certeza do quanto vocês são e serão importantes nesta nova etapa que se inicia.

Aos meus mestres, que estiveram presentes durante toda a minha formação acadêmica. Vocês me instruíram desde o início e mostraram as opções e os caminhos que me possibilitaram chegar até aqui. Aos docentes: André Moreira, Daniel Freitas, Rejane Dantas, Luiz Carlos, Taciano Amaral, Edna Rocha e Ronner Costa.

Ao titio Ailton, Alisson e Hugo, meus atuais e futuros docentes de engenharia por toda a disponibilidade e ajuda quando precisei durante essa jornada, vocês tiveram um papel fundamental.

Às pessoas que serviram de voluntários pra a conclusão deste trabalho. Muito obrigada por acreditarem no meu projeto ao se voluntariarem.

A banda Rosa de Saron, Tiago Iorc, e outros tantos cantores e bandas que embalam minhas trilhas sonoras durante o processo de elaboração deste tcc.

“Não deixes de fazer o bem a que o merece,
estando em tuas mãos a capacidade de fazê-
lo.”

(Provérbios: 3, 27)

RESUMO

Este trabalho descreve detalhadamente o comportamento dos biopotenciais, que são sinais ocasionados por fenômenos bioelétricos e podem ser usados para a detecção e/ou tratamento de disfunções humanas. Será dada uma ênfase ao eletrooculograma (EOG), que é o potencial oriundo dos movimentos produzidos pelo olho humano. Inicialmente realizou-se uma abordagem teórica quanto aos tipos de biopotenciais e suas aplicações, seu comportamento, aquisição e como podem ser usuais para diagnósticos, registros e aplicações médicas. Também será abordada a instrumentação que é usada nesses sistemas de aquisição, e algumas características destes elementos, que melhoram a aquisição do sinal. Na última etapa deste trabalho, serão mostrados os resultados obtidos por meio de simulação computacional, usando o programa *Multisim12* da *National Instruments*, e em seguida, da aquisição dos biopotenciais em laboratório. Pode-se observar que o EOG é um sinal bastante sensível, e que, sua aquisição pode abrir inúmeros campos de pesquisas que auxiliem entre outras coisas à pessoas com deficiência.

Palavras-Chave: Biopotencial. Eletrooculograma. Instrumentação.

ABSTRACT

This paper describes the behavior of biopotentials which are signals caused by bioelectric phenomenon and can be used for the detection and / or treatment of human dysfunction. It will be emphasize the electrooculogram (EOG), which is the potential that comes from the movements produced by the human eye. Initially it was made a theoretical approach about the types of biopotential and its applications, how these signals behave, how is its acquisition, and how they can be useful for diagnosis, registration and medical applications. It will also approach the instrumentation that is used in these acquisition systems, and some characteristics of these elements, that improve the acquisition of the signal. The last step of this work will show the results obtained through computer simulation, using the Multisim 12 program from the National Instruments, follow by the acquisition of biopotential in laboratory. It can be observed that the EOG is a very sensitive sign, and that their acquisition can open numerous fields of research that will help, among other things, people with deficiency.

Keywords: *Biopotential. Electrooculogram. Instrumentation.*

LISTA DE ABREVIATURAS

CMRR	<i>Common-Mode Rejection Ratio</i>
DDP	Diferença de potencial
ECG	Eletrocardiograma
EEG	Eletroencefalograma
EMG	Eletromiograma
EOG	Eletrooculograma
ERG	Eletroretinograma
FEM	Força eletromotriz
FPGA	<i>Field Programmable Gate Array</i>
GND	<i>Ground</i>
VCC_mais	Potencial positivo do amplificador de instrumentação
VCC_menos	Potencial negativo do amplificador de instrumentação

LISTA DE SÍMBOLOS

V_X	Tensão de Nernst no íon X
R	Constante universal dos gases
T	Temperatura
Z	Valência dos íons
F	Constante de Faraday
P_K, P_{Na}, P_{Cl}	Permeabilidade da membrana aos íons de potássio, sódio e cloro
R_I	Resistência do amplificador de instrumentação
R_2	Resistência variável do amplificador de instrumentação
V_1	Tensão de entrada 1 do amplificador de instrumentação
V_2	Tensão de entrada 2 do amplificador de instrumentação
V_0	Tensão de saída do amplificador de instrumentação

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Censo Demográfico 2010: Deficiência no Brasil.	18
Figura 2. Simulação do experimento de Swammerdam.	20
Figura 3. Modelo de ECG com o auxílio do galvanômetro de corda.	21
Figura 4. Membrana Celular.	22
Figura 5. Modelo de Membrana celular.	24
Figura 6. Modelo de onda emitida durante os processos de repouso-despolarização-repolarização das células.	25
Figura 7. Exemplificação de onda do sinal ECG.	27
Figura 8. Modelo de posicionamento de eletrodos para a medição de EEG, e sinal emitido. .	27
Figura 9. Exemplo de eletromiograma (EMG), sendo usado para estudo das forças musculares.	28
Figura 10. Modelo de posicionamento de eletrodos para medição de EOG.	29
Figura 11. Modelo esquemático dos processos necessários para a aquisição de um biosinal. .	30
Figura 12. Eletrodo de agulha.	31
Figura 13. Amplificador de Instrumentação.	32
Figura 14. Respostas em frequência dos filtros.	33
Figura 15. Olho humano.	35
Figura 16. Camadas da Retina.	36
Figura 17. Comportamento da córnea-retina.	38
Figura 18. Diagrama de bloco do sistema de aquisição de EOG, para movimentos horizontais.	38
Figura 19. Posicionamento de eletrodos.	39
Figura 20. Sinais de EOG gerados pelos movimentos horizontais.	40
Figura 21. Circuito usado para aquisição do EOG.	41
Figura 22. Fonte para simular sinais de EOG.	41
Figura 23. Fonte simétrica para alimentação de amplificador.	42
Figura 24. Teclado Virtual.	43
Figura 25. Exame para diagnóstico de distúrbios de sono.	43
Figura 26. Elementos de uma onda de Pulso.	45
Figura 27. Gráficos dos sinais de entrada e saída do circuito de aquisição.	45
Figura 28. Sinal 1 de entrada, 10 μ V.	46
Figura 29. Sinal 2 de entrada, 100 μ V.	46

Figura 30. Sinal de Saída, após passar por amplificação.....	47
Figura 31. Gerador de Funções, responsável por gerar o sinal de 10 mV.....	48
Figura 32. Gerador de Funções responsável por gerar o sinal de 100mV.....	48
Figura 33. Circuito para a aquisição de biosinal.	49
Figura 34. Fonte de Alimentação do amplificador de instrumentação.....	49
Figura 35. Sinal oriundo dos geradores de sinais, após passarem por amplificação.....	50
Figura 36. Sinal de saída aproximadamente 9V.....	50
Figura 37. Eletrodos de Cloreto de Prata (AgCl).	51
Figura 38. Gel condutor.....	51
Figura 39. Configurações realizadas no osciloscópio para a análise dos biosinais em voluntários.	52
Figura 40. Sinal adquirido com o primeiro voluntário.	53
Figura 41. Sinal adquirido com o segundo voluntário.....	53
Figura 42. Sinal adquirido quando o terceiro voluntário olhava para a direita.	54
Figura 43. Sinal adquirido quando o terceiro voluntário olhava para a esquerda.	54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	18
1.2 OBJETIVOS.....	18
1.2.1 Objetivo Geral	18
1.2.2 Objetivo Específico.....	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 HISTÓRIA	20
2.2 ORIGEM DOS BIOPOTENCIAIS	21
2.2.1 Potencial de Repouso	23
2.2.2 Potencial de Ação	24
2.3 TIPOS DE BIOPOTENCIAIS	26
2.3.1 Eletrocardiograma (ECG).....	26
2.3.2 Eletroencefalograma (EEG).....	27
2.3.3 Eletromiograma (EMG)	28
2.3.4 Eletrooculograma (EOG)	29
2.4 INSTRUMENTAÇÃO	29
2.4.1 Eletrodos	30
2.4.2 Amplificação.....	31
2.4.3 Filtragem.....	33
2.4.4 Outras Otimizações.....	33
3 ELETROOCULOGRAMA (EOG)	35
3.1 SISTEMA OCULAR	35
3.1.1 Retina	36
3.1.2 Córnea	37
3.2 COMPORTAMENTO E METODOLOGIA EXPERIMENTAL	37
3.2.1 Formas de Aquisição.....	38
3.2.2 Sinais Típicos	39
3.2.3 Circuito para aquisição do sinal de EOG.	40
3.2.4 Aplicações	42
4 RESULTADOS	44
4.1 SIMULAÇÕES	44
4.2 PRÁTICA	47

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	56
REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

O biopotencial é um sinal elétrico resultante de uma atividade fisiológica, como por exemplo, uma contração muscular. Esse fenômeno pode envolver a geração de campos elétricos ou correntes (ARRAIS JÚNIOR, E.; SOUZA, F.R., 2008), sendo ocasionados devido ao processo de despolarização dos nervos e músculos. Estes por sua vez, resultam no movimento iônico, ou seja, movimento de componentes químicos numa membrana semipermeável, gerando assim um potencial de ação. Se a célula é despolarizada desenvolve-se um potencial que pode ser adquirido por meio de dois eletrodos posicionados próximo a essa célula (ARNOLD, E., 1995).

Sua medição pode ser feita por meio de: Eletrocardiografia, Eletroencefalografia, Eletromiografia e a Eletrooculografia, responsáveis pelas medições de potenciais elétricos produzidos pelas contrações do coração humano, por sinais elétricos gerados pelas atividades neurais e pela atividade de fibras musculares e ainda potenciais elétricos existentes entre a córnea e a retina do olho, respectivamente.

O eletrooculograma é comumente utilizado para registrar os biopotenciais provenientes do movimento do olho, ele é o resultado de um conjunto de fatores, que variam da rotação do globo ocular, o piscar de olhos, colocação de eletrodo, luminosidade, entre outros (VENKATARAMANAN, S.; et al., 2005). E por isso devem ser feitas algumas implementações durante o projeto para minimizar a ação desses fatores.

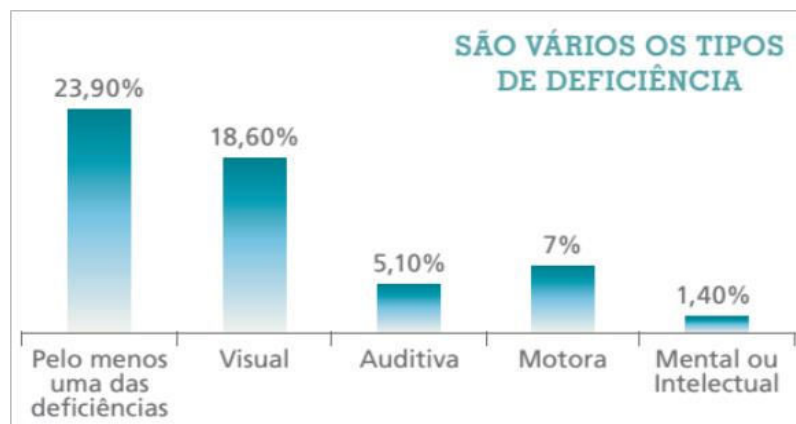
A implementação do eletrooculograma é uma forma de otimizar a aquisição deste biopotencial, que serve como ponto de partida para adaptações futuras, onde poderá ser aplicado na navegação de internet, tanto para pesquisa como para relacionamentos interpessoais, além de possibilitar o acesso a aplicativos de computação, como jogos, leitura de livros, ouvir músicas, entre outros.

Neste trabalho, no capítulo 2 será feita uma abordagem teórica, quanto ao comportamento dos biopotenciais e suas ramificações, as maneiras de realizar a aquisição deste, e um levantamento dos materiais e procedimentos usados. No capítulo 3 será dada uma ênfase a implementação do eletrooculograma, e um estudo mais aprofundado sobre o comportamento do mesmo. No capítulo 4 serão mostrados os resultados obtidos por meio de simulação computacional e prática.

1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Segundo o Censo Demográfico realizado pelo IBGE 2010, cerca de 23,9% da população total brasileira possui algum tipo de deficiência, sendo destas, 7% com algum tipo de deficiência motora, como o visto na Figura 1. Esses números comprovam que uma grande massa da população brasileira sofre com a falta de acessibilidade que auxilie em comunicação e/ou locomoção.

Figura 1. Censo Demográfico 2010: Deficiência no Brasil.



Fonte: BRASIL, 2012.

O bem estar humano é o atual grande motivador da ciência e é nesse aspecto que as tecnologias e o processamento de biopotenciais vem se adequando: a melhoria de vida.

O processamento de EOG pode auxiliar pessoas com algum tipo de debilitação e/ou deficiência, que como é apontado em pesquisa envolve uma boa parte da população, principalmente aquelas que por algum motivo não podem realizar tarefas motoras, devido à perda dos movimentos e/ou controle de seus membros superiores.

1.2 OBJETIVOS

Neste tópico serão abordados os objetivos, geral e específico, relacionados ao trabalho proposto.

1.2.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo dos biopotenciais, formas de aquisição destes sinais e a

implementação de um eletrooculograma (EOG).

1.2.2 Objetivo Específico

- Estudo dos biopotenciais, de tal forma, a compreender suas características e propriedades;
- Desenvolvimento de um Eletrooculograma para auxiliar pessoas com deficiência;
- Absorção de conhecimentos práticos e teóricos para uma boa formação pessoal e profissional na área.

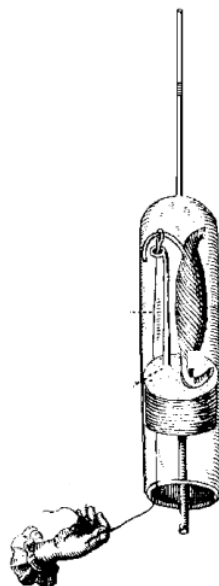
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 HISTÓRIA

Os primeiros registros sobre um evento bioelétrico datam de cerca de 4000 a.C. onde é feita a descrição de um peixe capaz de gerar choques elétricos com cerca de 450 V. Porém, sua real aplicação sobre o humano ocorre em 46 d.C., quando Escribônio Largo, um médico que serviu à corte de Roma durante o século I, receitou um peixe do gênero torpedo (capazes de produzir descargas elétricas) para a cura de dores de cabeça (MALMIVUO, J.; PLONSEY, R., 1995).

