

Uso de Brain Computer Interface para controle de Próteses Mecânica.

TOLEDO, Andrew Furtado Salles¹
Centro Universitário Academia - UniAcademia
NOGUEIRA, Fernando José²
Centro Universitário Academia - UniAcademia

Linha de pesquisa: Automação

RESUMO

Este trabalho tem como intenção realizar uma revisão bibliográfica sobre o uso de Brain Computer Interface (*BCI*) como controle de próteses mecânicas, utilizando os impulsos elétricos do cérebro, que são responsáveis pelos movimentos dos membros do corpo humano. Apesar de ser uma tecnologia não muito acessível no momento em que este trabalho foi escrito, os *BCIs* permitem que o controle de uma prótese se assemelhe ao máximo com o controle natural dos membros do corpo, fazendo com que pessoas portadora Esclerose Lateral Amiotrófica (*ELA*), de Esclerose Múltipla, tenha perdido o movimento do braço ou perna, ou de qualquer outra deficiência física e matem a capacidade cognitiva intacta consiga se adaptar melhora a prótese e gerar menos traumas do que uma com movimentos limitados. Também será abordado o funcionamento do cérebro, quais são as partes que comandam os membros do corpo e como identificar qual tarefa deve ser realizada pela prótese.

Palavras-chave: Brain Computer Interface, Prótese mecânica, Biotecnologia.

¹ Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Academia – UniAcademia.

² Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia – UniAcademia.

1. INTRODUÇÃO

Durante anos ter um braço biônico era algo possível somente nas histórias ou filmes de ficção científica. Com o avanço da medicina juntamente com a engenharia se tornou possível um estudo mais aprofundado do corpo humano, podendo observar seu funcionamento de maneira mais detalhada proporcionando um estudo mais aprofundado.

Com o desenvolvimento do Brain Computer, pessoas portadoras de Esclerose Lateral Amiotrófica (*ELA*), tumor na Medula Espinhal, Distrofia Muscular dos membros ou tenha perdido a capacidade de mover braços e pernas voluntariamente, porém ainda mantendo a capacidade cognitiva intacta, serão as que mais se beneficiarão deste estudo (BAYLISS, 2001).

O controle da prótese será realizado a partir da atividade neural, para essa atividade ser medida de uma forma menos invasiva se faz uso da Ressonância Magnética funcional (*fMRI*), Magneto encefalografia (*MEG*), Tomografia por Emissão de Positrons (*PET*) e Eletrocardiograma (*EEG*). Recentemente foi obtido resultados com sucesso no uso de *BCs* baseados em *EEG* para controle de dispositivos robóticos, possibilitando um provável uso desta tecnologia para controlar próteses (AZEVEDO, 2005). Este trabalho irá enfatizar este estudo, o aparelho usado para se observar os impulsos elétricos desses setores e como usá-lo para controlar próteses.

1.1 MOTIVAÇÃO

A principal motivação foi a possibilidade de poder ajudar as pessoas que necessitam de uma prótese a se adaptar melhor ao uso dela, tentando aproximar seu funcionamento ao máximo do membro que está substituindo. Mesmo não sendo um projeto que irá auxiliar pessoas que não possuem capacidade cognitiva intacta, essa tecnologia pode ser usada para melhorar a vida de várias pessoas e pode ser aplicada em outros seguimentos.

Além disso, outra motivação para a construção deste trabalho é tornar mais acessível este tema, trazendo uma visão geral sobre o assunto e de uma forma clara.

1.2 OBJETIVO

O foco deste projeto foi encontrar maneiras de aproximar o funcionamento de próteses mecânicas ao de um membro natural, para que o usuário da mesma tenha uma melhor adaptação. Além de melhorar o tempo de ação e reação da prótese mecânica, o controle através de um *BCI* pode diminuir o impacto psicológico da pessoa que perdeu seu membro, já que se assemelha ao movimento natural do corpo. Durante o trabalho foram analisadas dissertações de mestrado que contêm como tema o uso de *BCIs* para controle de movimentos de dispositivos tecnológicos.

1.3 METODOLOGIA

Durante o projeto foi pesquisado pelo autor dissertações de mestrado e artigos científicos que têm como tema o uso de *BCIs* como controle de dispositivos tecnológicos através do reconhecimento dos impulsos elétricos do cérebro responsáveis pelas funções motoras do corpo.

Como se trata de uma revisão bibliográfica, não houve coleta de dados. Foi feita a leitura das dissertações e artigos e fichamentos das partes mais voltadas para o uso do *BCI* no controle dos dispositivos e como é feita essa conexão com o cérebro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste trabalho foram analisadas diversas dissertações e artigos, que possuem como principal tema o uso de *BCIs* para controle de dispositivos eletrônicos.

