

TECNOLOGIA ASSISTIVA: CONSTRUÇÃO DE MÃO BIÔNICA



10.56238/edimpacto2025.005-002

Paulo Aparecido Inácio
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Adriana da Silva Torres
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Moisés de Matos Torres
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

RESUMO

Amputações de membros inferiores ou superiores é algo recorrente em todo o mundo e atinge milhares de pessoas há vários anos. Pessoas com tais deficiências fatalmente se tornam dependentes de outras pessoas. Tornando-as, na maioria das vezes, pessoas incapazes de contribuir com o mercado de trabalho, aposentando-as em condições subapropriadas para seu nível de instrução. A ajuda às pessoas que têm dificuldades em realizar pequenas tarefas a se tornarem independentes, ou mesmo incluí-las novamente ao mercado de trabalho e na sociedade são motivações para a escrita deste trabalho. Nas últimas décadas surgiu uma nova tecnologia inovadora e promissora para dar esperança a essas pessoas chamada Tecnologia Assistiva. Esse Trabalho busca o estudo sobre a morfologia humana, dados analógicos, digitais e conversores através da utilização do bracelete *Myo Armband*. Busca também introduzir conceitos de microcontroladores, linguagens de programação com a utilização da plataforma de desenvolvimento livre *Arduino Uno*. Um modelo de braço biônico de 3 dedos desenhado para conseguir captar e reconhecer os sinais elétricos de um braço com funções normais, e reproduzir tais movimentos de forma mais confiável possível no braço biônico. Pretendemos contribuir para futuras aplicações em pessoas que tenham alguma deficiência ou amputação de membros.

Palavras-chave: *Myo*. Micro controlador. Engenharia Assistiva. Prótese.



1 INTRODUÇÃO

Imagine acordar de manhã, e desligar o despertador. Levantar, escovar os dentes, pentear o cabelo e vestir roupas. Logo em seguida fazer ovos mexidos para o café da manhã. E finalmente tomar um café fresquinho lendo o jornal.

Essa é uma rotina aparentemente simples que pessoas normais fazem na maioria dos seus dias. Mas para algumas pessoas essas tarefas aparentemente simples, para alguns são muito complicadas e impossíveis de serem realizadas com maestria e rapidez. Existem hoje por volta de 10 milhões de pessoas amputadas, sendo mais de 3 milhões apenas nos membros superiores (ADVANCED AMPUTEE SOLUTIONS). O número médio de amputados por ano é maior que um milhão e esse numero vem amentado de forma alarmante nos últimos anos (ADVANCED AMPUTEE SOLUTIONS). Empresas de proteses citam um valor superior a 90% das pessoas amputadas pagariam enormes quantias de dinheiro para poderem ter as suas funções normais novamente, o que justifica o alto investimento nessas tecnologias recentemente.

A tecnologia assistiva é denominada, como todo o arsenal de recursos e serviços, tudo que contribuem para proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com deficiência e consequentemente promover vida independente e inclusão (SARTORETTO;BERSCH, 2017). Também pode ser definida como uma ampla gama de equipamentos, serviços, estratégias e práticas concebidas e também aplicadas para amenizar os problemas encontrados pelos indivíduos com deficiências (COOK E HUSSEY, 1995).

No Brasil, o Comitê de Ajudas Técnicas (CAT), instituído criado pela PORTARIA N° 142, DE 16 DE NOVEMBRO DE 2006 define tecnologia assistiva como:

[...]Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social [...] (ATA VII - COMITÊ DE AJUDAS TÉCNICAS (CAT) - COORDENADORIA NACIONAL PARA INTEGRAÇÃO DA PESSOA PORTADORA DE DEFICIÊNCIA (CORDE) - SECRETARIA ESPECIAL DOS DIREITOS HUMANOS - PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA).

O objetivo da tecnologia assistiva é proporcionar à pessoa com deficiência uma maior independência, uma melhor qualidade de vida, através da ampliação de sua comunicação, mobilidade, controle de seu ambiente e ações, integração com a família, amigos e sociedade.

A tecnologia assistiva sempre necessita de recursos. Entendemos por recursos todo e qualquer item, equipamento ou parte dele, máquinas, produto ou sistema fabricado em série ou personalizada utilizada para aumentar, manter ou melhorar as capacidades funcionais das pessoas com deficiência.



Numa definição mais pontual recursos podem variar de uma simples bengala utilizada para ajudar pessoas com qualquer enfermo nas pernas, a um complexo sistema como o eletrodos inseridos dentro do cérebro de uma pessoa.

O avanço recente da tecnologia permite, cada vez mais, o desenvolvimento e implementação de sistemas assistivos. Sistemas nos quais permitem que seres biológicos interajam com sistemas mecatrônicos. Aos poucos, a tecnologia assistiva começou a se integrar ao estudo aspectos psicológicos e cognitivos, um conjunto de processos, diálogos e ações por meio dos quais um ser humano utiliza e interage com um computador (BAECKER; BUXTON, 1987). Essa interação é importante por ter várias aplicações em diversas áreas, como por exemplo, em aplicações militares. Contudo sua principal aplicação atualmente, e também aquela que será foco deste trabalho aqui apresentado, é a recuperação ou reposição de movimentos perdidos e ou atrofiados.

A tecnologia assistiva tem um grande desafio, pois sua intenção é a construção de extensões ou reposição de articulações móveis (próteses), que simulem a anatomia do corpo humano ou animal, que se adapta muito facilmente a diversas respostas do ambiente.

O projeto, através de dispositivos lógicos e programáveis, servos motores, sensores e microcontrolador, etc., serão responsáveis pelos movimentos na mão biônica com a utilização da movimentação dos músculos e nervos de um antebraço. É importante frissar que para este trabalho os testes seriam realizados em antebraços com funções normais não atrofiadas como os sinais de entrada para o sistema. O desenvolvimento desse projeto foi realizado pelo imenso interesse nesse tipo de tecnologia, pois é um campo com desenvolvimento muito rápido e promissor, há também o fato de que há o crescente investimento em pesquisa por meio de várias instituições renomadas no campo da bioengenharia, tem sido cada vez maior. Convém explicar que a mão possuirá apenas três dedos e realizará movimentos de abrir, fechar e dobrar o “punho”. Um programa no computador escrito em linguagem C (padrão do *arduino*) realiza a leitura dos sinais captados pelo *Myo ArmBand* os transcreverá em sinais digitais por meio de um conversor analógico digital e por fim o envio de comandos para movimentação da mão.

Nesse trabalho desenvolve-se com a construção e controle de uma mão bionica através de sensores e dispositivo eletronicos e linguagens de programação.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL:

Construir uma mão biônica. Controlada através de estímulos elétricos providos de uma fonte biológica como um antebraço humano não atrofiado.



2.2 ESPECÍFICOS:

Os objetivos específicos implicam em:

- Modelar mecanismos biológicos através de dispositivos eletromecânicos.
- Utilizar a linguagem de programação C para montar uma interface de controle para o micro controlador *Arduino Uno*.
- Explorar a eficiência e confiabilidade do *Myo Armband*.
- Contribuir de forma efetiva para a engenharia assistiva.