Com o passar dos séculos foi crescente o estudo sobre a eletricidade e também sobre as formas de intervenção desta sobre o ser humano. O biólogo e microscopista holandês, Jan Swammerdam em 1664, realizou alguns experimentos relacionados com a contração muscular. Para tal, ele utilizou um músculo de rã posicionado dentro de um tubo de vidro, com um nervo preso a um arrame de prata e um laço de cobre, como o mostrado na Figura 2.

Figura 2. Simulação do experimento de Swammerdam.



Fonte: MALMIVUO, J.; PLONSEY, R., 1995.

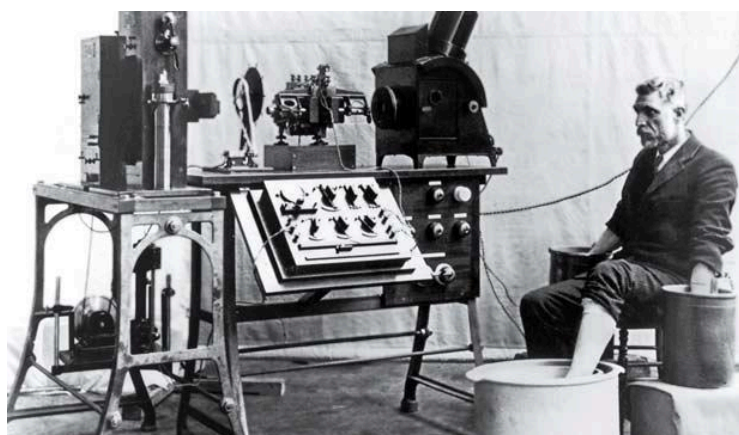
Onde, a diferença entre os dois metais em contato com o músculo dão origem a uma força eletromotriz (fem) e como consequência a uma corrente elétrica. Essa corrente surge como um estímulo no nervo, fazendo com que este gere uma corrente própria, que se propaga do nervo ao músculo, provocando uma contração muscular (MALMIVUO, J.; PLONSEY, R.,

1995).

A partir do século XVIII, começaram a se fazer vários estudos na área da bioeletricidade. Com a criação da garrafa de Leiden, começou-se vários tratamentos de estimulação muscular em pessoas com paralisia. Luigi Galvani foi responsável pelos mais renomados experimentos neuromusculares em rãs, tendo feito entre uma de suas descobertas, que, quando um nervo e músculo de uma rã forem conectados com um arco bimetálico, de cobre e zinco, ocorre à contração muscular.

No século XIX, ocorreram as primeiras medições de corrente bioelétrica usando um galvanômetro astático e a medição de eletrocardiograma (ECG) que na época era sensível a cerca de 1 mV. No século XX, a medição de ECG pode então ser registrada, com o auxílio do galvanômetro de corda, como o visto na Figura 3.

Figura 3. Modelo de ECG com o auxílio do galvanômetro de corda.



Fonte: <http://www.eletricaclinica.com/#!curiosidades>.

Com o surgimento dos tubos de elétrons capazes de amplificar os biosinais (atualmente o transistor), e conceitos como nervo, sinapse e membrana foram juntos de fundamental importância para o desenvolvimento destes estudos, possibilitando assim, também estudos relacionados a eletroencefalograma (EEG) e eletroretinograma (ERG).

2.2 ORIGEM DOS BIOPOTENCIAIS

A necessidade de se entender o funcionamento do corpo humano, e as maneiras com as quais pode-se beneficiar de tais fenômenos é o que mais vem motivando a ciência nos últimos anos. O processamento de biopotenciais surge como uma alternativa que pode não só auxiliar no diagnóstico de anomalias como também ajuda a aprimorar o modo de vida de

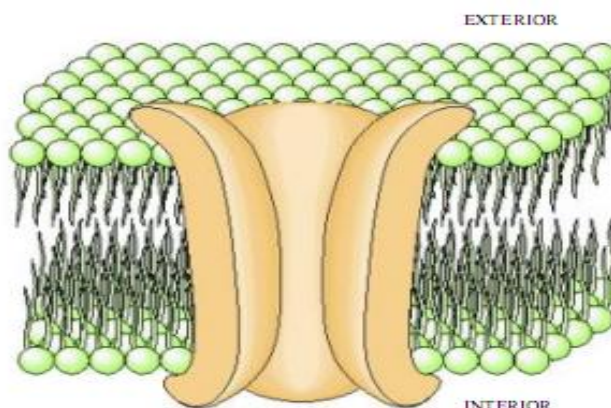
alguns seres.

Os potenciais elétricos oriundos dos seres vivos, ou simplesmente, biopotenciais, são causados pelas atividades elétricas de um conjunto de neurônios ou células musculares que envolvem tanto âmbito externo quanto o interno das células. Os batimentos realizados pelo coração humano é um dos exemplos mais expressivos destes biopotenciais, pois este recebe um estímulo (ou impulso elétrico) que após realizar um trajeto pelos músculos do coração é capaz de realizar os processos de diástole (relaxamento) e sístole (contração) deste, ocasionando assim nos batimentos cardíacos.

Outro exemplo são os neurônios (células) que conduzem informações via pulsos elétricos, e como será explicado neste capítulo, essa condução, ou transmissão depende de uma diferença de potencial gerada na parede da membrana semipermeável. Devido a sua característica de condutividade e excitabilidade o neurônio é uma das células mais importantes do sistema nervoso, o que dá aos seres vivos, as sensações.

Como nos fluídos intra e extracelulares há uma grande concentração de íons com alta mobilidade, é possível a existência de correntes iônicas (movimento iônico, ou correntes elétricas) na membrana semipermeável, ocasionando assim o surgimento de potenciais. Essa membrana funciona como uma espécie de “barreira de proteção” que todas as células de organismos vivos possui, e, separa os fluídos intra e extracelular. Ela delimita as regiões intracelular (citoplasma) e extracelular (conexões com tecidos). Por ser lipoprotéica, ou seja, formada pela junção de fósforos e proteínas, adquire uma característica de “filtro seletor”. O esquema da membrana celular pode ser encontrado na Figura 4 onde são observadas a existência de uma bicamada lipoprotéica e canais iônicos por onde fluem os íons responsáveis pelos processos biofísicos.

Figura 4. Membrana Celular.



Fonte: MALMIVUO, J.; PLONSEY, R., 1995.

Um dos componentes cruciais da membrana celular são os canais iônicos, formados por proteínas integrais são responsáveis pela troca de nutrientes e geração de energia entre o meio intra e extracelular. Os canais iônicos apresentam uma seletividade que os permitem selecionar a passagem de apenas alguns íons de um meio para outro. São exemplos destes canais, os canais de sódio, que permitem a passagem destes íons, etc. Dessa forma, quanto maior o número de canais iônicos que uma membrana tiver, maior será a sua permeabilidade, ou seja, maior será a quantidade de íons que podem entrar na membrana.

Na membrana celular é possível verificar dois estágios de potencial: o Potencial de Repouso e o Potencial de Ação, ambos descritos a seguir.

2.2.1 Potencial de Repouso

Como o mencionando anteriormente, a membrana celular, separa os fluídos do meio interno e os do meio externo das células, e pode oferecer um “passe-livre” a alguns íons, quando permeável à estes. No meio interno da célula há uma maior concentração de íons de K^+ (Potássio), enquanto no meio externo de íons de Na^+ (Sódio), e por esta variação de concentração entre os meios, os gradientes de difusão conduzem os íons de K^+ para fora da célula e os de Na^+ para dentro por meio dos canais iônicos, ou seja, tendendo a um falso equilíbrio químico.

Esse falso equilíbrio químico, é mais conhecido como equilíbrio de Gibbs-Donnan, e ocorre apenas em membranas semipermeáveis, como é o caso. Nessas membranas é permitida a passagem apenas de alguns íons (permeáveis), ao mesmo tempo que é fornecida uma espécie de barreira a outros íons (impermeáveis). O fato, é que o equilíbrio real não é atingido, como será explicado a seguir, mas é através deste “equilíbrio” que surgem as ddp’s (diferença de potenciais). O esquema do potencial de repouso pode ser visto na Figura 5.

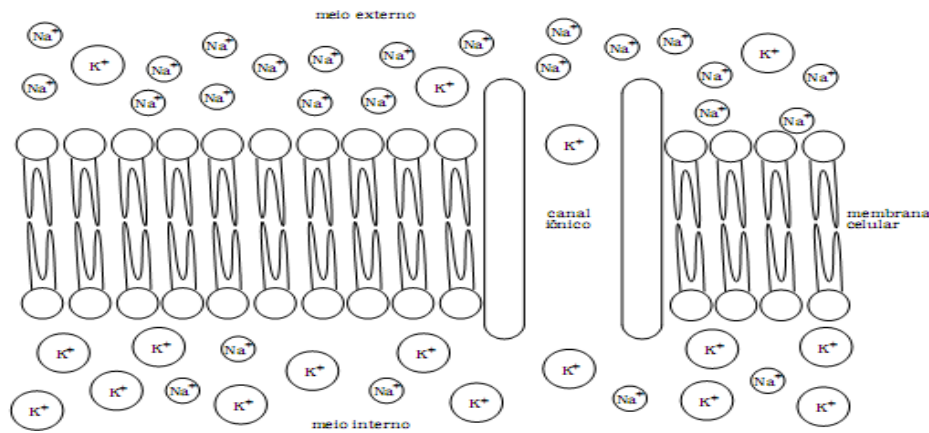
Uma diferença de potencial (ddp) é gerada devido ao gradiente de difusão. Essa ddp, também conhecida como potencial de Nernst, e, pode ser expressa pela Equação 2.1, que é conhecida como a equação de Nernst:

$$V_x = \frac{RT}{zF} \ln \left(\frac{[X]_o}{[X]_i} \right) \quad (2.1)$$

Onde, V_x é a diferença de potencial gerada devido ao gradiente de difusão, R é a constante universal dos gases, que é aproximadamente $8,3145 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$, T é a temperatura

dada em Kelvin, z é a carga de valência do íon X , F é a constante de Faraday, ou seja, 96.485,00 C/mol, $[X]_0$ é a concentração do íon X no meios externo e $[X]_i$ concentração no meio interno.

Figura 5. Modelo de Membrana celular.



Fonte: VALE-CARDOSO, A. S., 2010.

Como mencionado antes, os íons de K^+ e Na^+ tendem a um falso equilíbrio, isso ocorre porque bombas iônicas, e neste caso, a bomba de sódio-potássio, possibilitam a troca de íons K^+ do meio exterior por íons do Na^+ do interior da célula. Essa troca consome energia, que é fornecida pelo processamento da molécula de ATP ou Trifosfato de Adenosina (VALE-CARDOSO, A. S., 2010).

Quando as forças químicas se igualam as forças elétricas, o equilíbrio é estabelecido. Mesmo em estado de equilíbrio, existe uma diferença de potencial, chamada de potencial de repouso da membrana, que envolve todos os íons que interagem dentro e fora da célula (QUILLFELDT, J. A, 2005). Esse potencial é dado pela Equação 2.2, equação de Goldman-Hodgkin-Katz:

$$V_X = \frac{RT}{zF} \ln \left(\frac{P_K[K^+]_0 + P_{Na}[Na^+]_0 + P_{Cl}[Cl^-]_0}{P_K[K^+]_i + P_{Na}[Na^+]_i + P_{Cl}[Cl^-]_i} \right) \quad (2.2)$$

Onde, P_K , P_{Na} , P_{Cl} representam a permeabilidade da membrana dos íons.

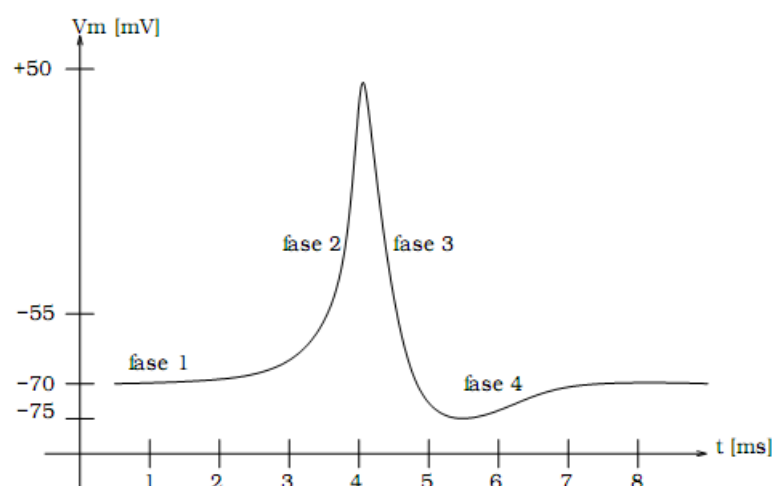
2.2.2 Potencial de Ação

Este potencial ocorre quando a membrana de uma célula é atingida com algum tipo de

estímulo, excitando-a. Esse fenômeno desencadeia uma sequência de eventos fisiológicos que são responsáveis pela troca de informações dentro do organismo. Pode-se dividir o potencial de ação em quatro etapas que são processos fisiológicos normais presentes nos seres vivos: membrana em repouso, despolarizada, repolarizada e transição repolarização-repouso. A seguir será explicado detalhadamente cada uma dessas etapas.

Em síntese, a primeira etapa do potencial de ação pode ser descrita como um potencial de repouso da membrana, sendo este já explicado anteriormente, e representado pela fase 1 na Figura 6.

Figura 6. Modelo de onda emitida durante os processos de repouso-despolarização-repolarização das células.



Fonte: VALE-CARDOSO, A. S., 2010.

Normalmente no exterior da célula humana há uma grande concentração de íons de Na^+ , podendo-se atribuir o valor “positivo” a ele. Enquanto no exterior temos uma concentração positiva, no seu interior, há uma concentração de íons “negativos”, de K^+ . Quando a célula sofre algum tipo de estímulo, excitação, esta passa pelo processo de despolarização. Como já mencionado, as células excitáveis possuem canais iônicos, que estão diretamente ligados a permeabilidade da membrana, como exemplos destes temos os canais de Na^+ e K^+ . Nesta etapa, de despolarização, os canais de Na^+ abrem-se, de forma que o influxo destes íons aumentam o teor deste processo, chegando a atingir cerca de 48,87 mV, valor máximo até os canais começarem a fechar, essa etapa é representada pela fase 2. Esses tipos de canais abrem e fecham em um curto espaço de tempo. Como consequência deste processo, o interior da célula adquire uma polaridade negativa, enquanto em seu exterior possui uma positiva. É desencadeado um processo em cadeia, e enquanto os canais de Na^+ se

fecham, os canais de K^+ se abrem lentamente, os dois canais atuam de forma de semelhante na membrana e está representado pela fase 3. Quando todos os canais de K^+ estão abertos, membrana atinge um potencial de aproximadamente $-74,61$ mV, etapa 4, é neste momento que o efluxo de íons de K^+ , dão início ao processo de repolarização (VALE-CARDOSO, A. S., 2010).