Esses trabalhos foram selecionados por possuírem um estudo mais aprofundado aos *BCIs* e as possibilidades de uso dessa tecnologia para se efetuar um controle que é enviado diretamente do cérebro para o mecanismo desejado.

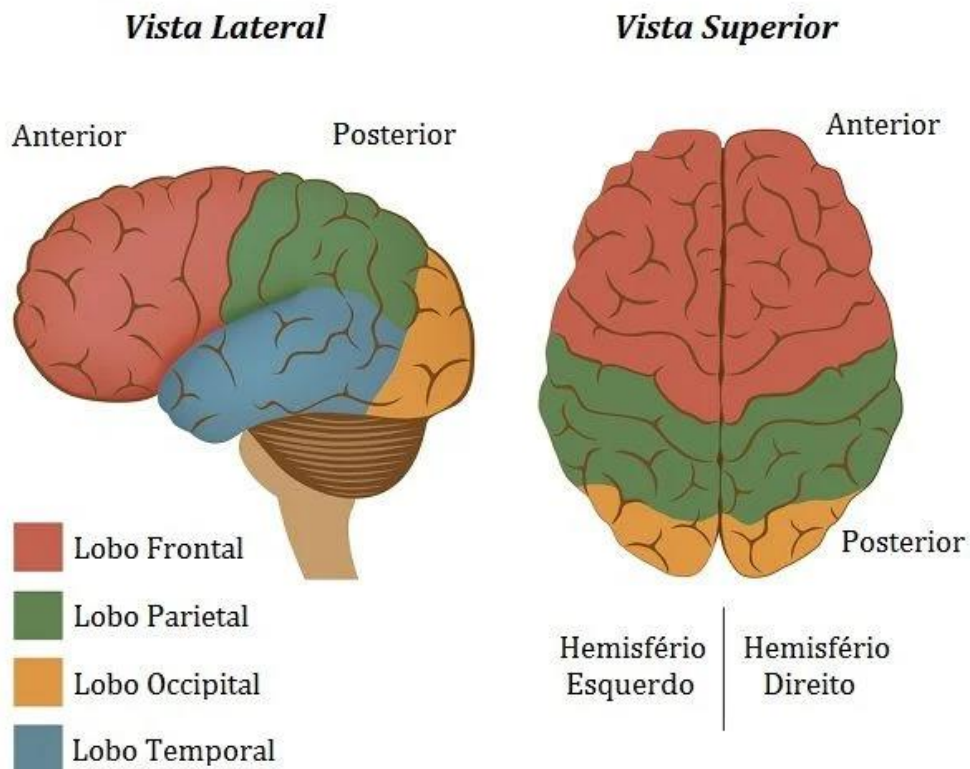
3 DESENVOLVIMENTO DO TEMA

3.1 CÉREBRO HUMANO

O cérebro é o responsável por comandar as funções motoras do corpo, realizar a comunicação dos estímulos sensoriais e as atividades neurológicas, sendo ele um dos órgãos mais do corpo humano. Ele é formado pelo córtex cerebral e o núcleo cerebral.

O córtex cerebral possui uma coloração cinza, sendo composto principalmente por neurônios, sua principal função é processar informações e de linguagem. Ele pode ser dividido em lobos cerebrais, sendo possível classificá-los em quatro categorias, lobo frontal, lobo parietal, lobo occipital e lobo temporal, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Lobos Cerebrais.



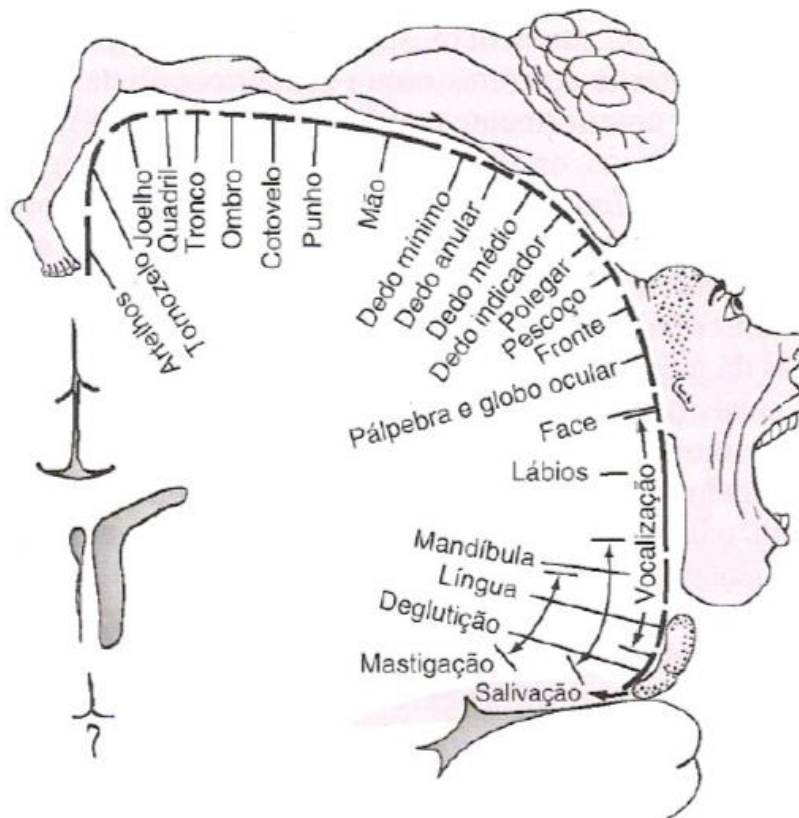
Fonte: Disponível em: <<https://static.todamateria.com.br/upload/56/78/56784e94abd35-cerebro.jpg>>,