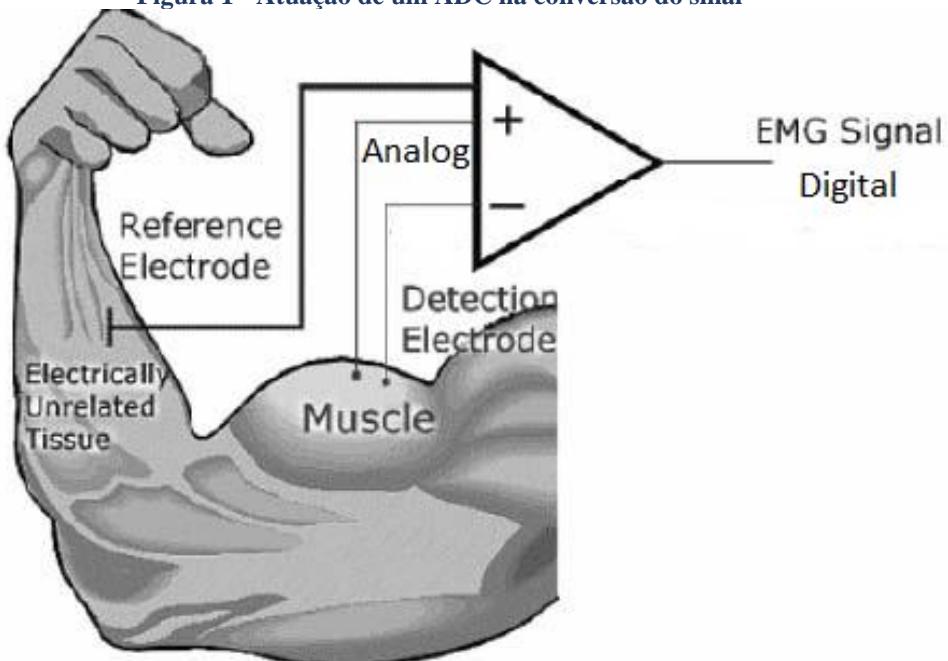
3 ESTADO DA ARTE

O termo tecnologia adaptativa é frequentemente usado como sinônimo de tecnologia assistiva, no entanto, eles são termos diferentes. Tecnologia assistiva refere-se a qualquer item, peça de equipamento ou sistema de produto, adquirido comercialmente, modificado e/ou personalizado, que é usado para aumentar, repor ou melhorar as capacidades funcionais de indivíduos com uma deficiência (*ASSISTIVE TECHNOLOGY ACT OF 1998*). Enquanto a tecnologia adaptativa abrange itens que são especificamente concebidos para pessoas com algum tipo de deficiência e raramente seriam utilizados por pessoas com funções não atrofiadas ou ausentes. Em outras palavras, tecnologia assistiva é qualquer objeto ou sistema que aumenta ou mantém as capacidades das pessoas com ou sem deficiência. Enquanto a tecnologia adaptativa é qualquer objeto ou sistema que é projetado especificamente com a finalidade de aumentar ou manter as capacidades das pessoas com alguma deficiência (*ASSISTIVE TECHNOLOGY ACT OF 1998*, S.2432). Consequentemente, a tecnologia adaptativa é um subconjunto de tecnologia assistiva.

A finalidade desse trabalho é o desenvolvimento de uma mão biônica, movida por um sensor mioelétrico presente no *Myo Armband* localizado no antebraço de uma pessoa. Conhecer como os dados de entradas analógicas são transformados em dados de saída digitais, e após a conversão, finalmente, entender como o sinal é utilizado pelo microcontrolador e realizar a movimentação da mão biônica. Para tal é necessário compreender o princípio de funcionamento de alguns componentes como o de sensores, eletromiografia EMG, micro controlador, medidor de unidades de inércia IMU e conversores.

Contextualizamos nossos princípios a partir do sensor. Um sensor é um dispositivo que tem como função detectar eventos ou mudanças em seu contorno, envia as informações para o computador, onde um microcontrolador processa os dados de entrada e fornece um sinal de saída adequado ao estímulo. Nesse trabalho utiliza-se um sensor com a função de converter os dados do mundo real (Analógicos) em dados entendíveis por um computador (Digitais) com utilização de um Conversor Analógico para Digital (ADC) conforme pode ser visualizado na figura 1.

Figura 1 - Atuação de um ADC na conversão do sinal



Fonte: Raez, 2006 com adaptações

A sensibilidade de um sensor indica o quanto a sua saída se altera, quando a quantidade de entrada a ser medida sofre alguma variação, ou seja, sua menor unidade de variação pode ser dita como a sensibilidade do sensor. Por exemplo, se o mercúrio em um termômetro se move 1 cm quando a temperatura muda em 1°C , a sensibilidade é $1\text{ cm} / ^{\circ}\text{C}$ (é basicamente a inclinação Dy / Dx característica de uma função linear)¹.

Eletromiografia ou (EMG) é uma técnica comumente utilizada na medicina electrodiagnóstica. Normalmente para avaliar e registrar a atividade elétrica ou ausência dela que é produzida pelos músculos devido a excitação do mesmo para a realização de um movimento. EMG é realizado com a utilização de um instrumento chamado eletromiógrafo que captar um sinal analógico chamado um eletromiograma. Um eletromiógrafo detecta o potencial elétrico gerado pelas células musculares, no instante de tempo no qual essas células são eletricamente ou neurologicamente ativadas. Os sinais podem ser analisados para detectar anormalidades médicas, ou para analisar a biomecânica do movimento humano ou animal. Um exemplo de sinal de saída de um EMG é apresentado na figura 2.

¹ Uma função afim ou função do 1º grau é caracterizada por apresentar uma lei de formação do tipo $f(x) = a \cdot x + b$, na qual os coeficientes a e b são números reais, além de, necessariamente, a ser diferente de zero ($a \neq 0$). O gráfico de uma função afim é uma reta que pode tocar o eixo x do plano cartesiano em um único ponto.



Figura 2 - EMG Data de um Myo Armband



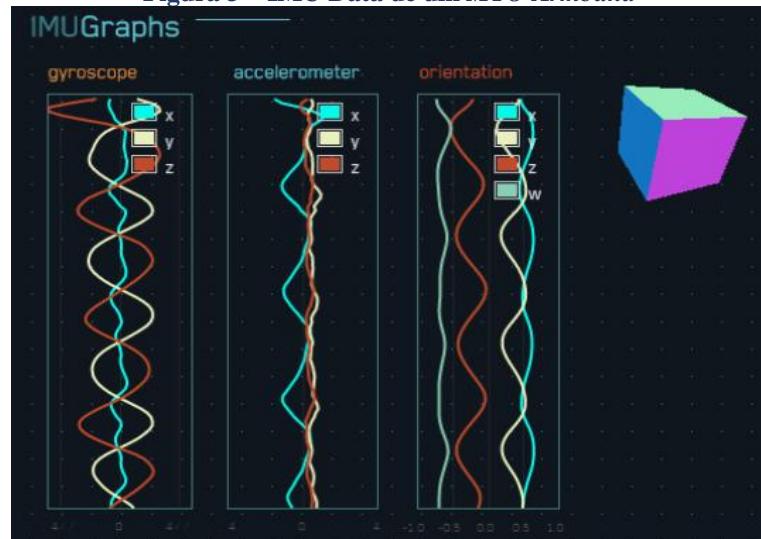
Fonte: <http://diagnostics.myo.com/>

A unidade de medição inercial ou (IMU) é um dispositivo eletro-eletrônico que mede e descreve as forças específicas de um músculo ou um nervo. O IMU tem a capacidade de fazer a medição da taxa da movimentação angular. Em alguns casos, o campo magnético que cerca o corpo também pode ser medido com a utilização de uma combinação entre acelerômetros e giroscópios contidos no aparelho, como apresentado na figura 3. Às vezes a utilização de magnetômetros ajuda a melhorar a qualidade do sinal. Os IMU's são usados nas áreas de tecnologia, principalmente na engenharia aeroespacial para manobrar aeronaves como: drones, aviões, veículos aéreos não tripulados (UAV's), espaçonaves, satélites e landers extraterrestres. Os dados coletados dos sensores da IMU também permitem o rastreio da posição de embarcações, por um método conhecido como “contagem morta”², amplamente utilizado em aplicações bélicas.