Quando os canais K^+ se fecham totalmente, a membrana volta a primeira etapa, e atinge o potencial de repouso.

2.3 TIPOS DE BIOPOTENCIAIS

O processamento de biopotenciais é de suma importância para o esclarecimento de algumas atividades fisiológicas, e também serve como fonte de estudos de alternativas que auxiliem o bem estar dos seres vivos positivamente.

São inúmeras atividades fisiológicas que podem ser resumidas em quatro biosinais responsáveis pelas ações que um organismo consegue realizar. Como o visto, as ações geram o estímulo em células excitáveis (nervos e músculos), gerando uma diferença de potencial que se propaga em todo o organismo, sendo responsável assim, pela realização de tarefas. O campo de pesquisa e a aplicação destes quatro biosinais serão abordados a seguir.

2.3.1 Eletrocardiograma (ECG)

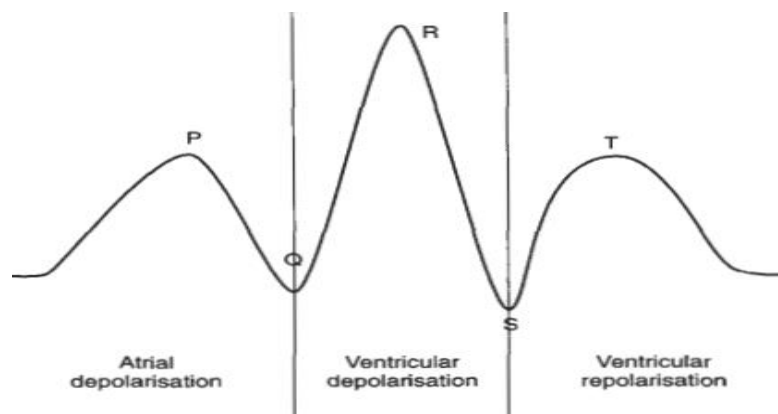
O eletrocardiograma diz respeito aos sinais oriundos do musculo do coração. Atualmente tem um dos maiores campos de pesquisa na área de biopotenciais, por se tratar de um membro tão crucial ao funcionamento do corpo. Os biopotencias de ECG, são causados pela contração muscular do coração, essas contrações causam um potencial a ser mensurado. O processo de medição deles é a eletrocardiografia.

O coração possui quatro cavidades (2 átrios e 2 ventrículos), e os altos e baixos de suas formas de ondas estão associadas às contrações destas cavidades no tempo. A Figura 7 mostra o comportamento do ECG em forma de onda.

O primeiro pico positivo, que pode ser identificado como o pico P, é originado da despolarização dos átrios. Após isso, ocorre uma repolarização nos átrios, que causa a onda negativa, representada pelo intervalo PQ. No entanto, esta forma de onda é geralmente camuflada pela despolarização dos ventrículos mostrados como o complexo QRS. A repolarização dos ventrículos produz a onda positiva rotulada T (ARNOLD, E., 1995).

O ECG é utilizado na detecção de doenças e/ou problemas cardíacos. Sua informação pode permitir a identificação de um leve bloqueio cardíaco.

Figura 7. Exemplificação de onda do sinal ECG.



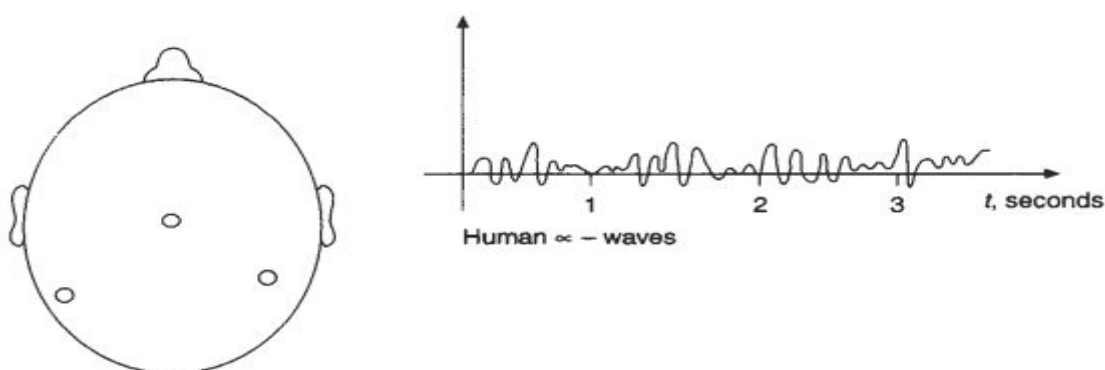
Fonte: ARNOLD, E., 1995.

2.3.2 Eletroencefalograma (EEG)

A eletroencefalografia está associada aos sinais elétricos gerados pelas atividades neurais. Isso é possível porque o cérebro humano está em constante funcionamento, e, portanto há uma despolarização e repolarização contínua de células nervosas, enviando assim, um potencial de ação ao longo da fibra nervosa. Isto resulta na geração contínua de sinais elétricos (ARNOLD, E., 1995).

A medição deste sinal pode ser realizada com instrumentação semelhante à utilizada para a aquisição de ECG e pode ser detectada por eletrodos colocados sobre o couro cabeludo. A Figura 8 mostra o posicionamento de eletrodos e as formas de onda.

Figura 8. Modelo de posicionamento de eletrodos para a medição de EEG, e sinal emitido.



Fonte: ARNOLD, E., 1995.

O eletroencefalograma possui um maior ganho e a rejeição de modo comum quando comparado ao ECG. Os sinais possuem amplitudes muito baixas, de aproximadamente 2 μV . Podem ser usados para diagnósticos de epilepsia, estudo sobre os padrões de ação do cérebro durante o sono. Durante um ataque epiléptico, o EEG pode ser usado para categorizar a apreensão como grande-mal ou pequeno-mal, que podem ser observados na forma de onda apresentada.

2.3.3 Eletromiograma (EMG)

A eletromiografia pode ser obtida por meio do potencial resultante da atividade de fibras musculares, que geram atividades elétricas, quando os músculos estão ativados (excitados). Podem ser medidos pelos mesmos aparelhos usados no ECG, sendo que a amplitude de seus sinais é determinada pelo número de fibras excitadas.

Os sinais EMG são maiores do que os sinais associados com a despolarização do nervo (EEG). EMG é, por conseguinte, utilizado para detectar a chegada da informação do nervo motor, que está a detectar a contração de um conjunto de músculos após a sua excitação.

Para a medição de EMG, é necessário posicionar os eletrodos no grupo de músculos que se quer estudar. Por meio do processamento deste biopotencial, pode-se ter a noção de quanta força pode ser gerada pelo grupo muscular, como o mostrado na Figura 9, e até mesmo, a função destes grupos após este sofrer um trauma ou dano neurológico.

Figura 9. Exemplo de eletromiograma (EMG), sendo usado para estudo das forças musculares.

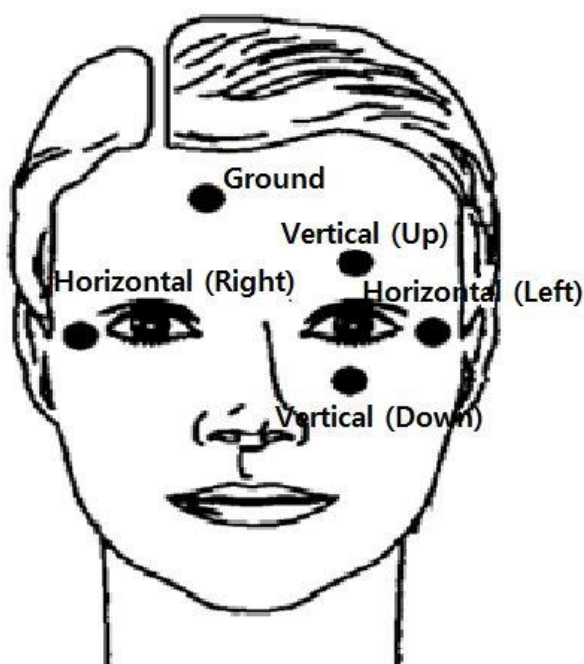


Fonte: http://www.novadidacta.com.br/produtos-categoria-produto.php?id_cate=14&id_sub=172&id_prod=1619.

2.3.4 Eletrooculograma (EOG)

São biopotenciais gerados pelo movimento do globo ocular. Os eletrodos são posicionados, como mostrado na Figura 10, de forma a captar o movimento ocular nas direções horizontal e vertical. Assim, os eletrodos colocados em ambos os lados dos olhos, detectam o movimento para a direita e esquerda, e os posicionados acima e abaixo, detectam o movimento para cima e baixo.

Figura 10. Modelo de posicionamento de eletrodos para medição de EOG.



Fonte: <http://wg11.sc29.org/mpeg-v/wp-content/uploads/2012/09/eog.png>.

O potencial varia com o movimento do olho, e, por isso o EOG é usado para o estudo de distúrbios oculares e perturbações humanas. O sinal pode variar sua amplitude de 0 a 4 mV, e possui frequências baixas de 0 à 10 Hz (LIMA, L. A. *et al.*, 2008). Por possuir amplitudes e frequência baixas, se faz necessário o uso de amplificadores para uma melhor análise do EOG.

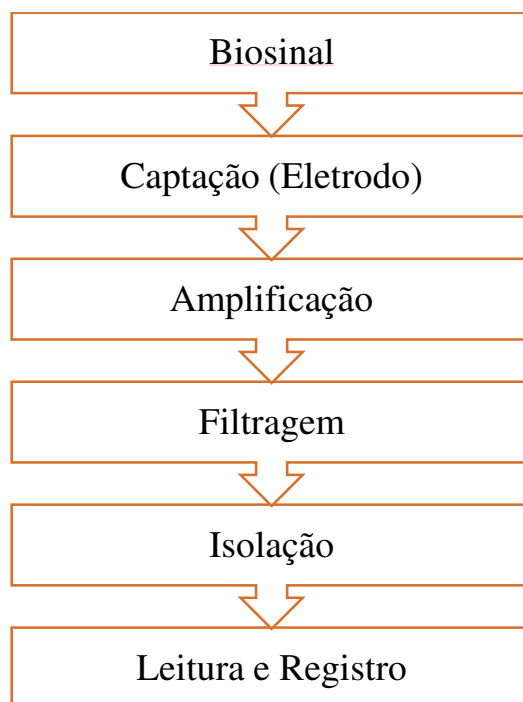
2.4 INSTRUMENTAÇÃO

Devido as baixas amplitudes e frequências destes biopotenciais os mesmos estão sujeitos a diversas interferências, dentre elas, interferências biológicas, de rede, luminosidade,

entre outros.

A Figura 11 mostra por meio de um fluxograma o modelo esquemático dos processos necessários para a aquisição destes biosinais, sendo de fundamental importância a realização de cada um destes processos para uma melhor avaliação destes.

Figura 11. Modelo esquemático dos processos necessários para a aquisição de um biosinal.



Como visto, os fenômenos elétricos estão relacionados a distribuições de íons, e os processos que ocorrem com eles. Para a aquisição dos potenciais gerados durante esses fenômenos é necessário avaliar qual o melhor eletrodo para o biosinal em questão, uso de amplificador que aumenta as amplitudes dos sinais, mas que leve também em consideração o ruído e outros tipos de interferências sofridas.

A seguir será feita uma descrição destes materiais, sua importância no processo de aquisição e estudo destes biosinais, e quais os mais comumente empregados.

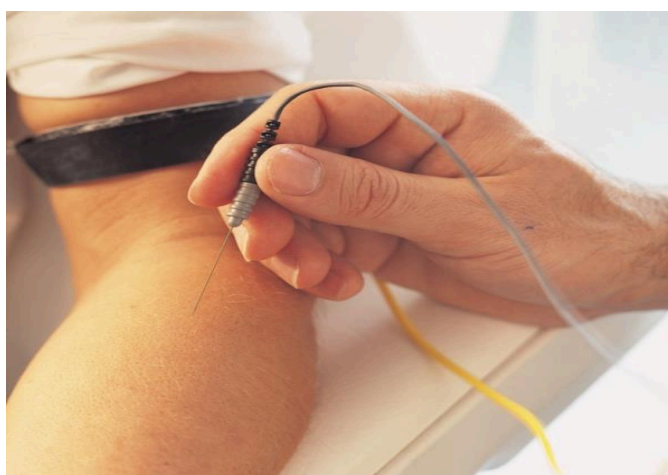
2.4.1 Eletrodos

Os eletrodos compreendem a parte da instrumentação que captam o biopotencial. Normalmente compostos de um metal que realiza a transdução (conversão) de correntes iônicas em correntes elétricas. E por isso sua escolha durante o projeto é importante para não alterar o desempenho do sistema.

São vários os tipos de eletrodos que podem ser encontrados na literatura, dentre os quais se destacam:

- Eletrodos de Superfície, são posicionados sobre a pele do paciente, não causando nenhum dano a esta. Sua utilização é associada a um gel condutor que auxilie na interface eletrodo-paciente. Podem ser acoplados a circuitos de aquisição para leitura e gravação dos sinais bioelétricos (NEUMAN, M. R., 2000);
- Eletrodos de agulha, penetram o tecido da pele até atingir o local que se quer realizar a análise, são menores quando comparados aos eletrodos de superfície e não necessitam da utilização de um gel, como o mostrado na Figura 12;
- Microeletrodos, são especificados para monitoramento a nível celular.

Figura 12. Eletrodo de agulha.



Fonte: http://www.neurobase.com.br/imgs/produtos/imagens/10_4.jpg.

O eletrodo comumente empregado na gravação de biopotenciais é o de cloreto de prata (AgCl). Quando entra em contato com a superfície da pele, o eletrodo pode produzir uma diferença de potencial, e, para evitar que isso ocorra, é necessário que se faça uma preparação da pele do paciente antes de realizar a medição. É importante ressaltar que qualquer movimento do eletrodo por menor que seja pode gerar sinais, alterando assim os dados.