Acesso em: 20 de nov. 2021.

O lobo frontal é responsável pelo pensamento, planejamento e pelas emoções, o lobo parietal está relacionado a sensação de dor, tato, temperatura e pressão, o lobo occipital processa as informações visuais e o lobo temporal é responsável pela audição, processamento da memória e, assim como o lobo frontal, está relacionado as emoções (SANTOS, 2018).

Já o núcleo cerebral possui coloração branca, também constituído por neurônios, ele permite que o córtex cerebral se comunique com os órgãos sensoriais e os músculos do corpo. A Figura 2 ilustra quais partes do córtex são responsáveis por movimentar cada membro do corpo.

Figura 2 - Grau de representação dos diferentes músculos do corpo no córtex motor.



Fonte: A. C. Guyton e J. E. Hall, (2002).

Além dos quatro lobos, podemos dividir o cérebro em hemisfério direito e hemisfério esquerdo. Sendo o hemisfério direito o responsável pela consciência artística, criatividade, intuição, imaginação e, se esse for o hemisfério dominante, a

pessoa será canhota. Por outro lado, o hemisfério esquerdo é responsável por pensamentos analíticos, raciocínio, linguagem, lógica, escrita e, se esse for o hemisfério dominante, a pessoa será detráis.

3.2 ELETROENCEFALOGRAMA (EEG)

O estudo sobre as ondas cerebrais se deu início em 1929, pelo psiquiatra alemão chamado Hans Berger, ele descobriu que era possível registrar pequenos sinais de correntes elétricas geradas no cérebro sem a necessidade de abrir o crânio do indivíduo para colocar os eletrodos. Durante seu estudo ele conseguiu observar que os sinais mudavam de acordo com o estado da pessoa que estava sendo estudada, durante o sono, na anestesia, na ausência de oxigênio e em algumas doenças nervosas. Nessa época, os sinais eram registrados em papéis e Berger nomeou esse tipo de leitura de eletroencefalograma (*EEG*) (SANTOS, 2018).

Num primeiro momento, Berger chamou a frequência dominante de baixa frequência de primeira ordem e as outras de alta frequência de segunda ordem. Mais tarde, ele optou por usar uma nomenclatura mais simplificada, as ondas de primeira ordem foram chamadas de alpha (α) e as ondas de segunda ordem de beta (β).

No ano de 1958, Joe Kamiya deu início a uma nova linha de pesquisa com objetivo de descobrir se o ser humano teria a capacidade de controlar os sinais emitidos pelo cérebro. Seus experimentos eram feitos em duas etapas, primeiro o indivíduo fechava os olhos e ouvia sons com frequência α que eram colocados durante as sessões, então era perguntado qual som ele estava ouvindo e informava se ele estava certo ou errado. Na segunda etapa, a pessoa era induzida a entrar no estado α ao ouvir o som de uma campainha. Com isso foi possível descobrir que este estado estava relacionado ao relaxamento (GOMES, 2015). A partir desses experimentos se deu início aos estudos sobre os sinais do cérebro, encontrando as frequências principais de seu funcionamento, alpha(α), beta(β), theta (θ), delta (δ) e gamma (μ). No *BCI* as frequências utilizadas para gerar movimento são a μ e β .

3.3 BRAIN COMPUTER INTERFACE (BCI)

O *BCI* é um dispositivo que possibilita que seu usuário possa interagir com o meio externo através do controle consciente de seus pensamentos, processando o sinal cerebral, é possível formar uma via de comunicação direta entre o cérebro e o computador.

O *BCI* envolve a monitoração da atividade cerebral com o objetivo de detectar alterações de padrões nos impulsos elétricos do cérebro, através de algoritmos e processamento do sinal, com o objetivo de transformá-las em uma forma de comunicação com outro dispositivo. No caso deste trabalho, transformar as alterações em movimento para uma prótese mecânica. Como o *BCI* se utiliza de impulsos gerados diretamente pelo cérebro isso possibilita que pessoas que sofreram acidentes, portadoras de Esclerose Lateral Amiotrófica, de Esclerose Múltipla, ou de qualquer outra deficiência física e matem a capacidade cognitiva intacta, consigam se beneficiar desta tecnologia (BAYLISS, 2001). No entanto, isso não exclui a possibilidade de utilizar esse equipamento para fins multimídia, como simuladores de realidade virtual, controle de empilhadeiras e braços robóticos.