² Contagem Morta ou Hydroacoustic Aided Inertial Navigation consiste em uma unidade de medição inercial (IMU) medindo o próprio movimento da embarcação, tipo um Speed Log . A IMU é componente essencial em um sistema de navegação inercial (INS), que processa os dados do sensor IMU em um computador. Os dados IMU são processados juntamente com os dados de posição de um sistema de referência hidroacústica em um computador, que então dá saída única de dados combinados caracterizando a posição do navio, a velocidade, proa e tendência são atualizadas a 300 Hz, com base nas leituras da IMU, e corrigidas todas as vezes que uma nova posição acústica é medida.



Figura 3 – IMU Data de um *MYO Armband*



Fonte: <http://diagnostics.myo.com/>

No *Myo Armband* os IMU's são usados para detectar as variações tridimensionais do dispositivo. Os IMU's possibilitam instruções de controle com mais de um grau de liberdade (movimentação em três eixos, rotação e translação ambos em função do tempo). Com isso é possível captar esse sinal e sua conversão para a movimentação de um dispositivo eletrônico apenas com a própria movimentação do sensor. A qualidade dos sinais dos IMU's são mais precisos que os EMG's devido à captação de grandezas físicas em maior ordem de grandeza como a gravidade, visto que, os EMG's trabalham com valores em mili-volts. Há também grandes interferências externas de vários fatores como temperatura, fatores fisiológicos como gordura corporal, atrófia ou hipertrofia, esses fatores têm grande influência durante o tratamento do sinal. O tratamento de força do sinal EMG de entrada é apresentado na figura 4.

Figura 4 - Qualidade do tratamento do sinal de um *Myo Armband*



Fonte: <http://diagnostics.myo.com/>



Existem três componentes básicos para a construção de um dispositivo mioelétrico (próteses, o Myo ou qualquer outro tipo de dispositivo controlado por estímulos musculares), analisando cada um desses fatores, poderemos perceber a importância deles nesse processo.

I. Aquisição do sinal: Para adquirir um sinal muscular, a maioria dos dispositivos depende do pequeno sinal elétrico produzido pela célula muscular. Mais comumente conhecido como eletromiografia (EMG). Um elétrodo EMG é anexado à sua pele que detecta as pequenas diferenças no sinal elétrico, ou a diferença de potencial elétrico ao longo do tempo durante o estímulo.

EMG geralmente são pequenos adesivos ou dispositivos fortemente pressionados contra os músculos, de outra forma não teria uma boa resposta. Algumas leituras médicas do EMG são realmente feitas intrusivamente. Para isso uma agulha (usada como um elétrodo) é introduzida dentro do músculo para obter uma leitura com grande confiabilidade. Esse sinal melhor é devido ao fato dele ser captado sem a interferência da camada de pele, gordura e/ou fatores externos como a temperatura. O Myo é equipado com elétrodos de contato externo, sem a existência de nenhuma parte ou sensor que adentre o corpo ou membro, mas mesmo assim é possível obter leituras com uma boa qualidade.

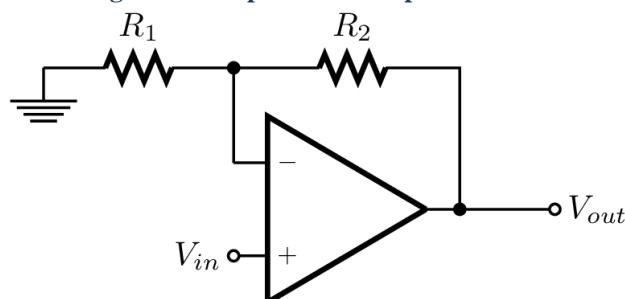
II. Ampliação do sinal: Amplificar o sinal é de suma importância para o processo, antes do processamento do sinal ser feito, pode-se incorporar algum tipo de banda alta e/ou banda baixa de filtragem. No Myo são utilizados amplificadores operacionais (AMP OP). Um amplificador operacional é um amplificador que consegue ter ganhos muito elevados, em sua grande maioria eles tem dois terminais de entrada de sinal, um designado por terminal inversor negativo (-) e o outro identificado por terminal não inversor positivo (+). A tensão de saída do amplificador é a diferença entre as entradas (V_+) e V_- , multiplicado pelo ganho em malha aberta (G_{open}):

$$V_{out} = (V_+ - V_-) * G_{open} \quad (1).$$

Onde, V_{out} é a tensão de saída do sistema.

Um exemplo de um amplificador pode ser observado na figura 5, neste caso a amplificação do sinal será função do ganho e das resistências R_1 e R_2 , considera-se a impedância muito grande ou infinita.

Figura 5 - Amplificador simples de tensão



<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Opampnoninverting.png>.



Onde, R1 e R2 são resistências diferentes.

Para o amplificador da figura 5 tem-se uma realimentação negativa, nesse caso chamamos de configuração não inversora, atualmente a mais utilizada na construção de amplificadores na elétrica eletrônica e acústica:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{1}{G} + \frac{R_2}{GR_1}} \quad (2).$$

Para valores muitos grandes de G, pode-se considerar apenas o numerador dessa equação para a amplificação do sinal com um erro bem pequeno.

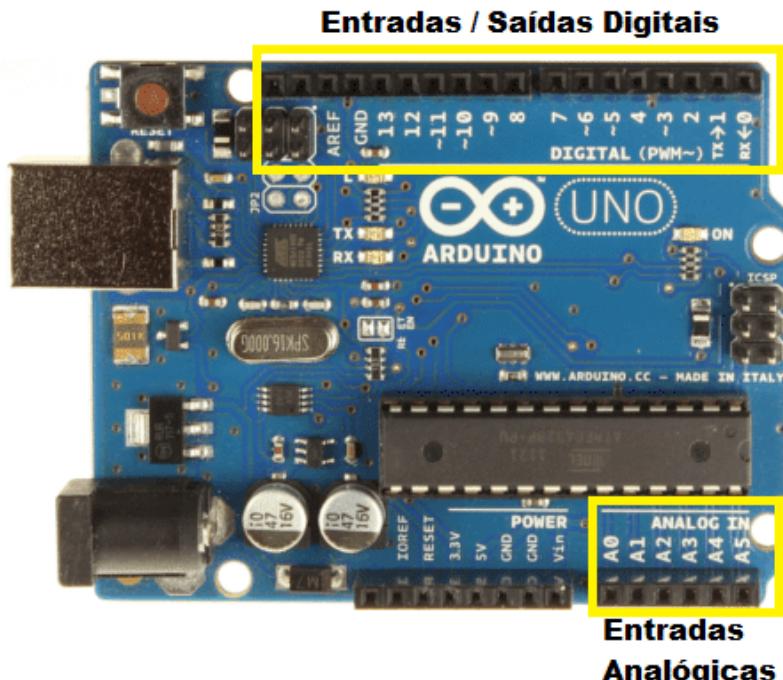
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (3).$$