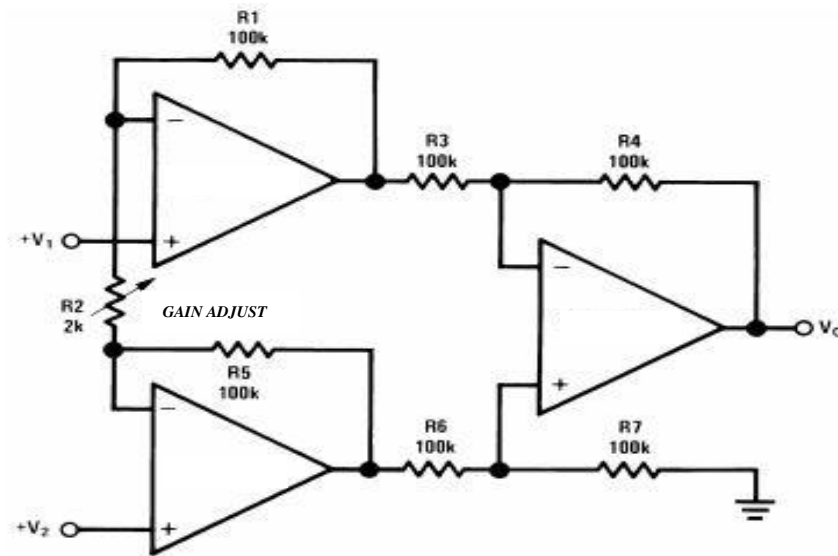
2.4.2 Amplificação

Por apresentarem amplitudes e frequências baixas, bem como, interferências biológicas faz-se necessário durante a aquisição de biopotenciais o uso de amplificadores que elevem as amplitudes dos biosinais, possuam uma alta impedância de entrada, baixo ruído, e,

se mantenha o mais constante possível quanto as flutuações de tensão.

O amplificador de instrumentação é o que mais se adequa as “exigências” para uma boa medição de biopotenciais. Construído com base em 3 amplificadores operacionais e 7 resistores, sua distribuição é feita de tal modo, como pode ser visto na Figura 13. A esquerda no modelo de amplificador de instrumentação tem-se a configuração de dois amplificadores não-inversores e a direita um amplificador diferencial comum.

Figura 13. Amplificador de Instrumentação.



Fonte: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm124-n.pdf>.

Outras características que podem ser atribuídas a estes amplificadores, e, que contribuem de forma significativa para sua bem sucedida aplicação em bioengenharia são:

- Possuem um ganho elevado, que pode ser ajustado auxiliando assim no controle de análise;
- Possuem uma CMRR (do inglês, *Common-Mode Rejection Ratio*, ou, Razão de Rejeição de Modo-Comum) muito elevada;
- Baixa impedância de saída e elevada impedância de entrada;
- *Drift* baixo.

A CMRR em um amplificador está relacionada a medida da sua capacidade para rejeitar os sinais de modo comum, como por exemplo, as interferências provocada pela rede de alimentação. Outro exemplo de interferência são o ruído e *drift*, sinais que podem prejudicar a análise. Ambos são gerados dentro do circuito amplificador, e estão ligados a baixas frequências, e, se apresentam como tensões de entrada (PRUTCHI, D.; NORRIS, M.,

2005).

Usando Lei de Kirchhoff das Correntes, é possível verificar a tensão de saída que é dado pela Equação 2.3:

$$V_0 = \left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right) \cdot (V_2 - V_1) \quad (2.3)$$

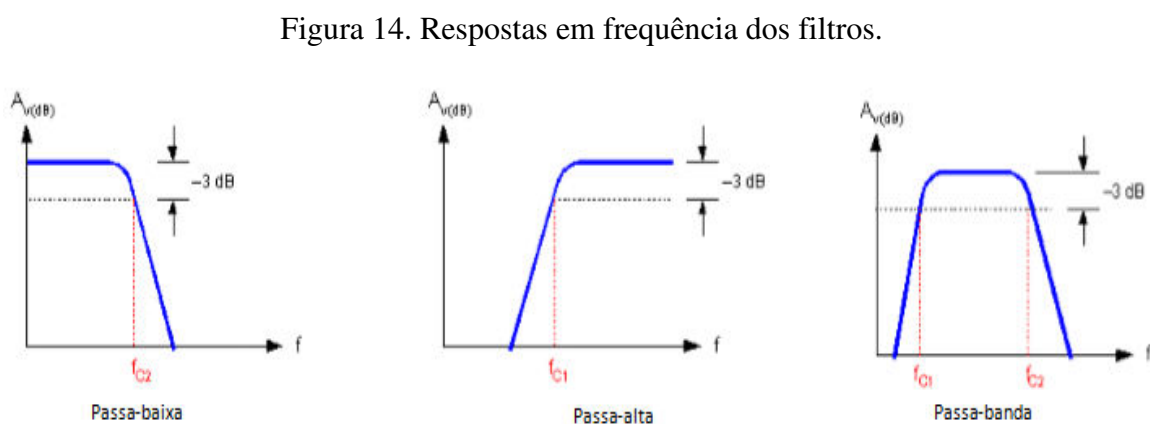
2.4.3 Filtragem

O processo de filtragem é realizado em sistemas de aquisição de biopotenciais, pois, estes filtros atuam na redução das interferências. Com a alta impedância da fonte e grandes cabos de ligação entre o paciente-máquina, os sistemas de medição ficam sujeitos a interferências capacitivas e indutivas, sendo, que com o uso de amplificador de instrumentação não é mais necessário os filtros indutivos (ARNOLD, E., 1995).

Assim, faz-se necessário o uso de alguns filtros capacitivos, para finalidades distintas. São eles:

- Passa-baixa, remove frequências altas que não são desejáveis;
- Passa-alta, remove frequências baixas;
- Passa-banda, permite que apenas uma trecho de frequência passe.

A Figura 14 apresenta a resposta em frequência destes filtros.



Fonte: http://wps.prenhall.com/chet_paynter_introduct_6/0,5779,426301-,00.html.

2.4.4 Outras Otimizações

Além de amplificar o sinal e reduzir as interferências ocasionadas durante a medição

destes, outras melhorias podem ser feitas nos circuitos durante sua aquisição. Um exemplo, é que no circuito de aquisição de biosinais é indispensável a existência de um isolamento, de tal forma que vise, em primeiro lugar, a segurança do paciente. Os dispositivos usados para isolamento e a maneira como eles se encontram nos circuitos, não entram no foco deste trabalho, e por isso, não serão abordados.

3 ELETROOCULOGRAMA (EOG)

A visão é um dos sentidos essenciais nos seres vivos, pois é nele que são criadas as imagens do mundo exterior, e muitas vezes é por meio dela que são criados conceitos e preceitos que são levados no decorrer da vida.

Por se tratar de uma sensação e/ou sentido tão delicado, o olho humano é um dos órgãos mais sensíveis do corpo, é composto por uma série de camadas que dão ao olho as características, de detecção e visualização de objetos.

Neste capítulo será apresentado a priori, o sistema ocular, com ênfase nos componentes que nele estão presentes e são indispensáveis para a geração do EOG. Em seguida, será feita uma abordagem mostrando como este biosinal é detectado, o material necessário para tal, e ainda, uma breve citação de seus campos de aplicações.

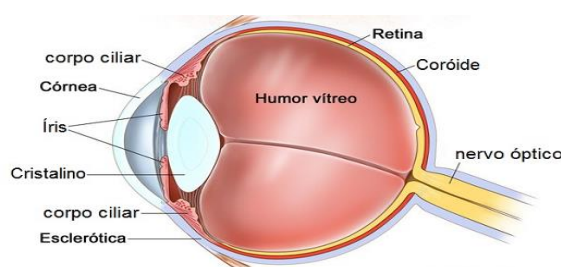
3.1 SISTEMA OCULAR

O sistema óptico é o responsável pela discriminação de forma, cor, movimento e profundidade (STETTEN, G. D., 2000), é nele que são criadas as imagens, sendo estas transportadas ao lado cognitivo do cérebro, nos dando assim a noção de visualização.

Toda a formação e ramificações do olho são fundamentais para a visão. Sendo este órgão subdividido em três camadas: a externa, intermediária e interna. A camada externa, é que está em contato com o mundo externo, e por isso, é dotada de propriedades protetoras. A camada intermediária é responsável pela nutrição da retina, e por isso é muito vascularizada. A camada interna, é onde está localizado os fotorreceptores, e responsáveis pela formação da imagem (BATISTA, A. L.; CARAVELA, B.; GOÍS, B., 2011).

O sistema óptico está esquematizado na Figura 15. Nela pode-se verificar a existência dos principais componentes deste sistema.

Figura 15. Olho humano.



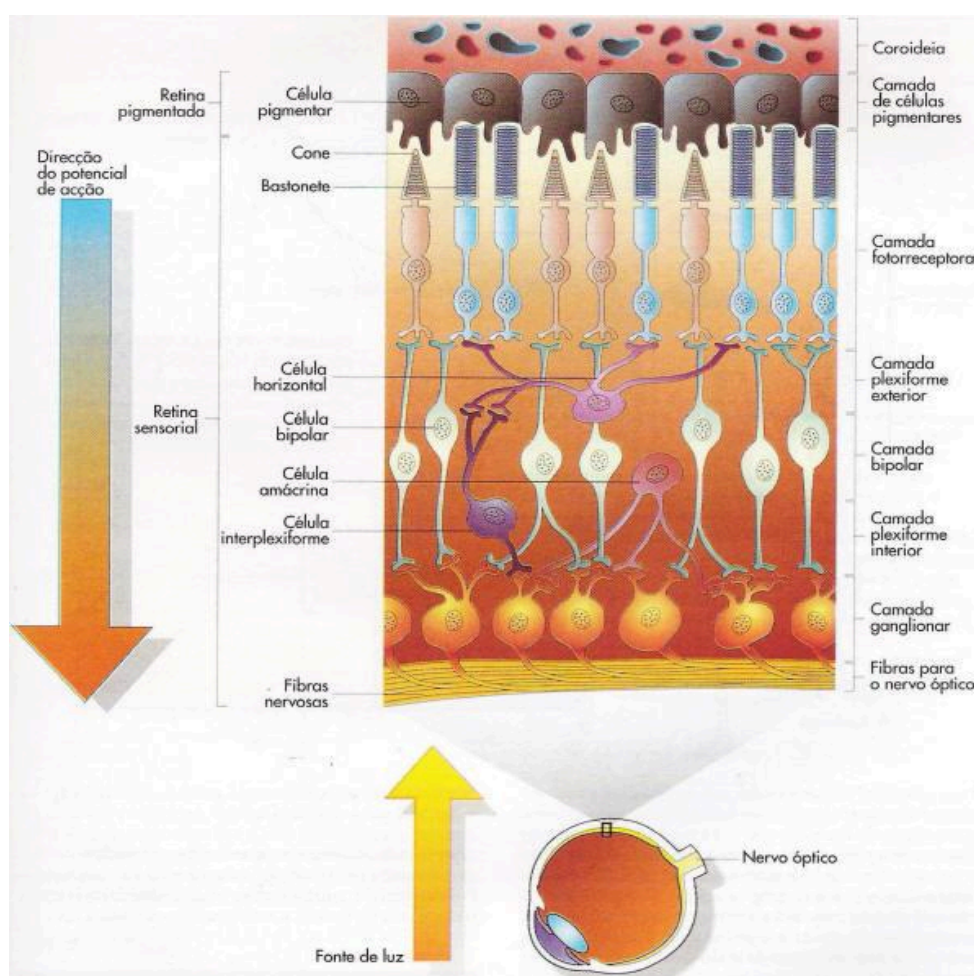
Fonte: <http://hob.med.br/como-funciona-o-olho-humano>.

A retina e a córnea são os dois elementos responsáveis pela existência de uma diferença de potencial no olho, e por isso serão abordadas com ênfase a seguir.

3.1.1 Retina

A retina é o elemento do sistema ocular responsável pela recepção e conversão das ondas luminosas em impulsos nervosos. Ela faz parte da camada interna do olho, e é repleta de células fotorreceptoras, que realizam todo o processo de transformação visual (luz-impulsos). A sua anatomia pode ser verificada a seguir, na Figura 16. As células fotorreceptoras, são os cones e os bastonetes, sendo, responsáveis pela visão a cores com alta e média intensidade, e, pela visão em cores de baixa luminosidade, respectivamente.

Figura 16. Camadas da Retina.



Fonte: <http://olhohuma.no.sapo.pt/retina.htm>.

A camada pigmentar é responsável por fornecer suporte as células fotorreceptoras.

Sendo que estas, como dito anteriormente, realizam um papel fundamental de transdução, convertendo a energia de um fóton em corrente pulsante.

Os fotorreceptores transmitem a informação às células horizontais e bipolares. As células horizontais possuem uma resposta lenta, de modo que quando os fotorreceptores detectam algo movimentando-se, ele ainda possui a informação anterior, e com isso, pode ser realizado o ato de detecção de movimentos.

A informação segue até as células amácrinas onde é realizada um ajuste de sensibilidade para que ela se adeque as células ganglionares. É nesta última que os sinais se transformam em potenciais de ação que são posteriormente conduzidos por nervos ao cérebro (MALMIVUO, J.; PLONSEY, R., 1995).

Outra característica presente na retina é que seu potencial sofre alteração de acordo com a variação de luminosidade do ambiente. Isso ocorre quando, por exemplo, exposto a um ambiente escuro, os bastonetes apresentam uma membrana permeável aos íons de sódio (Na^+) e potássio (K^+). Se a luz atinge os bastonetes, a membrana adquire um potencial mais negativo, ou seja, não produz potencial de ação.

Em síntese, a alteração de luminosidade, altera a resposta dos fotorreceptores, que, como consequência, altera o potencial da membrana, que pode diminuir ou aumentar a taxa de neurotransmissores interligados as células ganglionares, sendo estas últimas, as responsáveis pela geração de potenciais de ação.

3.1.2 Córnea

A córnea está localizada na camada externa do olho, e é responsável pela captação das ondas de luz. Como o seu potencial não é alterado com a presença de luz, diz-se que este representa o potencial de repouso. Quando comparado com o interior do olho, a córnea adquire um potencial positivo.