Existem diversas técnicas de imagem cerebral, no entanto, a mais utilizada pelo *BCI* para monitorar a atividade cerebral é o *EEG* devido sua alta resolução temporal (a atividade cerebral é detectada rapidamente), ter baixo custo, ser portátil e possibilita a implementação em tempo real (AZEVEDO, 2005).

Um *BCI* ideal seria um sistema no qual a pessoa pensaria no seu comando e o sistema identificaria de forma automática. Entretanto, este sistema ainda não é possível atualmente. Com isso, as pesquisas usam como referência o conhecimento obtido atualmente do cérebro para projetar um *BCI* tendo duas abordagens distintas, uma delas é a de Reconhecimento de Padrões e é baseada em tarefas mentais cognitivas e a outra é a Abordagem do Condicionamento do Operador que é baseada na autorregulação do sinal do *EEG*.

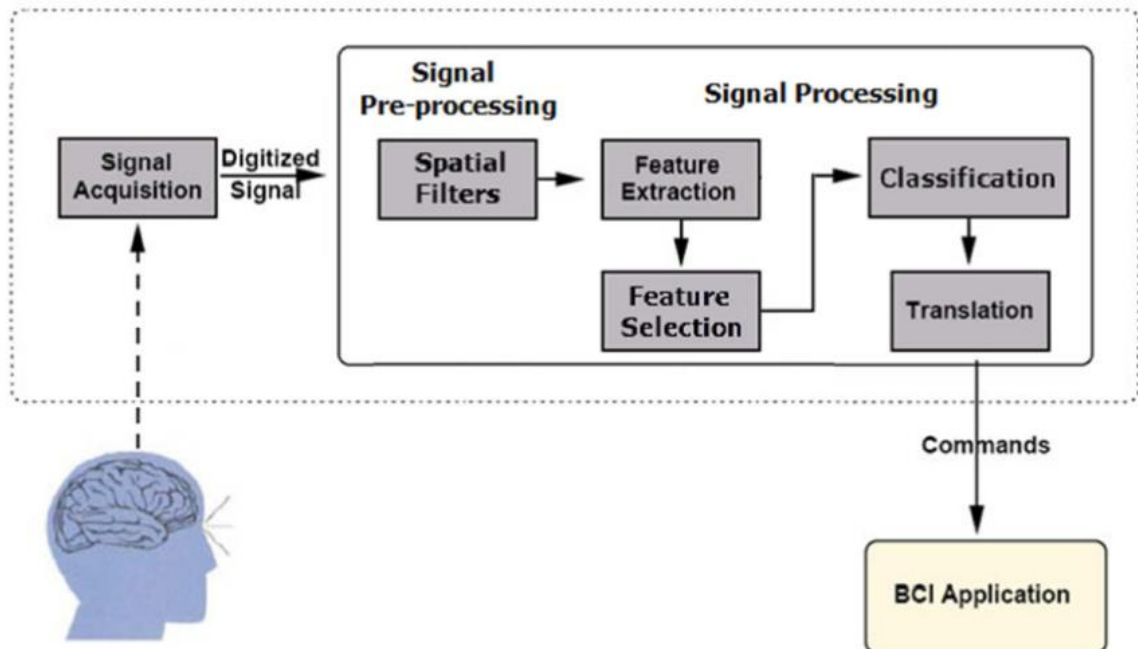
3.4 INTERLIGANDO O BCI A PRÓTESE

A ideia de aprimorar prótese mecânicas não é algo novo, existe uma busca constante de aproximar ao máximo o funcionamento da prótese ao do próprio corpo humano. Durante a análise das dissertações foi possível ter um entendimento mais

claro de como é feita a coleta dos impulsos elétricos do cérebro, sua interpretação e o uso das informações adquiridas para gerar movimento.

A leitura é feita pelo *BCI*, que pode usar *EEG*, *fMRI*, *MEG* ou *PET* para identificar os impulsos elétricos do cérebro, em seguida é feita uma análise e a classificação desses impulsos e é selecionado apenas os que são responsáveis pela função motora do corpo, e enviado ao dispositivo eletrônico ligado ao *BCI*. Essa classificação pode ser observada na Figura 3.

Figura 3 – *BCI* timeline.



Fonte: Alessandro Botti Benevides, 2013.