Os projetos com amplificadores devem obedecer às “Duas Leis de Ouro” dos projetos de amplificadores que utilizem a realimentação negativa, são elas:

- i. Não há correntes nas entradas.
- ii. As tensões, ou seja, os potenciais em relação ao terra, nas duas entradas tendem a serem iguais.
- iii. Análise e interpretação do sinal, esta é uma parte muito complicada por envolver entradas de dados provindos de fontes biológicas. Para contornar essas dificuldades os desenvolvedores do *Myo* elaboraram um algoritmo do bracelete para detectar um número de gestos (cinco gestos pré-definidos) e representarem suas respectivas saídas. O processamento de sinais consiste na análise e/ou modificação de sinais utilizando um algoritmo pré-programado. O algoritmo irá extrair informações filtradas desses sinais e torná-los mais apropriados para alguma aplicação específica como nesse caso nos comandos pré-programados do *Myo*. O processamento de sinais pode ser feito apenas de duas formas analógica ou digital, enquanto os objetos de interesse do processamento de sinais podem incluir sons, imagens, sinais de rádio, TV e muitos outros.

O microcontrolador de fato é o que irá coordenar a movimentação da mão. Nesse trabalho utilizou-se o *Arduino Uno*, pelo seu baixo custo, boa resposta, rapidez e uma linguagem de programação baseada no C/C++. O *Arduino UNO* é uma placa de desenvolvimento, micro controlada baseada no ATMEGA328P. Contém por si próprio o básico necessário (pinos de entradas e saídas, cristais osciladores, resistentes e fonte adaptadora de corrente, etc...) para que o micro controlador funcione sem necessidade de adição de componentes eletrônicos, mas existe uma grande variedade de módulos disponíveis no mercado. A figura 6 representa todas as entradas e saídas de hardware de uma placa *Arduino UNO*.

Figura 6 - Arduino UNO e seus pinos de entrada (in) saída (out)



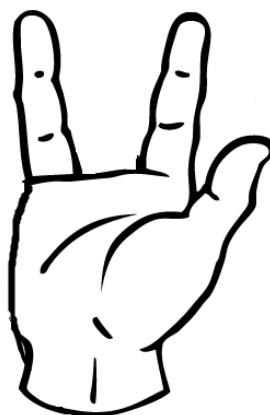
Fonte: <https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage>.

4 METODOLOGIA

Nesse projeto em seu primeiro passo irá se construir a mão articulada, posteriormente mecanizá-la para que podesse ser ultilizada. Assim se faz necessário um molde de mão a mão do autor do projeto foi utilizada como molde.

A modelagem da mão humana, tera o formato como uma garra mecânica. As garras mecânicas funcionaram como dedos mecânicos acionados por um mecanismo motores como atuadores elétricos pneumáticos ou hidráulicos. Os dedos são apêndices (extensões do corpo) da garra que fazem contato direto com o objeto que se deseja mover, agarrar, comprimir ou largar, fixos sem possibilidade de alongamento ou encurtamento. A configuração de mão humana (cinco dedos) é a que possui maior versatilidade para realizar a manipulação de objetos dos mais variados tipos (SALISBURY; CRAIG, 1982). Ao se comparar o valor quantitativo de dedos, nota-se que uma garra com dois dedos pode manipular aproximadamente 40% dos objetos das mais variadas formas. Uma garra de três dedos pode manipular cerca 90% de todos os objetos, e uma garra com quatro dedos manipularia 99% destes objetos (MATSUOKA, 1995). Desta forma justifica-se a utilização de uma mão com apenas três por atender a um alto grau de manipulação de objetos. Cada dedo terá em si três articulações com exceção do dedo polegar que terá apenas duas articulações, assim como a mão humana. Uma representação do molde pode ser observada na figura 7.

Figura 7 - Aparência da mão biônica de três dedos



Fonte: Autoria propria

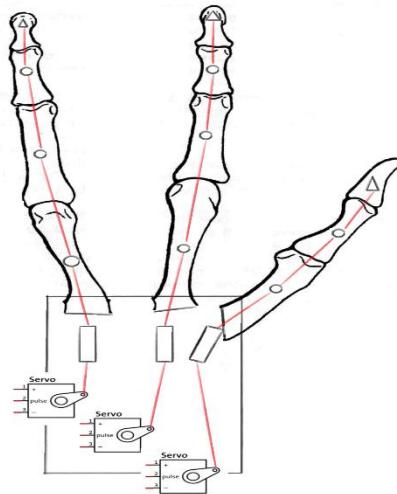
Imitar a grande versatilidade de movimentos produzidos pela mão humana é tarefa complexa e demanda alto grau de conhecimento em anatomia e eletrônica. Devido a grande quantidade de músculos, graus de liberdade disponíveis, possibilitam-no mover-se facilmente nas infinitas combinações dos eixos espaciais X, Y e Z como representado na figura 8. Dessa forma esse trabalho se restringe a um grau de liberdade com a locomoção apenas no eixo Z, abertura e fechamento da mesma, todos eles acionados por servo motor assim como apresentado na figura 9.

Figura 8 - Anatomia da mão humana com grande quantidade de músculos que permite sua grande versatilidade de movimentação nos eixos espaciais



Fonte: <http://anatomia-simples.blogspot.com.br/>

Figura 9 - Aparência da mão após sua construção



Fonte: Autoria propria

Para a construção dessa parte do trabalho os seguintes materiais foram necessários e seus respectivos valores e características representados nas tabelas abaixo.

4.1 SERVO MOTORES

Tabela 1 - Servo Motor

Componente	Servo motor
Quantidade	4
Preço (R\$)	3.05
Preço (USD)	0.97
Preço (RMB)	6.10

Tabela 2 - Descrição servo motor

Dimensão (mm)	22 x 21.5 x 12.4
Peso (Gramas)	9
Velocidade	0.12second/ 60degree (4.8V no load)
Torque (4.8V)	17.5oz /in (1kg/cm)
Temperatura de trabalho (Graus Celsius)	-30 to +60
Voltagem(V)	3.0~7.2

4.2 RESISTORES

Tabela 3 - Resistores

Componente	Resistores
Quantidade	Vários
Preço (R\$)	100(und)/0.50
Preço (USD)	100(und)/0.32
Preço (RMB)	100(und)/1.00

4.3 CONECTORES

Tabela 4 - Conectores

Componente	Conectores
Quantidade	Vários
Preço (R\$)	100(und)/0.50
Preço (USD)	100(und)/0.32



Preço (RMB)	100(und)/1.00
-------------	---------------

Como o atuador irá manipular elementos, algumas normas foram padronizadas por organizações internacionais para a homogeneização de resultados, de acordo com a norma ISO/DIS 14539 (1998), lista-se:

- I. Geometria dos dedos e da palma;
- II. Posicionamento dos dedos na palma;
- III. Forma dos dedos e o seu movimento durante o agarramento;
- IV. Número e posicionamento dos atuadores;
- V. Número e posicionamento dos sensores;
- VI. Mecanismos de transmissão da potência;
- VII. Mecanismo de fixação manipulador-efetuador;
- VIII. Tipo e força de agarramento;
- IX. Tempo de operação (de agarramento, tempo do ciclo);
- X. Tipo de sistema de controle empregado (força e/ou posição);
- XI. Número e material dos dedos;
- XII. Número de graus de liberdade dos dedos;
- XIII. Geometria, peso, temperatura máxima e mínima, propriedades magnéticas e características da superfície do objeto a ser manipulado.