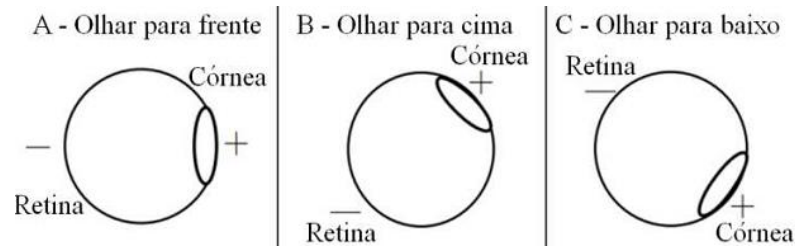
3.2 COMPORTAMENTO E METODOLOGIA EXPERIMENTAL

O eletrooculograma (EOG) é o biosinal adquirido por meio de movimentos oculares. Isso ocorre devido a polarização adquirida pela córnea e retina do olho. Por possuírem polarizações opostas, geram uma diferença de potencial, e é por meio desta que se pode realizar o estudo, aquisição e leitura do EOG.

Como a retina fica polarizada negativamente em relação a córnea, que possui

polaridade positiva, pode-se dizer que basicamente o sistema em si trata-se de um dipolo com orientação da retina à córnea. A Figura 17 mostra esse comportamento e a movimentação realizada pelo olho para a captação e análise de EOG.

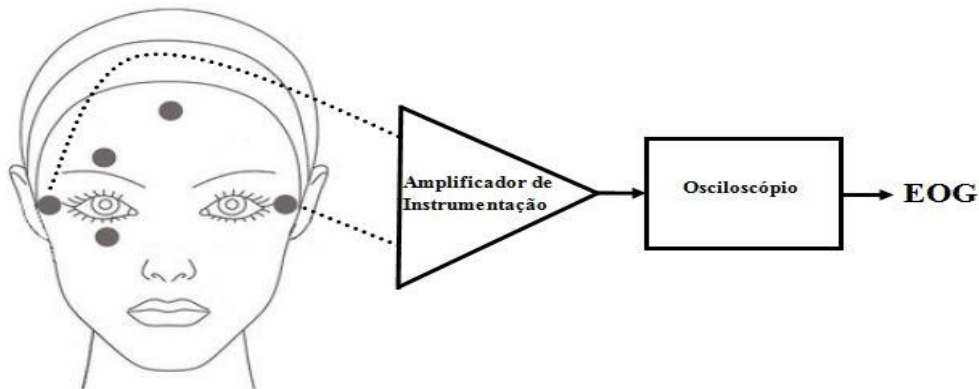
Figura 17. Comportamento da córnea-retina.



Fonte: LIMA, D. S.; BORGES, F. S.; OKUBO, I. A. H., 2010.

O sinal EOG assim como os demais biopotenciais, são possuidores de baixas amplitudes e frequências. Sua amplitude pode variar de 0-4 mV, e, a frequência, de 0-10 Hz, ou seja, pode existir momentos em que ela atinja um valor contínuo. Abaixo, na Figura 18 é mostrado o diagrama de blocos do EOG.

Figura 18. Diagrama de bloco do sistema de aquisição de EOG, para movimentos horizontais.



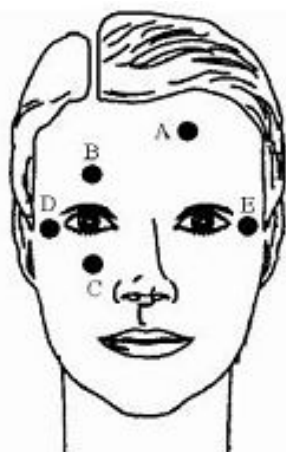
Para a aquisição e análise do biopotencial são necessários o uso de eletrodos, amplificadores de instrumentação e um osciloscópio para a análise do EOG.

3.2.1 Formas de Aquisição

Qualquer biopotencial pode ser medido fazendo o uso de eletrodos. No caso dos sinais de EOG pode ser feita a aquisição dos movimentos na vertical, ou seja, movimentos para cima

e para baixo, já na horizontal os movimentos para a direita e esquerda. A Figura 19 demonstra a maneira como devem estar posicionados os eletrodos na pele do paciente.

Figura 19. Posicionamento de eletrodos.



Fonte: LIMA, L. A. *et al.*, 2008.

Os eletrodos E e D, são responsáveis pela captação dos movimentos horizontais, enquanto os B e C, pelos movimentos realizados na verticais. O eletrodo A funciona como um ponto de referência. Quando os olhos estão posicionados no centro, pode-se assumir como o ponto neutro, ou seja, o ponto onde não há a presença de uma diferença de potencial.

Os eletrodos mais usados para esta análise são os de Cloreto de Prata (AgCl), pois, como especificado no capítulo 2 eles agem de forma satisfatória na aquisição dos biopotenciais, e possuem o valor acessível, ou seja, são economicamente viáveis.

Por possuírem baixas frequências e amplitudes é necessário o uso de amplificadores, que amplificam os sinais detectados, de tal forma, que seja possível fazer a análise destes. O dispositivo mais indicado para este caso, como já foi visto no capítulo 2, é o amplificador de instrumentação.

O sinal de EOG pode ser alterado pela luminosidade do ambiente, pelo piscar dos olhos, pela forma como os eletrodos são posicionados no paciente, entre outras coisas.

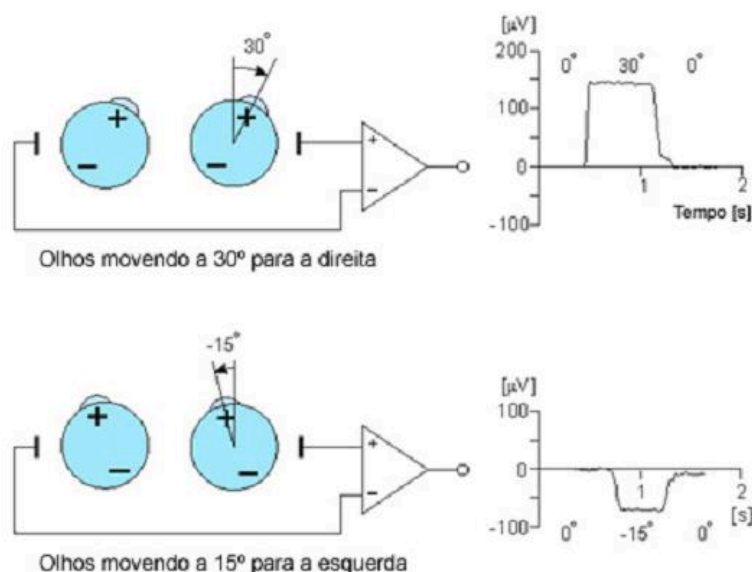
3.2.2 Sinais Típicos

O movimento do olho para a direita resulta em uma diferença de potencial com o eletrodo na direção do movimento, tornando-o positivo em relação ao outro, assim, seu sinal de saída é positivo. Se o movimento realizado for para a esquerda, o oposto ocorrerá, logo o

sinal se apresentará de forma negativa.

Esses sinais de saída assumem a forma de uma onda semelhante as ondas de pulso, sendo que quando o movimento realizado pelo olho for para a direita, a onda se encontrará no eixo positivo, caso contrário, ou seja, o movimento seja para a esquerda, a onda se apresentará na forma negativa, como pode ser visto na Figura 20.

Figura 20. Sinais de EOG gerados pelos movimentos horizontais.



Fonte: LIMA, L. A. *et al.*, 2008.

Idealmente falando, estes sinais deveriam ter sua amplitude diretamente proporcional ao grau de deslocamento que o olho realiza. Porém, na prática isso pode ser refutado, principalmente em ângulos acima de 30°, que é o momento onde diminui a linearidade do sinal (MALMIVUO, J.; PLONSEY, R., 1995).

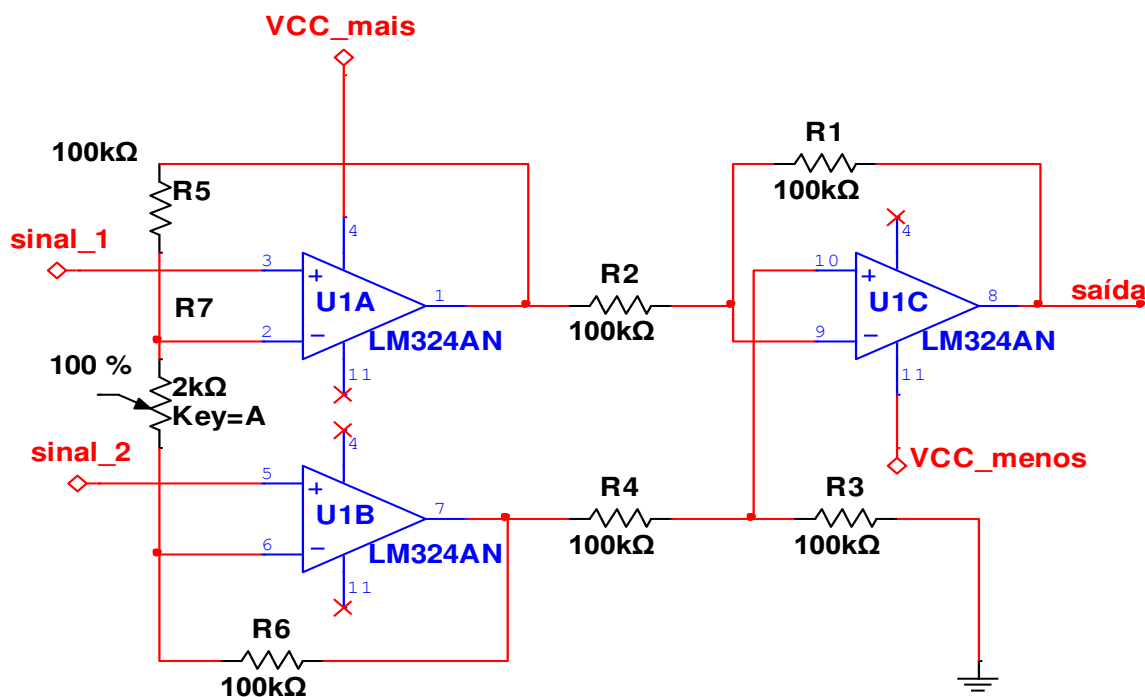
3.2.3 Circuito para aquisição do sinal de EOG.

O circuito desenvolvido neste trabalho para a captação e análise do sinal de EOG é mostrado na Figura 21, como pode-se visualizar, no amplificador de instrumentação há dois amplificadores do tipo não-inversor, e é neles onde será feita a entrada do sinal adquirido, ou seja, são os seus terminais de entrada que estarão conectados aos eletrodos.

O sinal de saída é captado na saída do amplificador diferencial, e pode ser feita a leitura conectando os seus pontos a um canal de osciloscópio. Podem ser feitos também o registro e manipulação em computador, mas para tal se faz necessário o uso de conversores,

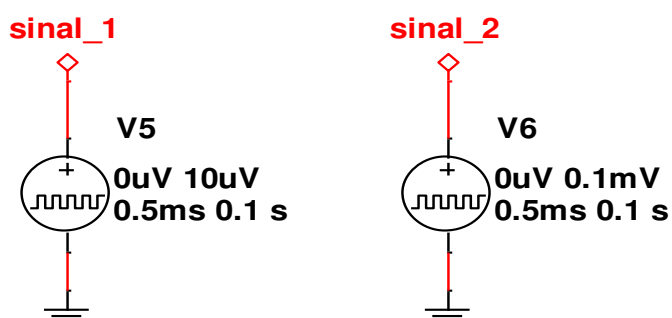
para transformar o sinal analógico em digital, e, transferir os dados para a máquina, onde posteriormente podem ser feitas as análises.

Figura 21. Circuito usado para aquisição do EOG.



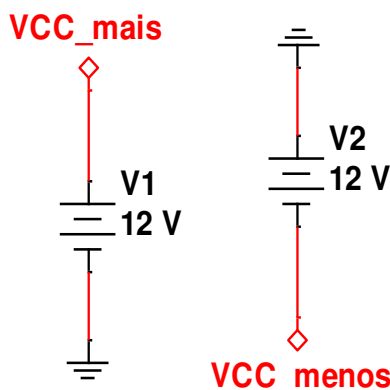
Os sinais de entrada, “sinal_1” e “sinal_2” são da amplitude de microvolts (μV), e, representam os sinais de EOG presentes no ser humano ao realizar o movimento dos olhos, eles podem ser, neste caso, simbolizados por uma fonte de tensão pulsante, como representado na Figura 22.

Figura 22. Fonte para simular sinais de EOG.



Além disso, o amplificador deve ser alimentado por uma fonte simétrica, representada pelas entradas “VCC_mais” e “VCC_menos”, como pode ser visto na Figura 23.

Figura 23. Fonte simétrica para alimentação de amplificador.



O sinal de saída já amplificado deste circuito fica localizado na saída do amplificador diferencial. Os dados referentes a saída deste sinal serão abordados no capítulo 4.

3.2.4 Aplicações

O circuito mostrado no item anterior é importante, pois, por meio dos sinais de saída podem ser identificados algumas disfunções no sistema ocular do paciente, distúrbios de sono, ou ainda, esses sinais podem ser usados para aplicação eletrônica, de tal forma a otimizar o modo de vida de alguns pacientes que sofreram e sofrem com anomalias, como por exemplo, a paralisia. Alguns exemplos destas aplicações serão mostradas a seguir.

Um campo de pesquisa que está em alta quanto a aplicação deste potencial, é a área de eletrônica e programação. Na literatura são encontrados inúmeros exemplos de aplicações, de dispositivos que auxiliam a pessoas com deficiência, por meio do EOG. O mouse controlado pelo movimento do olho, por exemplo, é uma aplicação que com o auxílio de um FPGA (*Field Programmable Gate Array*) é capaz de produzir os sinais mecânicos de um mouse (ARRAIS JUNIOR, E.; SOUZA, F. R., 2008).

Outra aplicação nessa área é o teclado virtual. No exemplo da Figura 24, ao olhar para cima, o usuário consegue deslocar a barra de uma coluna para outra, quando o usuário pisca, a coluna na qual a barra estiver será selecionada, essa barra é destacada e ao deslocar novamente o olho para cima, o usuário pode selecionar o símbolo que quer piscando novamente. Olhar para a direita corresponde a um espaço entra as palavras e para a esquerda, permite apagar um símbolo, olhando para baixo seleciona os botões da coluna da direita, que dá ao indivíduo entre outras coisas a possibilidade de salvar a mensagem (LIMA, D. S.; BORGES, F. S.; OKUBO, I. A. H., 2010).

Figura 24. Teclado Virtual.



Fonte: LIMA, D. S.; BORGES, F. S.; OKUBO, I. A. H., 2010.