Como é um comando relacionado a função motora do cérebro é preciso que o usuário da prótese faça o treinamento de seu cérebro para controlá-la, semelhante a uma pessoa que se acidenta e perde temporariamente os movimentos dos membros necessita de realizar exercícios motores para retomar seu controle. Além disso, como cada pessoa faz um caminho diferente para o controle motor do corpo, o BCI tem que aprender com o usuário o que um determinado impulso elétrico significa e como ele deve ser executado (BENEVIDES, 2013). Para uma interpretação melhor dos dados é necessário um *software* que irá ler os dados, compara com os que estão armazenados em um servidor, transformar em um sinal de irá definir qual é o

movimento desejado. Como é uma leitura complexa, o *BCI* tem que estar conectado a um computador para ter acesso ao banco de dados do servidor.

O *software* precisa ser treinado para conseguir descobrir o que o usuário está pensando. É utilizado um sinal de amostra vindo do *BCI*, que é processado, sendo removido ruídos indesejáveis, depois é extraído informações mais simplificadas que será utilizado para o treinamento do *software* (*machine learning*), criando um modelo. Depois que esse modelo é treinado o equipamento está pronto para ser utilizado, durante o uso do equipamento será classificado os sinais para identificar o pensamento do usuário, quando o sinal é identificado o sistema realiza a ação desejada. Para que a prótese funcione melhor, o sistema fica constantemente aprendendo com o usuário e armazenando novos dados coletados que sejam relacionados a função da prótese (BENEVIDES, 2013). As Figuras 4 e 5 demonstram como é realizada a comunicação entre o cérebro e o *BCI*.

Figura 4 – *BCI* com abordagem de condicionamento do operador.



Fonte: Anderson Prado Azevedo, 2005.

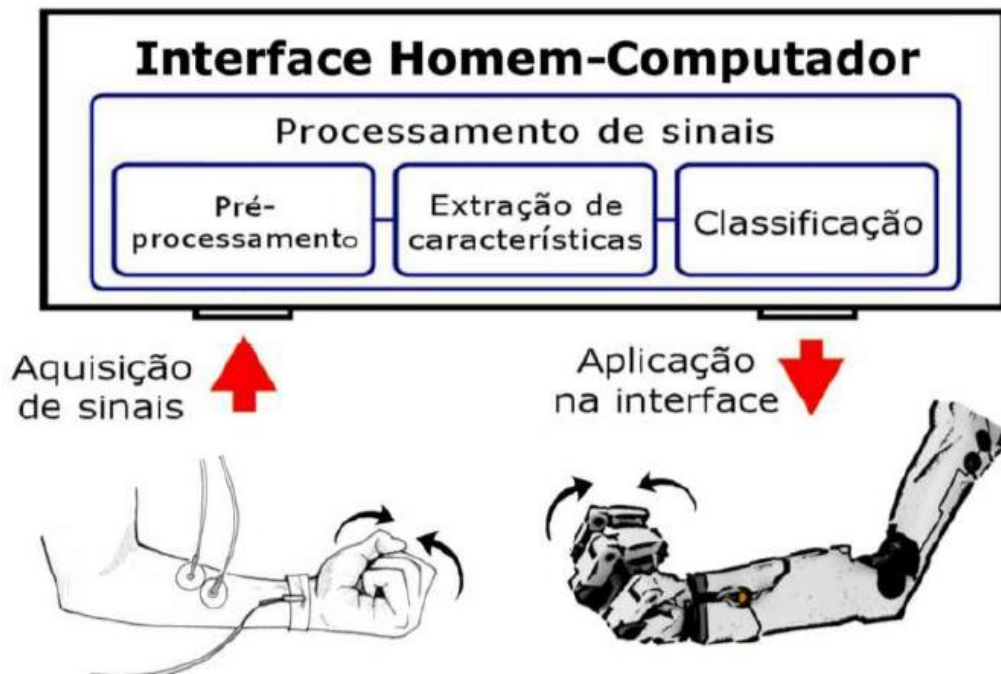
Figura 5 – Treinamento do *BCI* para transformação do *EEG* em um sinal de saída.



Fonte: Anderson Prado Azevedo, 2005.

A Figura 6 exemplifica o processo de obtenção do sinal e o caminho que o sinal faz até a prótese.

Figura 6 – Interface Homem-Computador. Esquema que mostra os passos de BCI que utiliza sinais MEG para comandar um braço robótico.



Fonte: Berthil Borges Long, 2005

Como existem diversos tipos de *BCIs*, como se pode observar na Tabela 1, os autores das teses buscaram selecionar a abordagem menos invasiva possível ao usuário do equipamento e o que melhor atendesse ao projeto de cada.

Tabela1- Classificação das *BCIs*.