Com a mão pronta, o proximo passo é o processo de setup e controle, nesse caso irá se desenvolver o projeto em três etapas:

1. *Setup* do *Myo*, a experiência com *Myo* começa com “*Myo Connect*”, que faz a interação entre o software e a braçadeira *Myo* propriamente dita, para fornecer o controle básico de aplicações pré-programadas. O *Myo Connect* é a ferramenta criada pela *Thalmic* para facilitar a configuração e ter uma melhor experiência para explorar as capacidades da braçadeira *Myo*. O *Myo Connect* pode ser baixado de forma gratuita diretamente pelo site do desenvolvedor pelo link [.;developer.thalmic.com/downloads](http://developer.thalmic.com/downloads).

O *Software Myo Connect* fornece um *menu* com algumas opções e comandos. Após a sua instalação entra na guia “primeiros passos”, “configuração básica” em seguida um tutorial básico, segue-se essas instruções para configurar a braçadeira *Myo*.

O *Myo Connect* tem recursos internos para controlar certas aplicações de apresentação e mídia em *Windows* e *Mac OS X*. O *Myo Connect* permitirá automaticamente o controle desses aplicativos se executado em primeiro plano.

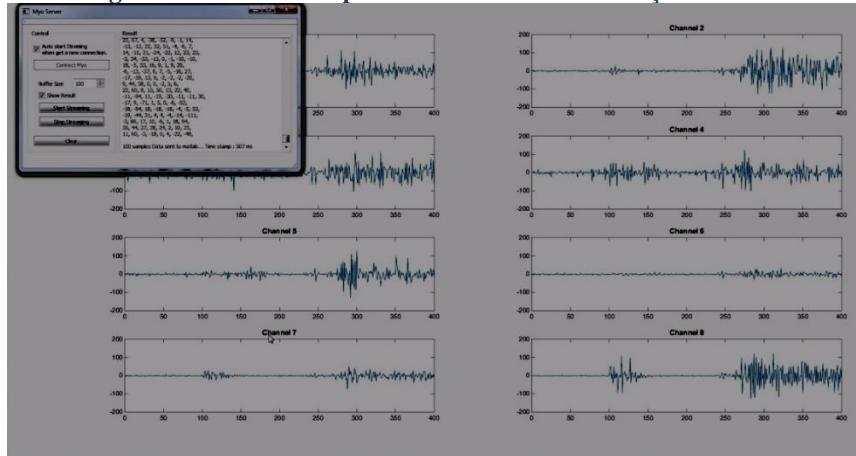


4.4 SCRIPTS MYO

Além das capacidades internas para controlar aplicativos, o *Myo Connect* fornece suporte a *scripts*. *Myo Scripts* permite a resposta a eventos da braçadeira e emita comandos para o sistema. Os scripts podem ser carregados e gerenciados por meio do Gerenciador de Aplicativos, disponível no menu *Myo Connect*.

2. Interação Myo, Arduino e códigos. Com o *Myo connect* devidamente instalado e configurado para a realização dos movimentos, primeiramente é necessário à obtenção do EMG e IMU *data*. Os códigos aqui utilizados foram obtidos diretamente do site do desenvolvedor salvo algumas pequenas adequações no código base original, esse código pode ser observado nos apêndices A e B, seus resultados podem ser observados nas figuras que se seguem:

Figura 10 - EMG data para diferentes movimentações da mão



Fonte: <http://diagnostics.myo.com/>

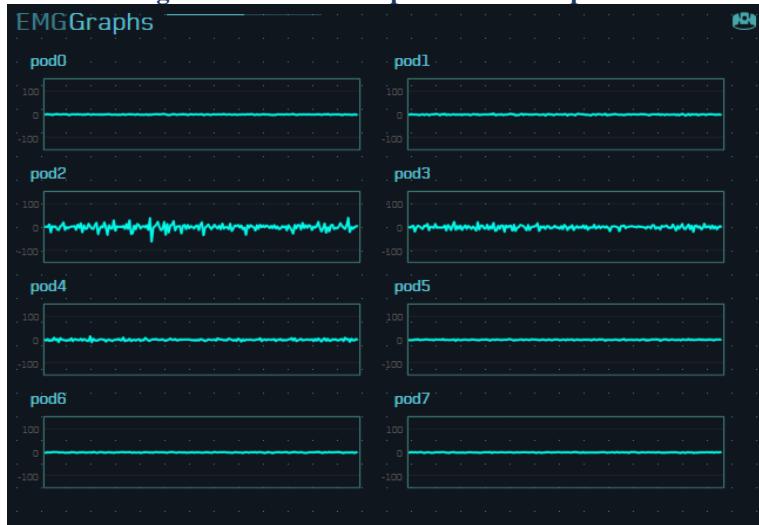
Nesses *scripts*, apenas cinco movimentações serão de suma importância no desenvolvimento do mesmo qualquer outro movimento identificado será simplesmente ignorado. São eles:

4.5 BRAÇO RELAXADO

Nessa configuração não há nenhuma movimentação do dispositivo, pois o braço está em repouso e servira de base para a análise dos sinais EMG de entrada. A figura 11 resepsenta o EMG caracteristico para esse movimento.



Figura 11 - EMG data para mão em repouso.

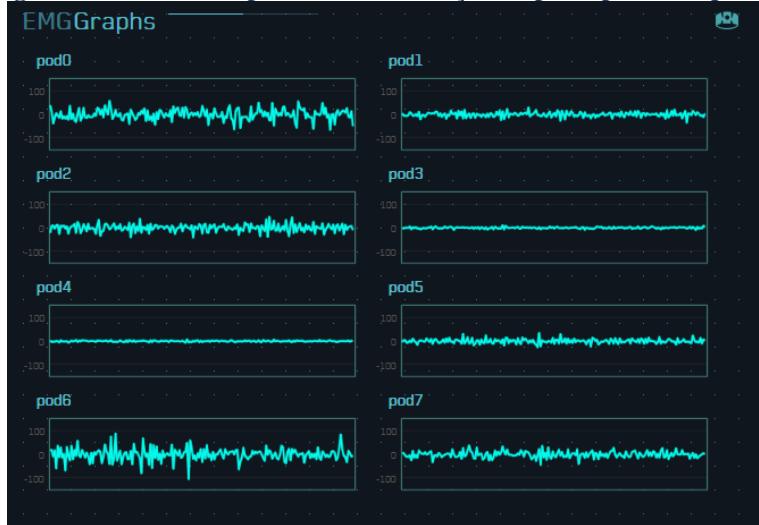


Fonte: <http://diagnostics.myo.com/>

4.6 PULSO PARA A ESQUERDA

Esse comando irá acionar a movimentação negativa no eixo Z, interpretando esse sinal à mão biônica se movimentará verticalmente para baixo. A figura 12 resepsenta o EMG caracteristico para esse movimento.