Na Figura 25 pode ser visto um paciente em meio ao processo de análise para diagnóstico de algum distúrbio do sono. Neste caso, o EOG é associado ao processamento de outros biopotenciais como: EMG e EEG.

Figura 25. Exame para diagnóstico de distúrbios de sono.



Fonte: <http://psychofsleep.angelfire.com/>.

Ainda existem inúmeras outras aplicações de EOG, os aqui mencionados já servem para repassar quão grande pode ser o campo de pesquisa de tal biopotencial.

4 RESULTADOS

Para a análise do sinal EOG, a priori, foram feitas uma série de simulações computacionais, das quais foram extraídas as primeiras noções quanto ao comportamento deste biopotencial. Feitas essas simulações, passou-se para o estágio prático. Este estágio se subdividiu em duas etapas. Na primeira foi usado um gerador de funções como sinais de teste, enquanto na segunda, os sinais captados em voluntários. Toda a leitura dos sinais durante o momento prático foi feito por meio de um osciloscópio disponível no laboratório de engenharia elétrica da UFERSA – Campus Caraúbas.

Todo o procedimento e análise dos dados coletados durante esses três estágios serão mostrados e comentados a seguir. Os dois momentos, simulações e experimentos práticos, estão divididos para que possa ser dada ênfase a cada um separadamente.

4.1 SIMULAÇÕES

O programa usado para a simulação dos biopotenciais foi o *Multisim 12* da *National Instruments*. O circuito de aquisição para este biosinal pode ser visualizado, e está explicado no item 3.2.3. deste trabalho.

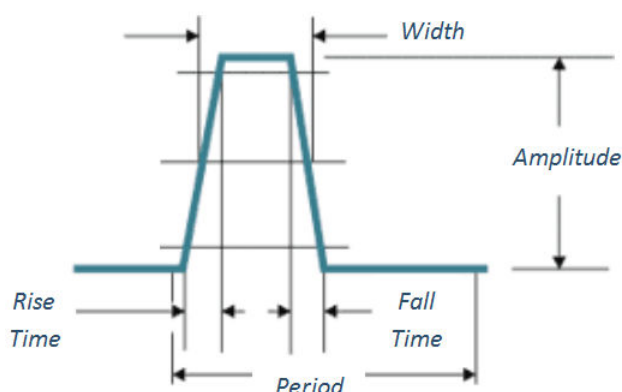
Como os sinais que mais se assemelham ao potencial produzido pelo olho humano são pulsos, foi escolhido trabalhar com uma fonte de pulsos, ou gerador de pulsos elétricos. Para essa análise, será usado cada pulso equivalente à 10 e 100 μV de amplitude. Como visto na literatura disponível, esses pulsos atuam numa frequência que varia de 0 à 10 Hz, e por isso, foi escolhido trabalhar com a variação maior possível, neste caso, os 10 Hz.

Para a configuração dos sinais de entrada, foi necessário o uso de alguns conceitos de configurações quanto a estes sinais. Os mesmos foram: *rise time*, *fall time* e *width*, que são detalhados abaixo e podem ser visualizados na Figura 26.

- *Rise time*, tempo de subida, ou seja, tempo que um sinal leva para variar de um sinal menor para um maior;
- *Fall time*, tempo de decida, ou seja, tempo que um sinal leva para variar de um valor maior para um menor;
- *Width*, largura do sinal, neste caso, a largura do pulso.

Na simulação foi usado o valor de 1 μs , tanto para subida quanto para a decida do sinal, ou seja, *rise time* e *fall time*, respectivamente. E foi adotado 0,5 ms para a largura do pulso.

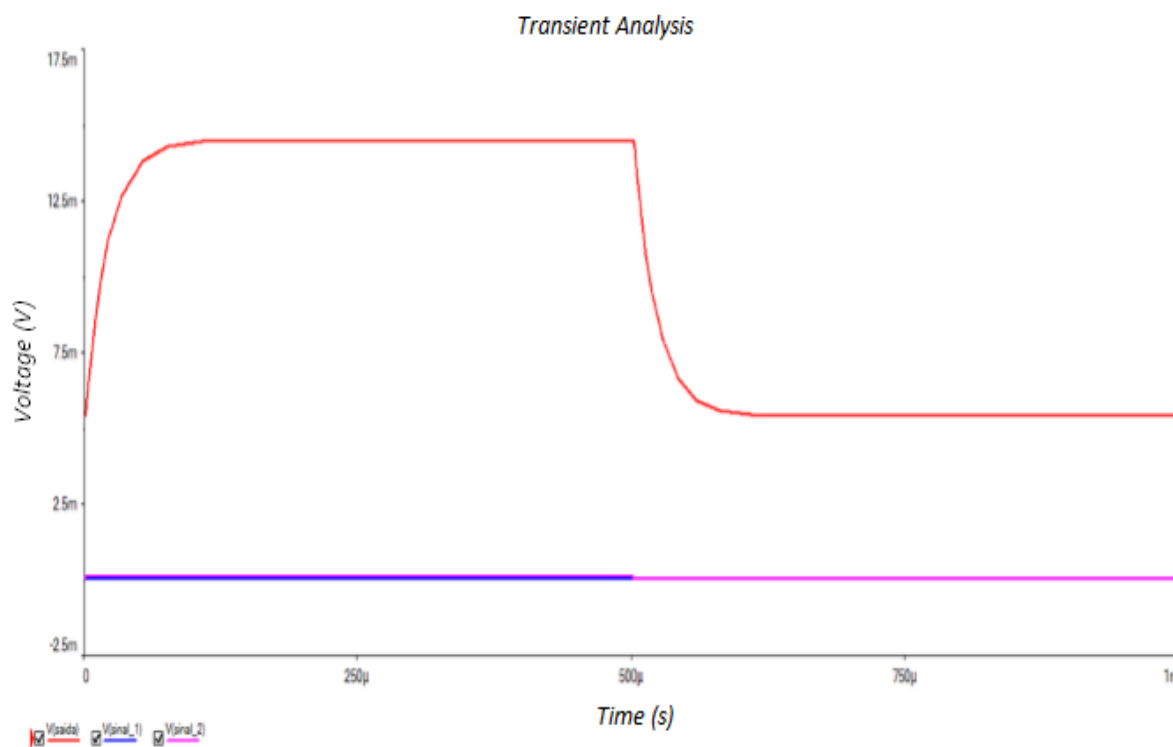
Figura 26. Elementos de uma onda de Pulso.



Fonte: http://www.fiber-optics.info/fiber_optic_glossary/rise_time.

Os gráficos referentes a essa análise podem ser observados na Figura 27, onde é possível visualizar o alto ganho adquirido pelos dois sinais de entrada no sinal de saída. A curva vermelha representa o sinal de saída, e a azul e violeta, os dois sinais de entrada de 10 e 100 μV , respectivamente.

Figura 27. Gráficos dos sinais de entrada e saída do circuito de aquisição.

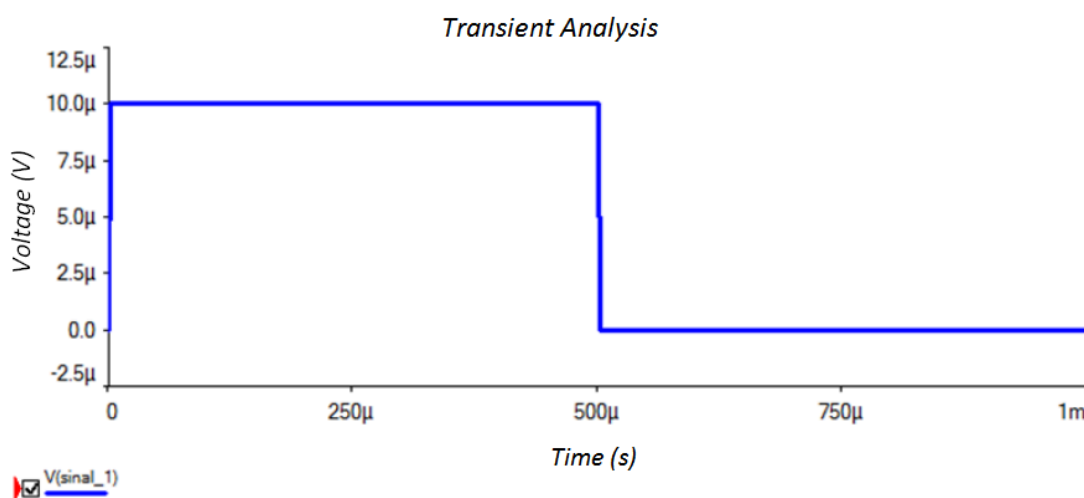


Devido ao alto ganho, e a baixa amplitude dos sinais de entrada, foi separado cada gráfico de tal forma onde é possível a visualização ampliada e detalhada destes. Estes gráficos

são referentes às entradas de biosinais, “Sinal_1”, “Sinal_2”, e ainda a visualização do sinal de saída amplificado.

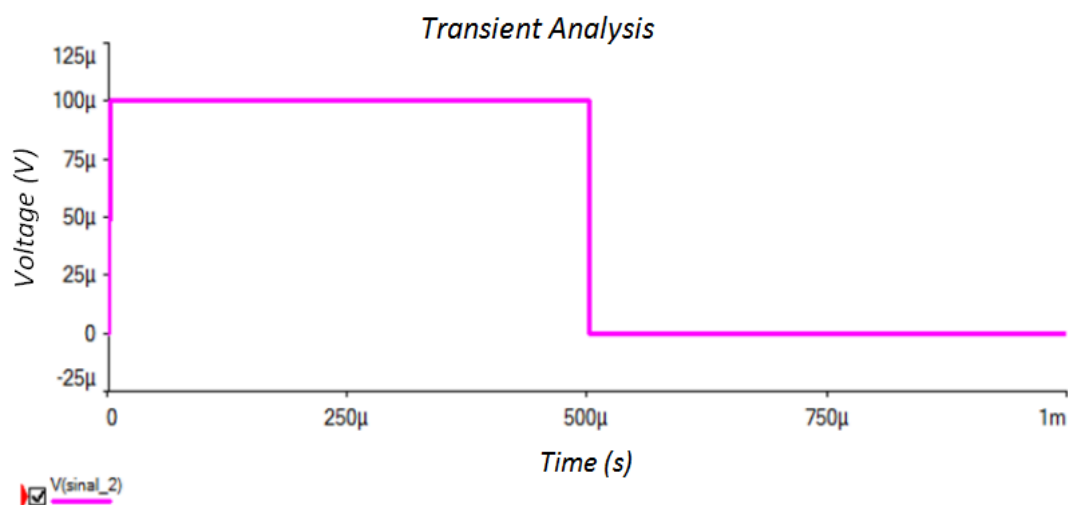
O sinal que pode ser observado na Figura 28 é o sinal de entrada com a amplitude de $10\ \mu\text{V}$, devido ao baixo *rise* e *fall time*, essa variação é quase imperceptível na onda abaixo. Como pode ser observado ainda neste gráfico, a largura é de aproximadamente 0,5 ms.

Figura 28. Sinal 1 de entrada, $10\ \mu\text{V}$.



O sinal da Figura 29 possui as mesmas propriedades do primeiro sinal, porém, a amplitude do segundo sinal é de $100\ \mu\text{V}$.

Figura 29. Sinal 2 de entrada, $100\ \mu\text{V}$.



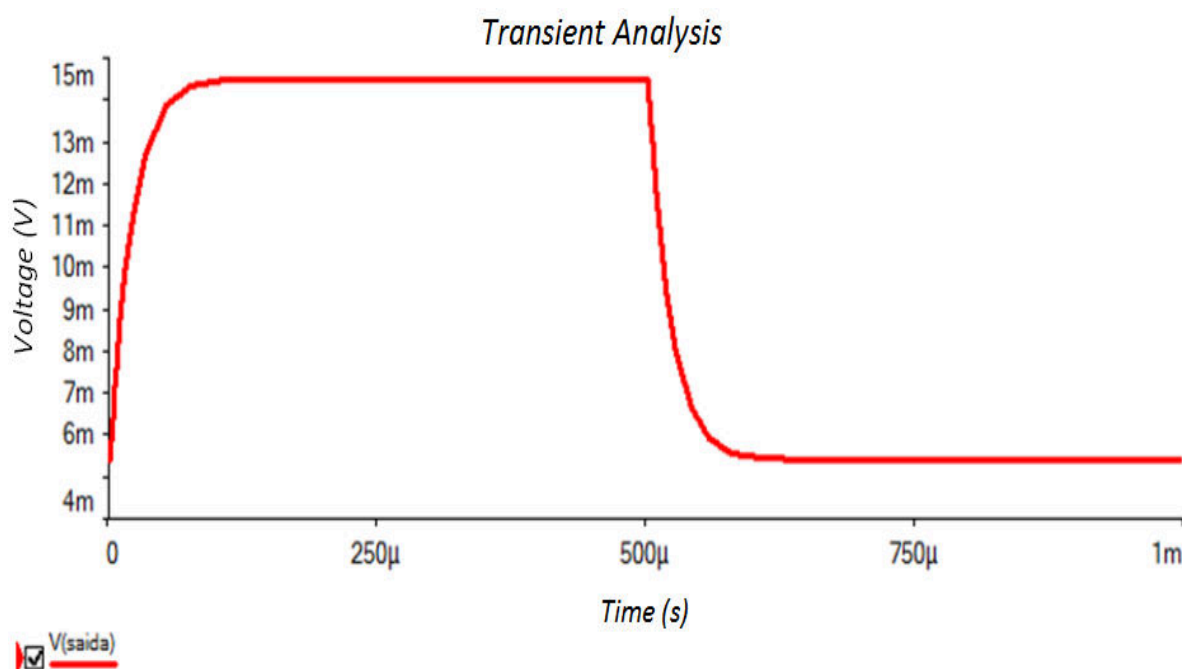
Usando a Equação 2.3 deste trabalho pode-se encontrar o valor da tensão de saída do

amplificador, ou seja, o valor que a amplitude assume após passar pelo amplificador de instrumentação. Esse equacionamento com os dados referente ao circuito usado na simulação pode ser encontrado logo abaixo.

$$V_0 = \left(1 + \frac{2(100 \text{ k}\Omega)}{2 \text{ k}\Omega}\right) \cdot (100 \text{ }\mu\text{V} - 10 \text{ }\mu\text{V}) \cong 9,1 \text{ mV}$$

O sinal de saída amplificado pode ser observado na Figura 30.