Invasivo X Não- invasivo	Em Brain Computer Interface (<i>BCI</i>) invasivas, a atividade elétrica cerebral é medida dentro da cabeça, sobre a superfície do cérebro, fazendo uso de eletrodos implantáveis. Já as <i>BCIs</i> não-invasivas fazem uso do sinal gravado sobre o escalpo e são as mais estudadas e utilizada.
Síncrona X Assíncrona	Uma <i>BCI</i> pode ser comandada quando a atividade mental é produzida por um estímulo externo (síncrona) ou pode ser comandada de acordo com a vontade do usuário, ou seja, o usuário decide, com controle total, quando e qual atividade mental deve ser gerada (assíncrona). A <i>BCI</i> aguarda um estímulo externo para depois tomar a decisão, no entanto, elas apresentam um índice de acerto maior.
Online X Offline	Somente as <i>BCIs</i> que possuem a capacidade de trabalhar online podem suprir as reais necessidades de <i>BCIs</i> . O processamento de sinal, extração de características, a classificação e o controle do dispositivo que está sendo controlado são feitos em tempo real. No entanto, é comum a utilização de estudos offline para simulações teóricas de sistemas para <i>BCIs</i> , com o intuito de facilitar as investigações exploratórias sobre os dados. O desempenho de um estudo offline pode ser comparado com um estudo online, desde que todo eletroencefalograma gravado seja usado.
Paradigma	A classificação quanto ao paradigma utilizado refere-se a qual tipo de imaginação ou tarefa mental que o usuário deve realizar para gerar a atividade cerebral relacionada ao comando. Esta escolha depende de qual neuromecanismo a <i>BCI</i> usará com entrada. Os neuromecanismos mais comuns são o Potencial Cortical Lento, os Ritmos μ e β , o P300, o Potencial Relacionado a Movimento e o Visual Evoked Potential. Exemplos de paradigmas que podem ser citados e que geram estes neuromecanismos são a imaginação motora, tarefas aritméticas, espaciais e visuais.

Fonte: Anderson Prado Azevedo, 2005.

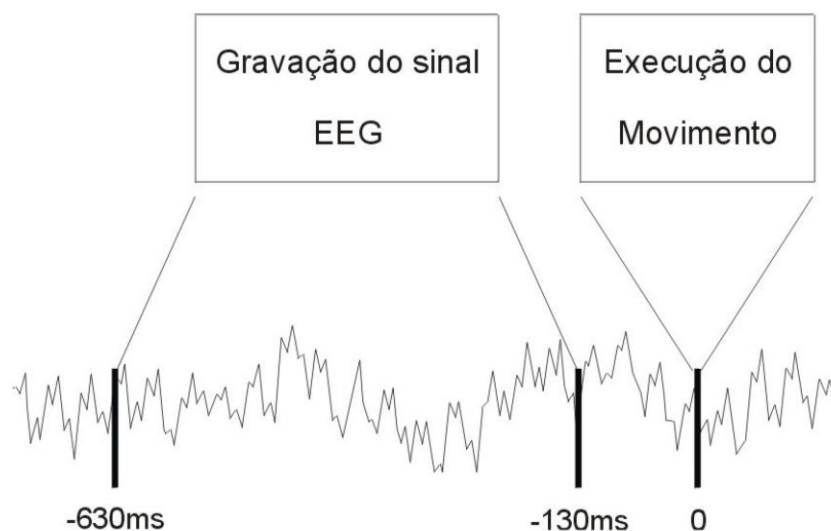
3.5 FORMAÇÃO DE BANCO DE DADOS

Existem diversos tipos de abordagens para reconhecimento dos padrões e aplicar em banco de dados, que podem ser baseados em várias características do sinal *EEG*, como autorregulação de potenciais corticais lentos (*SCPs*), autorregulação do ritmo μ e/ou β , o paradigma P300 e Imagem Motora.

A partir desses métodos é formado um conjunto de dados que consiste em um número de tentativas de atividade espontânea de *EEG*, uma parte é usada como dados de treinamento e outra parte para testes, com o objetivo de classificar corretamente os dados. Primeiro o classificador é treinado usando o conjunto de treino que melhora o desempenho do equipamento para classificar corretamente o conjunto de teste.

O tempo necessário para gravar os dados é de 500 milissegundos e termina 130 milissegundos antes da execução do movimento, normalmente essa gravação é feita referente ao tempo do estímulo, sendo chamada de época. Cada época do conjunto de treinamento é rotulada de acordo com o movimento e armazenada no servidor (AZEVEDO, 2005). Como demonstra a Figura 7.

Figura 7 – Tempo de gravação de uma época.



Fonte: Anderson Prado Azevedo, 2005.

3.6 FILTRO ESPACIAL E TEMPORAL DE DADOS

Para melhorar o sinal de controle do *EEG* é utilizado um filtro espacial e temporal dos dados, diminuindo os ruídos e impulsos relacionados a ações de outras fontes de atividade motora.