Figura 12 - EMG data para a movimentação do pulso para a esquerda



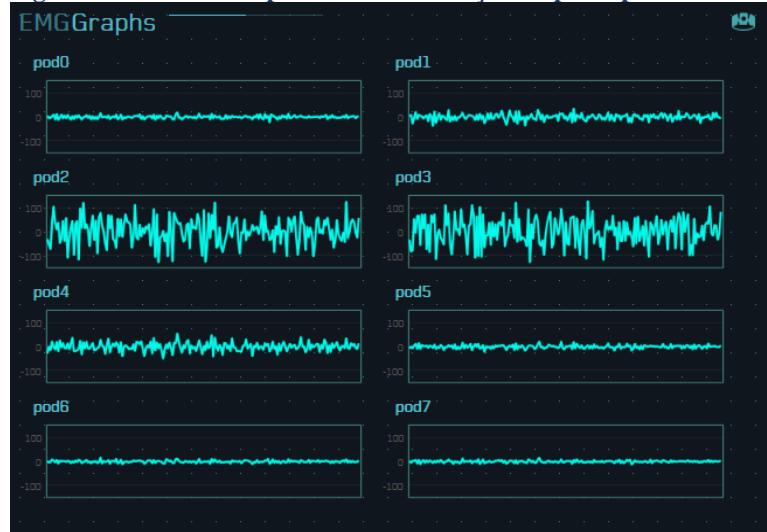
Fonte: <http://diagnostics.myo.com/>

4.7 PULSO PARA A DIREITA

Esse comando irá acionar a movimentação positiva no eixo Z, interpretando esse sinal à mão biônica se movimentará verticalmente para cima. A figura 13 resepsenta o EMG caracteristico para esse movimento.



Figura 13 - EMG data para a movimentação do pulso para a direita

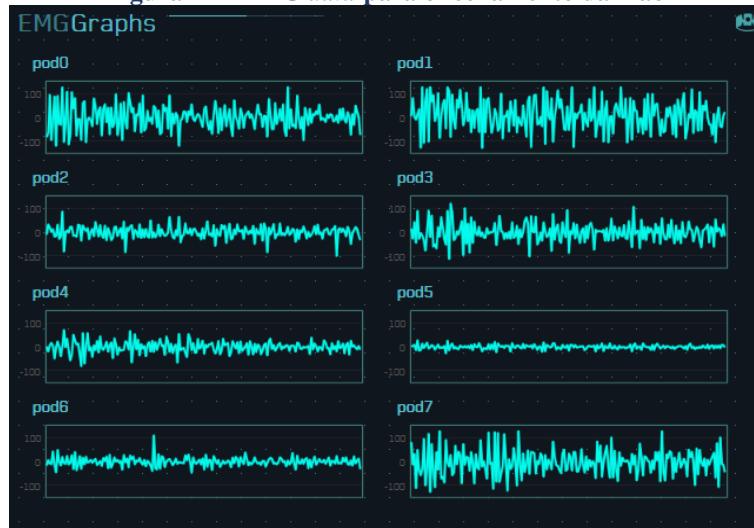


Fonte: <http://diagnostics.myo.com/>

4.8 FECHAR A MÃO

Esse comando irá acionar os servos motores, interpretando esse sinal a mão biônica fechará e manter nessa posição até o comando de abertura seja executado. A figura 14 resepsenta o EMG caracteristico para esse movimento.

Figura 14 - EMG data para o fechamento da mão



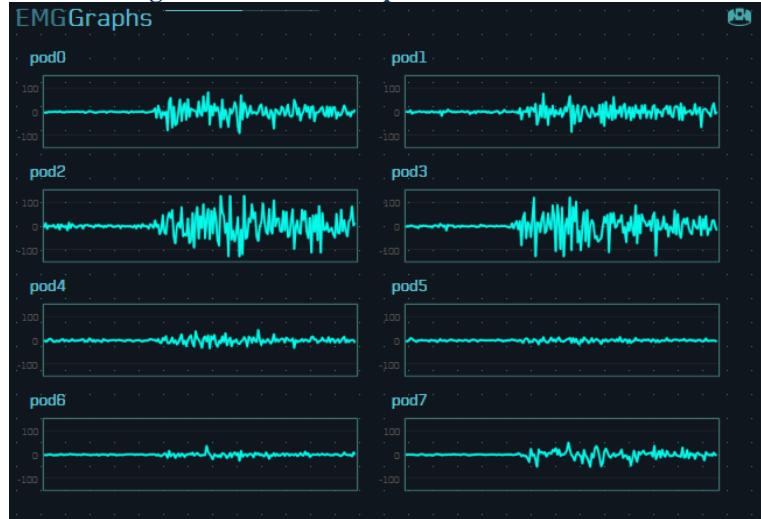
Fonte: <http://diagnostics.myo.com/>

4.9 ABRIR A MÃO

Esse comando irá reverter à movimentação dos servos motores, interpretando esse sinal à mão biônica abrirá apenas pelo efeito de relaxamento do servo motores. A figura 15 resepsenta o EMG caracteristico para esse movimento.



Figura 15 - EMG data para a abertura da mão

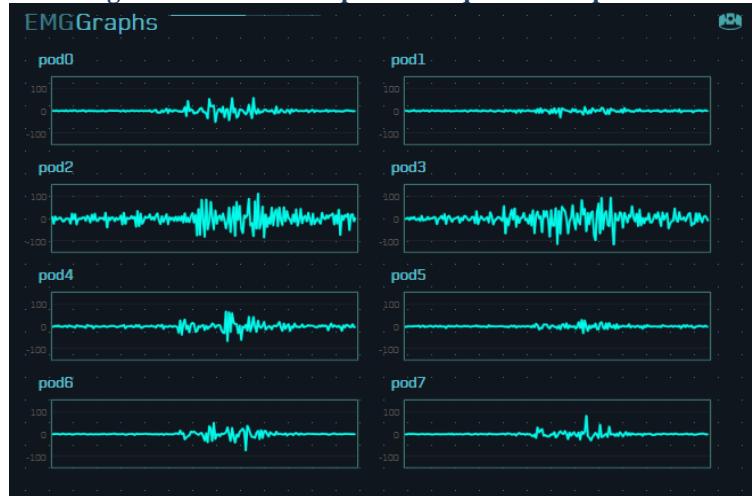


Fonte: <http://diagnostics.myo.com/>

4.10 BLOQUEAR O DISPOSITIVO

Esse comando será para bloquear o dispositivo, suas atividades no último comando executado, o sinal para o bloqueio será o duplo movimento de pinça com intervalo de tempo menor que 2 segundos. A figura 16 resepsenta o EMG caracteristico para esse movimento.

Figura 16 - EMG data para o bloqueio do dispositivo.