Figura 30. Sinal de Saída, após passar por amplificação.



De fato o valor da amplitude do sinal de saída assume uma magnitude de aproximadamente 9,1 mV. Na simulação pode ser observado que na saída o sinal sofreu um *offset* de aproximadamente 5 mV.

4.2 PRÁTICA

Para a análise prática foram realizados dois experimentos, o primeiro com o auxílio de um gerador de funções e o segundo com voluntários.

Na primeira etapa, o gerador de funções criava pulsos que representavam o comportamento dos biopotenciais do olho. Para isso, foram feitos ajustes parecidos aos realizados na simulação computacional.

Durante o experimento observou-se que o gerador produzia pulsos de até 10 mV, sua escala mínima, e por isso, os valores de 10 mV e 100 mV foram usados para simular o biopotencial, como pode ser observado na Figura 31 e Figura 32.

Figura 31. Gerador de Funções, responsável por gerar o sinal de 10 mV.



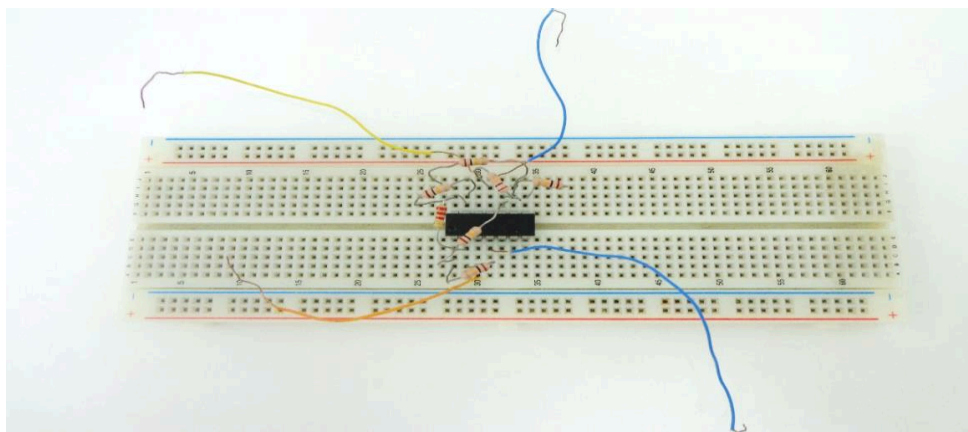
Como os sinais gerados pelo gerador de funções, possui amplitude mínima de 10 mV, esse primeiro teste funcionará como uma espécie de “teste de prova”.

Figura 32. Gerador de Funções responsável por gerar o sinal de 100mV.



Com o uso de uma placa protoboard foi possível montar o circuito de aquisição deste sinal. O circuito pode ser verificado na Figura 33, e, consiste em um amplificador de instrumentação. As duas entradas de sinais, são ligadas aos fios de cor amarelo e laranja, ou seja, neles são conectados os sinais oriundos do gerador, na primeira etapa, e na segunda, os sinais oriundos dos eletrodos. Esses dois fios representam respectivamente as entradas V_1 e V_2 , ou, “sinal_1” e “sinal_2”. Os dois fios azuis são de cima para baixo, “VCC_menos” ou potencial negativo e “VCC_mais” ou potencial positivo do amplificador.

Figura 33. Circuito para a aquisição de biosinal.



Os resistores usados para a confecção deste sistema de aquisição de biosinais, foram seis resistores de 100 k Ω e um de 2,2 k Ω . Este último, representando o resistor de ajuste de ganho do amplificador de instrumentação.

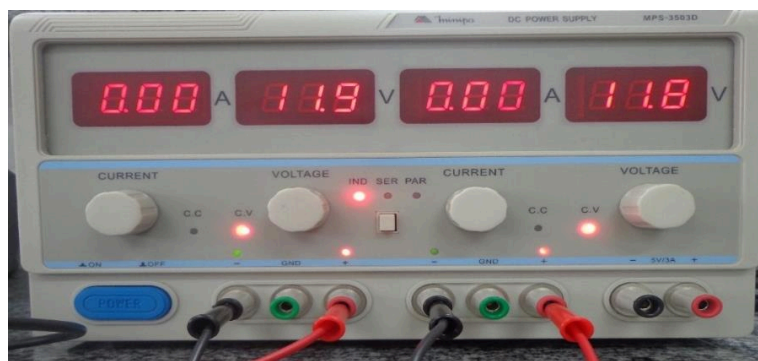
Foi visto no capítulo 2 a equação de ganho do amplificador de instrumentação. Para este sinal tem-se que a tensão de saída é dada por:

$$V_0 = \left(1 + \frac{2(100 \text{ k}\Omega)}{2,2 \text{ k}\Omega} \right) \cdot (100 \text{ mV} - 10 \text{ mV}) \cong 9,1 \text{ V}$$

Assim, tem-se que a tensão de saída será de aproximadamente 9,1 V.

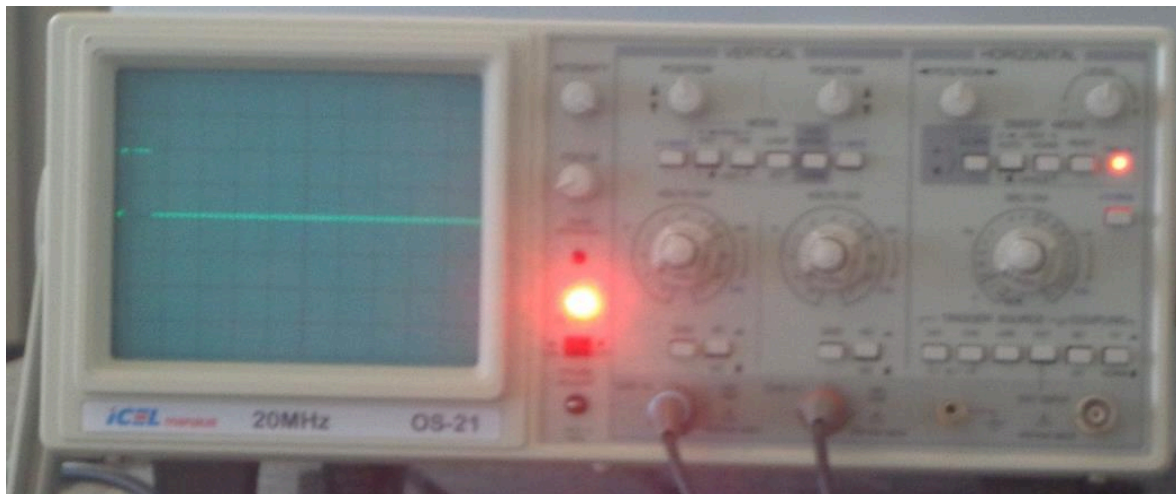
A alimentação do amplificador de instrumentação foi feita com o auxílio de uma fonte simétrica de alimentação como mostrado na Figura 34, e esta, fornecia 12 V ao amplificador. A conexão simétrica é feita ligando o polo negativo de uma das fontes ao positivo da outra, este local funcionará como o GND do circuito. Os outros dois pólos, positivo e negativo, alimentam diretamente o amplificador.

Figura 34. Fonte de Alimentação do amplificador de instrumentação.



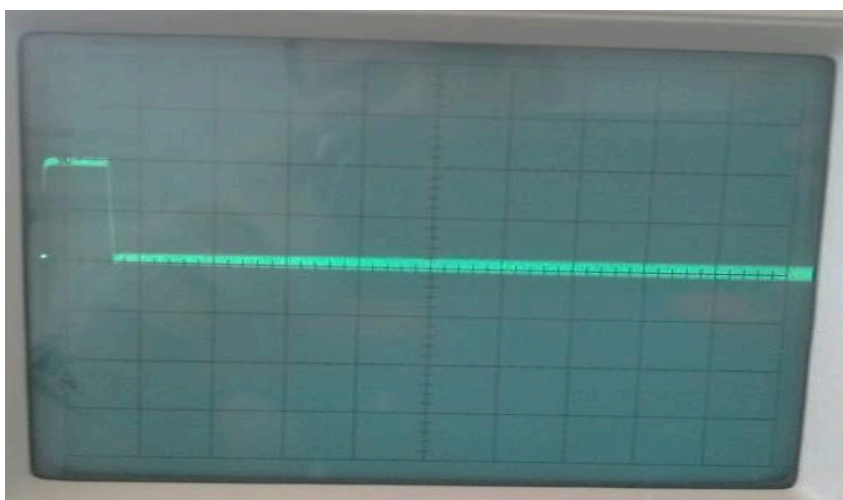
A leitura do sinal fornecido pela saída do amplificador é feita no osciloscópio e pode ser verificada na Figura 35, e como pode ser observado, o sinal de saída atinge a faixa dos 9 V.

Figura 35. Sinal oriundo dos geradores de sinais, após passarem por amplificação.



O ajuste no amplificador foi na escala de 5 V/unidade e a frequência de 10 Hz. O que auxilia na confirmação quanto aos dados destes biosinais. Na Figura 36, o pico do pulso atinge aproximadamente 2 unidades, porém ao aproximar a imagem, pode-se verificar que o sinal possui aproximadamente 9 V, que está dentro da faixa de precisão dessa medição.

Figura 36. Sinal de saída aproximadamente 9V.



Ainda na Figura 36, é possível ver a existência dos tempos *rise* e *fall*. Para esses sinais oriundos do gerador de funções, o osciloscópio se mostrou bastante eficaz na leitura.

Após os testes realizados com o gerador de funções, foram feitas quatro aquisição de sinais, usando voluntários, das quais três serão relatadas a seguir. O material usado para a aquisição dos sinais consiste em eletrodos de superfície que podem ser visto na Figura 37, um gel condutor como verificado na Figura 38, e cabos para conectarem os sinais detectados nos eletrodos para o amplificador de instrumentação, onde este amplificou o sinal para sua análise.

Figura 37. Eletrodos de Cloreto de Prata (AgCl).



Os eletrodos mostrados na figura acima são do tipo 2223 BRQ, da marca 3M, normalmente indicado para aquisição de sinais em meio hospitalar, e para uso descartável.

O gel condutor age de maneira a otimizar a captação de sinal, auxiliando os eletrodos.

Figura 38. Gel condutor.



Como visto no capítulo 3 para a aquisição do sinal EOG, os eletrodos foram posicionados próximos aos olhos, possibilitando assim a aquisição dos sinais oriundos do movimento horizontal destes.

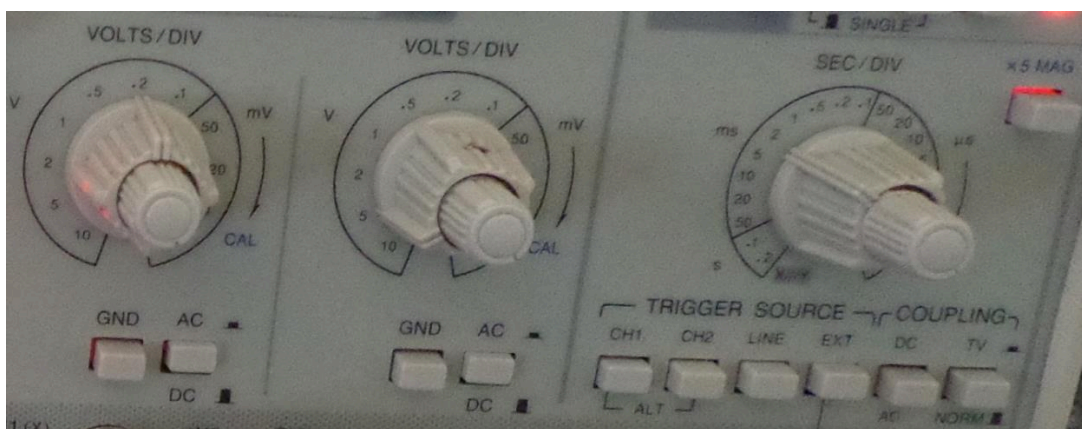
Os eletrodos agem neste caso como uma espécie de transdutor, de tal forma a ser possível a conversão de biosinais em sinais elétricos que podem ser processados por sistemas eletrônicos. O gel condutor além de auxiliar na condução de correntes iônicas e elétricas, ainda ajuda a reduzir os ruídos coletados.

Para a aquisição dos biosinais, não foi usado o eletrodo que assume o papel de ponto de referência, e por isso, os sinais se apresentam de forma um pouco diferente ao comumente encontrado na literatura. No caso de não existir o ponto de referência, a leitura de um biopotencial EOG, só poderá ser feita pela alteração em sua largura de pulso. As figuras da aquisição feita por cada voluntário serão mostradas e comentadas a seguir.

Como os potenciais variam de pessoa para pessoa, cada sinal adquirido apresentou-se de uma forma diferente da outra.

Para todos os testes em voluntários o osciloscópio foi ajustado de modo que a amplitude em seu mostrador variava com 0,2 V/unidade com a vertical e um período de 2 ms/unidade com a horizontal como pode ser visto na Figura 39. Foi realizada apenas uma calibração no equipamento de forma que esta foi utilizada para a análise de todos os voluntários. À esquerda observa-se as configurações dos canais 1 e 2 de tensões e à direita as configurações da escala de tempo.

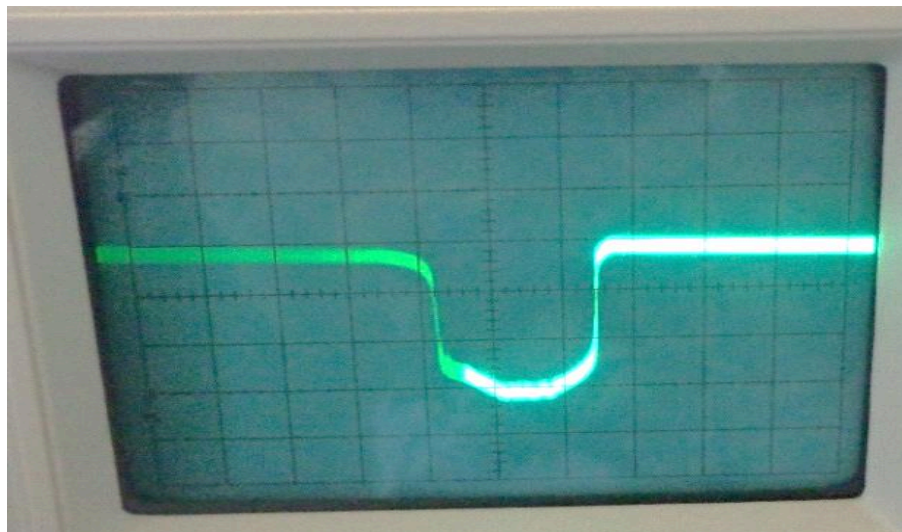
Figura 39. Configurações realizadas no osciloscópio para a análise dos biosinais em voluntários.