O *EEG* é o resultado de inúmeras fontes distribuídas no cérebro que atuam simultaneamente, algumas destas fontes são atribuídas a tarefas mentais. O filtro espacial é responsável por eliminar os sinais vindos de fontes indesejáveis, este filtro realiza a subtração da média dos impulsos elétricos obtidos em cada um dos canais utilizados na leitura, usando uma referência em comum, geralmente esse referencial é a orelha (McFARLAND, 1997). O referencial pode ser alterado através da expressão (1):

$$V_i^{CAR} = V_i^{RC} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n V_j^{RC} \quad (1)$$

Onde V_i^{RC} é o potencial entre o *i*-ésimo eletrodo e a referência, *n* é o número de canais e V_i^{CAR} é o potencial entre o *i*-ésimo eletrodo utilizando pela média comum, esta fórmula deve ser realizada em todas as amostras do sinal *EEG* (AZEVEDO,2005). Através desse filtro espacial é possível destacar os componentes e saber sua localização com alta precisão, sendo possível eliminar grande parte dos componentes presentes nos eletrodos.

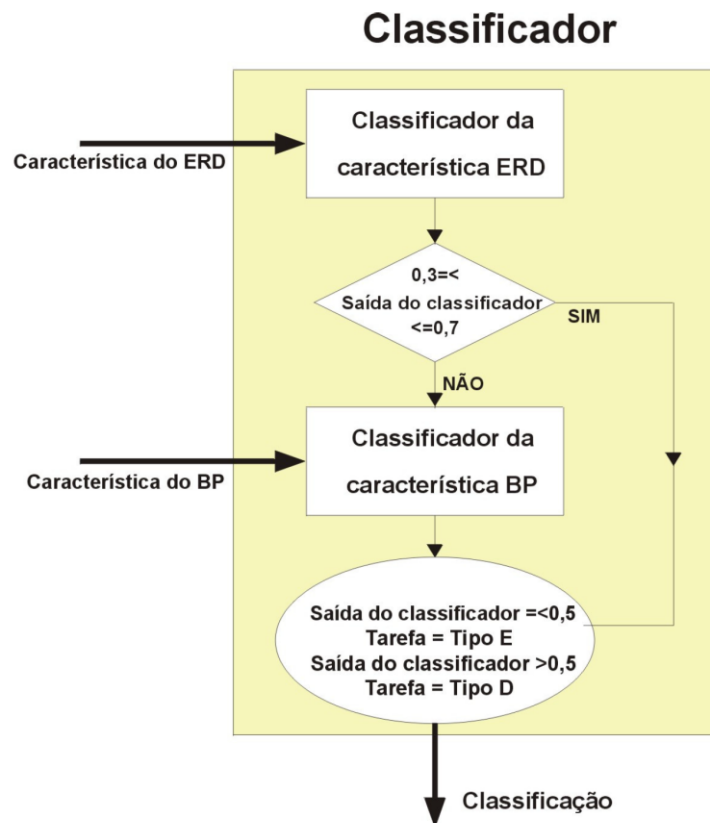
O filtro temporal elimina faixas de frequência indesejáveis no sinal, mantendo uma banda de frequência que englobe os ritmos μ (10-12 Hz) e β (14-30 Hz), pois eles são relacionados a atividades motoras.

3.7 CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS

Diversos grupos de pesquisa utilizam as informações vindas de duas características, a Dessincronização Relacionada a Eventos (*ERD*), que pode ser entendida como a atenuação na amplitude do ritmo específico no *EEG*, e o Potencial de Bereitschafts (*BP*), que é a característica mais marcante do Potencial Relacionado a Movimento (*MRP*) no domínio do tempo. Essas informações podem ser trabalhadas individualmente ou em paralelo, dando importância à duas igualmente.

Porém, esses neuromecanismos nem sempre atuam simultaneamente durante a gravação do sinal. Com isso, não é possível realizar uma melhor classificação dos dados se considerarmos apenas uma das características mencionadas, já que, a parte desprezada não será utilizada para aumentar a taxa de acerto. Por outro lado, se os dois métodos são utilizados em um mesmo classificador, também pode ser prejudicial, uma vez que ele irá se basear sempre nas duas características para fazer a classificação. Para resolver esse problema é possível realizar uma classificação de duas etapas, onde o classificador recebe cada característica separadamente, compara as duas e define a tarefa que será realizada (McFARLAND, 1997). Isso pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 – Fluxograma do classificador de padrões.



Fonte: Anderson Prado Azevedo, (2005).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Ao fim de cada trabalho os autores chegaram a resultados satisfatórios, conseguindo classificar e interpretar corretamente os comandos enviados a partir do cérebro. Conseguindo coletar dados suficiente para possíveis melhorias do sistema como todo, melhorando o tempo de resposta e a velocidade do movimento da prótese.