Fonte: <http://diagnostics.myo.com/>

Terminada a configuração, identificação e armazenamento desses comandos pode-se enfim avançar para a terceira e ultima etapa que é interação entre o *Myo* e o *Arduíno* para a realização dos movimentos descritos da mão.

3. Interação Arduíno - Mão robótica.

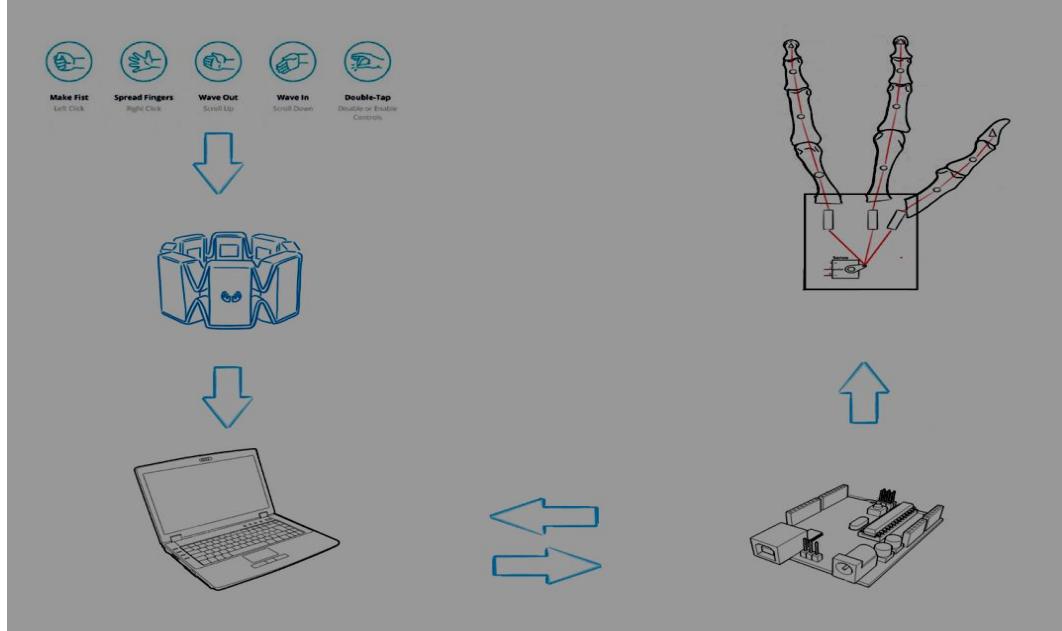
Nessa etapa dá-se a junção de tudo que foi apresentado pela figura 17, ou seja,

- I. A coleta de dados que é realizada pelo *Myo* em contato direto com o antebraço da pessoa.

- II. Envio dos dados para o computador onde o *software Myo connect* será responsável pela sua recepção filtragem tratamento e posteriormente o envio para o *Arduino UNO*.
- III. A comunicação entre o *Arduino* e o *Myo Connect* será realizada por meio de um algoritmo, transmitindo em tempo real a posição do braço onde esta alocado o sensor com os servos presentes na mão.

O algoritmo escrito em linguagem C na qual será carregado na memoria do *Arduino* para interpretação dos dados acima descritos, pode ser visualizado com detalhes no apêndice B.

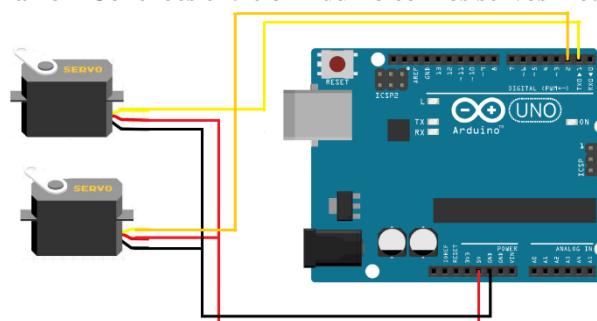
Figura 17 - Fluxograma da comunicação entre o primeiro sinal ate a movimentação da mão



Fonte: Autoria própria

Com todas as partes configuradas, basta apenas carregar o algoritmo para o Arduíno e fazer a conexões como representado na figura 18:

Figura 18 – Conexões entre o Arduíno com os servos motores



Fonte: Autoria própria

Materiais utilizados para essa parte do trabalho.



4.11 MICRO CONTROLADOR ARDUINO UNO

Tabela 7- ARDUINO UNO

Componente	ARDUINO UNO
Quantidade	1
Preço (R\$)	8.90
Preço (USD)	2.67
Preço (RMB)	17.80

Tabela 8 - Características Arduino UNO

Micro controlador	ATmega328P
Voltagem operacional (V)	5
Voltagem de alimentação (V)	7-12
Limites da voltagem de alimentação (V)	6-20V
Pinos I/O digitais	14 (dos quais 6 podem ser saídas PWM)
Pinos de entrada analógica	6
Corrente contínua por pino I/O(mA)	40
Corrente contínua para o pino 3.3V(mA)	50
Memória flash	32 KB (2KB usados para o bootloader)
SRAM (KB)	2
EEPROM (KB)	1
Velocidade de clock (MHz)	16

4.12 MYO ARMBAND

Tabela 9 - MYO ArmBand

Componente	MYO Armband
Quantidade	1
Preço (R\$)	587,33
Preço (USD)	189,18
Preço (RMB)	1299,00

Tabela 10 - Descrição MYO ArmBand

Perimetro (Cm)	19 -34
Peso (Gramas)	93
Largura (Cm)	1,15
Sensores	EMG, IMU
Processador	ARM Cortex M4

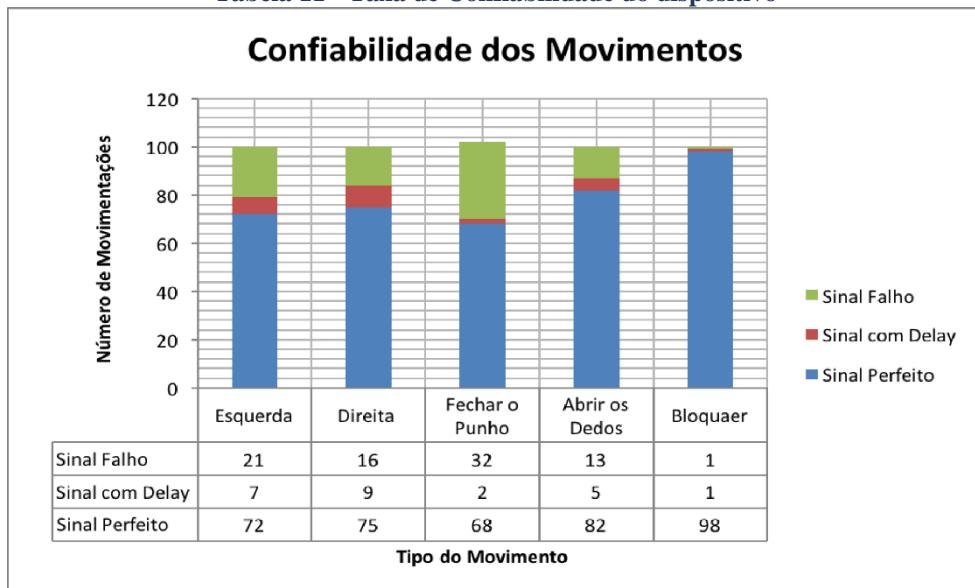
Além desses materiais foram necessários a utilização de cola, plástico, fios, fita adesiva e isopor, não contabilizados por serem materiais comuns presente em laboratorios.