Para a leitura dos biosinais utilizou-se apenas o canal 1 do osciloscópio, no qual era possível visualizar a saída do sinal após amplificado.

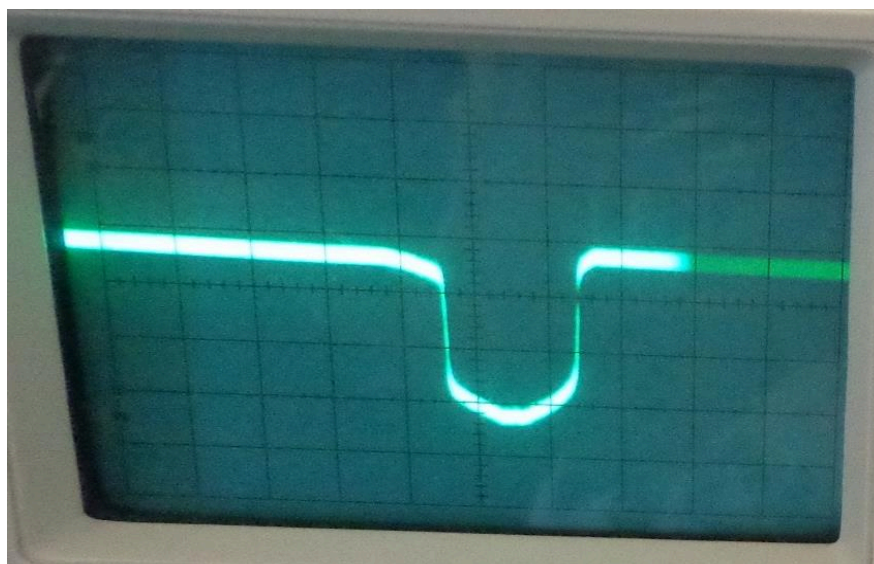
Na Figura 40, pode ser visto o sinal adquirido com o primeiro voluntário, apresentando-se como esperado, na forma de pulso elétrico. Sua amplitude atingiu a faixa de 0,6 V e uma largura de pulso de 4,4 ms.

Figura 40. Sinal adquirido com o primeiro voluntário.



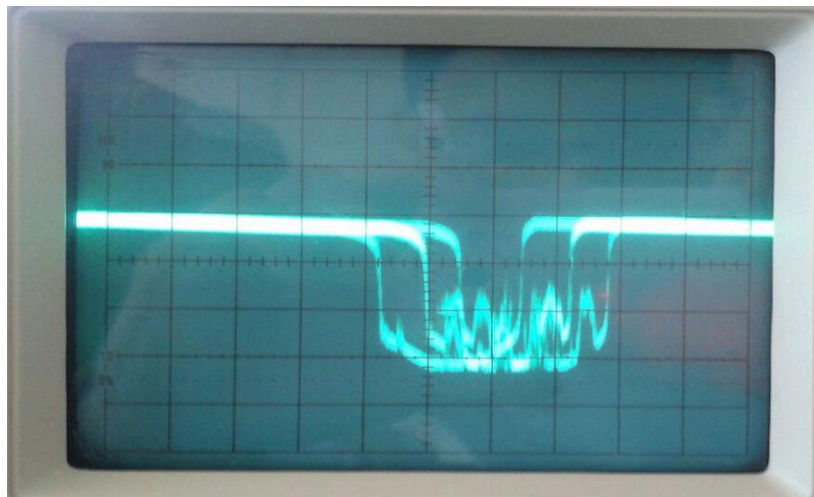
Como pode ser verificado na Figura 41, o sinal obtido se assemelha ao adquirido no voluntário 1, porém, como já mencionado anteriormente, os sinais variam de um indivíduo para outro, com a luminosidade do ambiente, situação em que a pele do paciente se encontra, entre outros fatores. No voluntário 2 a amplitude é de aproximadamente 0,64 V com largura de pulso de 3,6 ms.

Figura 41. Sinal adquirido com o segundo voluntário.



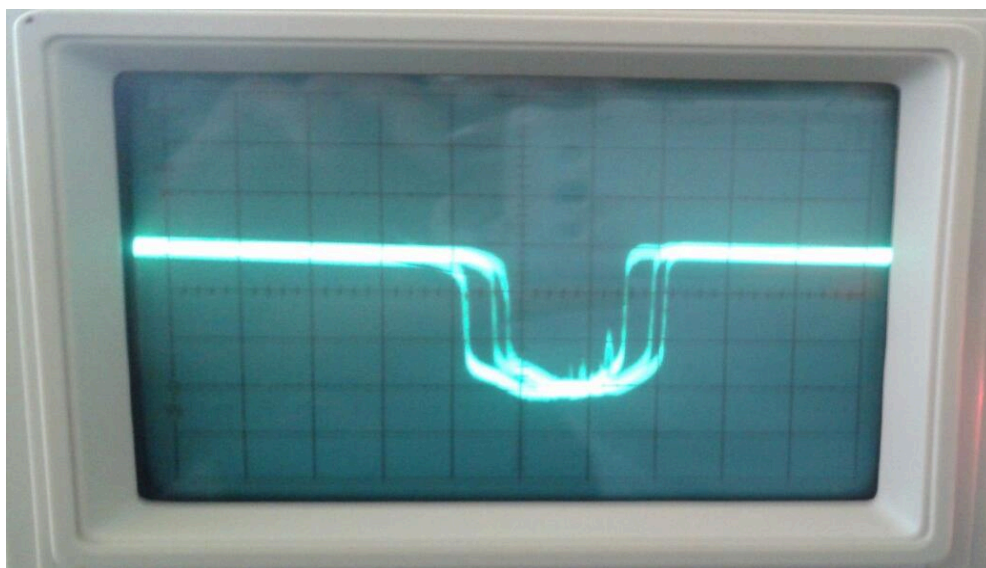
O terceiro voluntário foi o que apresentou as melhores respostas à este sinal, ou seja, o que foi possível verificar maiores variações ao olhar para a direita e esquerda. Na Figura 42, pode-se visualizar a onda gerada ao olhar para a direita.

Figura 42. Sinal adquirido quando o terceiro voluntário olhava para a direita.



Ao olhar para a esquerda, como indicado na Figura 43, o mostrador, reduzia os índices de perturbações e a onda produzida assumia características parecidas ao dos dois primeiro voluntários.

Figura 43. Sinal adquirido quando o terceiro voluntário olhava para a esquerda.



Em síntese, com a variação de voluntários, pode-se ter uma dimensão que embora o potencial varie de pessoa para pessoa, de um modo geral ele permanece em uma faixa estreita

de amplitudes e larguras de pulso.

Nos sinais adquiridos com o voluntário 3, no entanto, foi possível notar uma alteração da sua largura de pulso e da amplitude ao olhar para a direita e esquerda. Enquanto ao olhar para a direita sua largura de pulso era de 4,4 ms, ao olhar para a esquerda essa largura passava a assumir o valor de 4,6 ms. As mesmas influências podem ser percebidas quanto a sua amplitude, que quando o voluntário olhava para a direita essa era de aproximadamente 0,6 V, e para a esquerda era de 0,63 V.

Os resultados se mostraram coerentes com a literatura e sua aquisição pode abrir vários campos de pesquisa e extensão. O eletrooculograma implementado serve de base para aplicações de controle e processamento que dependem da aquisição deste biopotencial.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Com o estudo realizado e a análise feita por meio de experimentos práticos e simulações computacionais, pode-se ter uma noção do que são os biopotenciais, como eles interagem no ser humano, e como podem ser úteis para o estudo de atividades fisiológicas e patologias, bem como, para o auxílio a pessoas com deficiência. Foram analisadas as formas de aquisição, instrumentação necessária, e como estas reagem quando em contato com os biopotenciais.

Os resultados obtidos por meio de experimentos práticos se mostraram coerentes com os encontrados na literatura disponível. O eletrooculograma desenvolvido pode ser utilizado como base para aplicação em diversos campos.

A realização deste trabalho é um estudo inicial dos biopotenciais, com ênfase no eletrooculograma, que serve como um guia para futuras aplicações. Como melhorias a serem implementadas em trabalhos futuros, têm-se:

- Utilização de filtros capacitivos, para aprimorar os sinais adquiridos;
- Captação dos sinais realizados por movimentos na vertical;
- Utilização de conversores ADC, para conversão dos sinais analógicos em digitais, que possibilitam o uso destes biosinais para implementação eletrônica;
- Desenvolvimento de um mouse controlado pelo movimento do olho humano que ajude a pessoas com deficiência na sua comunicação e interação com o meio digital.

Outros trabalhos podem ser originados a partir deste estudo, que é capaz de se adequar facilmente à inúmeras finalidades.

REFERÊNCIAS

ARNOLD, E. **Introduction to Medical Electronics Applications**. Londres: PLC, 1995.

ARRAIS JUNIOR, E.; SOUZA, F. R. **Eye movement controlled mouse pointer**. *In*: CHIP IN THE PAMPA, 2008, Gramado – RS. VIII Microelectronics Students Forum, 2008.

BATISTA, A. L.; CARAVELA, B.; GOÍS, B. **Potenciais Visuais Evocados**. Lisboa, 2011. 14p. Mestrado Integrado Engenharia Biomédica, Instituto Superior Técnico/ Faculdade de Medicina, Universidade de Lisboa. Disponível em: <<https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBwQFjAA&url=https3A%2F%2Fnebm.ist.utl.pt%2Frepositorio%2Fdownload%2F2300%2F0&ei=VcPPU8vgBO7gATk74C4DA&usg=AFQjCNHsrl4CmJtmY8fdHWLn-glm4wKVdw&bvm=bv.71667212,d.cWc>>. Acesso em: 26 de jun. de 2014.

BRASIL. Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República; Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência; Coordenação-Geral do Sistema de Informações sobre a Pessoa com Deficiência. **Cartilha do Censo 2010 – Pessoas com Deficiência**. Brasília – DF: 2012.

ISKANDAR, J. I. **Normas da ABNT Comentadas para Trabalhos Científicos**. 5. ed. Curitiba: Juruá, 2012. 98 p.

LIMA, L. A. *et al.* **Sistema baseado em Eletrooculograma para controle de dispositivos computacionais**. *In*: VI CEEL, 2008, Uberlândia – MG. Anais da VI Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, 2008.

LIMA, D. S.; BORGES, F. S.; OKUBO, I. A. H. **Manipulação em tempo real de sinais eletrooculográficos para o controle de um teclado virtual**. *In*: VIII CEEL, 2010, Uberlândia – MG. Anais da VIII Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, 2010.

MALMIVUO, J.; PLONSEY, R. **Bioelectromagnetism**. Principles and Applications of Bioelectric. New York, Oxford: Oxford University Press, 1995. Disponível em: <<http://www.ccs.fau.edu/~bressler/EDU/NSP/References/BioElecMag.pdf>>. Acesso em: 20 de

jun. de 2014.

MEC. Ministério da Educação. Educação, Secretaria de Educação Especial. **Formação Continuada a Distância de Professores para o atendimento Educacional Especializado**. Brasília – DF: 2007.

NAGEL, J. H. Biopotential Amplifiers. *In*: BRONZINO, J. D. **The Biomedical Engineering Handbook: Vol.1**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press LLC, 2000. p. 801 – 812.

NEUMAN, M. R. Biopotential Electrodes. *In*: BRONZINO, J. D. **The Biomedical Engineering Handbook: Vol.1**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press LLC, 2000. p. 1229 – 1242.

PRUTCHI, D.; NORRIS, M. **Design and development of medical electronic instrumentation: a practical perspective of the design, construction, and test of material devices**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005. Disponível em: <<http://www.kelm.ftn.uns.ac.rs/literatura/pbmums/pdf/MedicalElectronicInstrumentation.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2013.

QUILLFELDT, J. A. Origem dos Potenciais elétricos das células nervosas. *In*: NUNES, R. R. (Org.). **Anestesia e Monitorização do Sistema Nervoso central**. 1. ed. Natal: Editora Médica, 2005. p. -. Disponível em: < <http://www.ufrgs.br/mnemoforos/arquivos/potenciais2005.pdf>>. Acesso em: 8 de maio de 2014.

RAJAN, A.; GIRIDHARAN, S. R.; JAYARAMAN, V. R. **Electrooculogram based Instrumentation and Control System (IC System) and its Applications for Severely Paralysed Patients**. 2006. Biomedical and Pharmaceutical Engineering Conference, 2006. Published in ICBPE – IEEE.

SILVA, R. E. A. P. **Captação e Transmissão de Biopotenciais**. Rio de Janeiro, 2014. 36 p. Dissertação (Graduação em Engenharia Eletrônica e Computação) – Escola Politécnica, Departamento de Eletrônica e de Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010791.pdf>>. Acesso em: 29 de jul. de 2014.

STETTEN, G. D. Sistem Vision. *In*: BRONZINO, J. D. **The Biomedical Engineering Handbook: Vol.1**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press LLC, 2000. p. 64 – 72.

THAKOR, N. V. Biopotentials and Electrophysiology Measurement. *In*: WEBSTER, J. G. **The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook**. Boca Raton: CRC Press LLC, 2000. p. 1947 – 1965.

VALE-CARDOSO, A. S. **Instrumentação e Metodologias de Medição de Biopotenciais**. Minas Gerais, 2010. 141 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.cpdee.ufmg.br/defesas/213D.PDF>>. Acesso em: 17 de abr. de 2014.

VEHKAJOJA, A. T. *et al.* **Wireless Head Cap for EOG and Facial EMG Measurements**. *In*: ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY 27th ANNUAL CONFERENCE, Shanghai, China. 2005. Proceedings of the IEEE. pp. 5865-5868, 2005. Disponível em: <<http://stefan.eigendynamik.ch/aigaion/attachments/Wireless%20Head%20Cap%20for%20OG%20and%20Facial%20EMG%20Measurements.pdf>>. Acesso em: 21 de nov. de 2013.

VENKATARAMANAN, S. *et al.* **Biomedical Instrumentation based on Electrooculogram (EOG) Signal Processing and Application to a Hospital Alarm System**. 2005. Intelligent Sensing and Information Processing, 2005. Proceedings of ICISIP, p. 535-540, 2005.