Utilizando esses trabalhos como embasamento científico é possível se entender melhor o funcionamento do cérebro, como é feita a leitura dos impulsos elétricos pelo *BCI*, foi notado que tanto o programa do *BCI* quanto o usuário têm que aprender um com o outro como movimentar a prótese.

Além disso, foi citado que o uso dessa tecnologia pode ser usado para reproduzir qualquer tipo de função motora através de dispositivo eletrônicos, modificando a porta de saída do *BCI*, fazendo com que ele selecione outros impulsos que são responsáveis pelo movimento desejado. Alguns exemplos dessas aplicações são o uso da função motora das cordas vocais fazer com que uma caixa de som reproduza o som desejado, o uso dos impulsos responsáveis pelo movimento do globo ocular para movimentar um olho sintético. Fazendo com que essa tecnologia seja importante para o próximo passo no avanço da medicina.

5 CONCLUSÃO

Ao final deste trabalho o autor pode observar que o uso de *BCI* como controle de próteses não é algo que seja impossível de se realizar. Houve um grande avanço nessa parte da engenharia e da medicina nos últimos anos, possibilitando que coisas que só se via em filmes se projetar no mundo real. Isso possibilita uma melhora de vida de muitas pessoas que sofreram acidentes, portadoras de Esclerose Lateral Amiotrófica, de Esclerose Múltipla, ou de qualquer outra deficiência física e matem a capacidade cognitiva intacta.

Apesar de ser notável um grande avanço nessa área, de ter-se obtido resultados positivos e satisfatórios ainda é cedo para concluir o real futuro desta tecnologia, já que as pesquisas ainda estão no início. É necessário que continue as pesquisas e os testes para que se torne uma tecnologia mais acessível e viável para o dia a dia, visto que não seria tão confortável ficar utilizando plugues na cabeça.

ABSTRACT

This work intends to analyze theses about the use of Brain Computer Interface (BCI) as a control of mechanical prosthesis, using the neural impulses that are responsible for the movements of the human body members. Despite being a technology not very accessible at the time this work was written, BCIs allow the control of a prosthesis to closely resemble the natural control of the limbs of the body, making the adaptation of someone who has lost an arm or leg is recently less traumatic than a prosthesis with limited movement. The functioning of the brain will also be addressed, which parts command the body's members and how to identify which task should be performed by the prosthesis.

Keywords: Brain Computer Interface, Mechanical prosthesis, Biotechnology.

REFERÊNCIAS

BENEVIDES, Alessandro B. **A Brain-Computer Interface Architecture Based on Motor Mental Tasks and Music Imagery**. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, 2013.

AZEVEDO, Anderson P. **Estudo do Sinal Eletroencefalográfico (EEG) Aplicado a Interfaces Cérebro Computador com uma Abordagem de Reconhecimento de Padrões**. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, 2005.

LONGO, Berthil B. **Desenvolvimento de Ferramentas para Pesquisas em tecnologias Assistivas Baseadas em Sinais Biológicos**. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, 2015.

SANTOS, Tamires dos. **Dispositivo de Interpretação de Ondas Cerebrais para Controle de um Braço Robótico**. Faculdade de Tecnologia de Santo André, Santo André, Brasil, 2018.

GALBRAITH, Byron V. **A Brain-Machine Interface for Assistive Robotic Control**. Boston University, Boston, Estados Unidos da América, 2016.

ESFAHANI, Ehsan Tarkesh. **Investigation of Brain Computer Interface as a New Modality in Computer Aided Design/Engineering Systems**. University California Riverside, California, Estados Unidos da América, 2012.

PROESMANS, Nina. **Brain-Computer Interfaces using Machine Learning: Reducing calibration time in Motor Imagery**. Universiteit Gent, Ghent, Bélgica, 2016.

BAYLISS, J. D. **A Flexible Brain-Computer Interface**. University of Rochester, Nova York, Estados Unidos da América, 2001.

CREUTZFELDT, O. **Cortex Cerebri: Performance, Structural, and Functional Organization of the Cortex**. Oxford University Press, Oxford, Nova York, 1995.

CURRAN, E.A. e STOKES, M.J. **Learning to Control Brain Activity: A Review of the Production and Control of EEG Components for Driving Brain-Computer Interface (BCI) Systems**. Brain and Cognition, Vol. 51, pp.326-336, 2003.

McFARLAND, D. J. et al. **Spatial Filter Selection for EEG-based Communication**. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. n. 103, pp.386-394, 1997.

GUYTON, A. C. e HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 10ª Edição. Editora Guanabara Koogan SA, 2002.

GOMES, Marleide da Mota. **Bases fisiológicas do eletroencefalograma**. Revista Brasileira de Neurologia, Rio de Janeiro, Brasil, Vol. 51, n. 1, 2015.