5 DISCUSSÃO E RESULTADOS

Com o protótipo funcional os resultados obtidos são a movimentação da mão propriamente dita. Grandes amontoados de dados numéricos dispostos em tabelas com valores de estímulos nervosos (EMG) ou orientação espacial em funções do tempo nas quais foram exportados em tabelas em extensão de arquivos de planilhas (A extensão de planilhas é a .CSV). Essas planilhas foram omitidas aqui e não dispostas nos apêndices por motivos de serem arquivos extensos e mesmo com pouco tempo de captação de dados gerarem tabelas longas com mais de 10000 saídas. Estes dados são utilizados pelo software de controle para a movimentação em tempo real da mão conforme pode ser observados

pelos algoritmos de interação nos anexos um e dois. Também tem suma importância para a elaboração dos gráficos EMG dentre outros e a comparação entre os valores esperados e dos obtidos. Para determinar a precisão do sistema. Foram realizados conjuntos de 100 repetições de cada movimentação. Seus resultados então foram representados pela tabela 11.

Tabela 11 - Taxa de Confiabilidade do dispositivo



Fonte: Autoria própria

Confiabilidade é a capacidade de um sistema de realizar e manter seu funcionamento em circunstâncias de rotina, bem como em circunstâncias hostis ou inesperadas. Com base na tabela 11, conclui-se que para esse experimento há uma confiabilidade média de cerca de 79% , ou seja, a razão entre movimentos executados pela mão coletados, filtrados e interpretados pelo sistema com a sua correta correspondência na movimentação da mão biônica é de aproximadamente 8 a cada 10 tentativas. Ao se comparar esse valor com os valores de uma mão humana cuja a sua taxa de correspondência sobre os comandos enviados pelo cérebro e executados pela mão pode chegar a ser maior que 99,99% (numa escala menor, 10 a cada 10). Esse valor de 79% de precisão é ainda relativamente baixo. Principalmente pela exigência ao se tratar de manuseio de coisas perigosas como combustíveis, facas, ou então de precisão como dirigir, jogar bola, etc.

Fazendo a comparação dos resultados obtidos nesse trabalho com outros trabalhos na mesma área se obtém um valor relativamente bom para sua confiabilidade, em seus melhores projetos em algo por volta de 90%. Esse resultado é obtido para utilização de sensores mais modernos que o Myo e também com a utilização de softwares mais sensíveis e apurados dos utilizados nesse trabalho. Algumas biografias também citam o aumento dos graus de liberdade com adição de eixos cartesianos e em alguns casos sua modelação já em eixos polares reduz-se esses valores abaixo de 50%. Esses resultados se devem ao alto grau de complexidade para captação desse sinal, grande dificuldade na



filtragem de sinais com valores muito pequenos de corrente e também a da necessidade de utilização de muitos servo motores e componentes eletrônicos que sejam resistentes, leves, rápidos e compactos.

6 CONCLUSÃO

Podemos confirmar que ao término do trabalho que o objetivo de construir uma mão biónica com movimentação em um eixo com a função de agarrar foi alcançada, apesar do projeto ainda ter algumas falhas como a taxa de sucesso na interpretação dos movimentos estarem na casa dos 79 %. Faz-se necessário ponderar que esse dado muda bruscamente ao se retirar o comando de bloqueio que ao final não tem função nenhuma para a movimentação da mão, mas teve sua resposta correta em quase todas as tentativas.

A arquitetura proposta da interface de controle mioelétrico apresentou desempenho satisfatório. Da mesma forma que conjunto confecionado atendeu aos requisitos da estrutura proposta de controle, assim percebemos que se estabeleceu um meio bem confiável de comunicação entre o bracelete Myo e o controlador.

O *Arduino* por ser uma plataforma livre manteve um bom desempenho e excelentes respostas aos comandos a ele dados.

Não foram realizados testes com usuários amputados ou mesmo com aqueles que apresentam problemas de coordenação.

A engenharia de movimentos do corpo humano é extremamente complexa, muito difícil de ser copiada, reproduzida com eficiência, mobilidade e rapidez natural. A tecnologia assistiva está avançando muito rápida em um futuro não muito distante existe a esperança que pessoas com membros amputados ou pelo prazer de tornar-se super-humanos possam desfrutar dessa tecnologia de forma barata e eficiente.

Para um trabalho futuro a adição de mais um grau de liberdade, e/ou adição de movimentos independentes de cada dedo são desejados, embora deva ser estudada com cautela, pois são processos extremamente difíceis e devem avançar a passos curtos e gradativos. Afim de não se tornar algo muito complexo para se programar controlar e também para a obtenção de resultados melhores que os apresentados nesse trabalho.



REFERÊNCIAS

ACT 1998. Disponível em: <https://section508.gov/assistive-technology-act-1998>. Acesso em: 10 dez. 2016.

ANATOMIA HUMANA. Disponível em: <http://anatomia-simples.blogspot.com.br/>. Acesso em: 10 dez. 2016.

ANDRADE, N. A. Desenvolvimento de um sistema de aquisição e processamento de sinais eletromiográficos de superfície para a utilização no controle de próteses motoras ativas. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

BAECKER, R. M.; BUXTON, W. A. S. Readings in human-computer interaction: a multidisciplinary approach. San Mateo: Morgan Kaufmann Publishers, 1987.

BRASIL. Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. Comitê de Ajudas Técnicas. Tecnologia assistiva. Brasília: CORDE, 2009. 138 p.

COOK, A. M.; HUSSEY, S. M. Assistive technologies: principles and practices. St. Louis: Mosby Year Book Inc., 1995.

EMPRESA DE PRÓTESES. Disponível em: <http://www.advancedamputees.com/>. Acesso em: 11 dez. 2016.

GROOVER, M. P. Robótica: tecnologia e programação. São Paulo: McGraw-Hill, 1989.

GOLDSMITH, M. Robôs rebeldes. São Paulo: Melhoramentos, 2005.

MATSUOKA, Y. Embodiment and manipulation learning process for a humanoid hand. 1995. Dissertação (Mestrado) – Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1995.

NORMA ISO. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/24062.html>. Acesso em: 11 dez. 2016.

OEMINDO, T. V.; ALVES, R. C. N.; FRAGOSO, P. E.; VIDAL, L. C. Aplicações de robôs industriais com garras mecânicas. [S. l.: s. n.], [s. d.].

ROSÁRIO, J. M. Robótica industrial I: modelagem, utilização e programação. São Paulo: Baraúna, 2010.

RAEZ, M. B. I.; HUSSAIN, M. S.; MOHD-YASIN, F. Techniques of EMG signal analysis: detection, processing, classification and applications. [S. l.: s. n.], 2006.

SALISBURY, J. K.; CRAIG, J. J. Articulated hands: force control and kinematic issues. International Journal of Robotics Research, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 4-17, 1982.

SITE THALMIC. Disponível em: https://developer.thalmic.com/docs/api_reference/platform/the-sdk.html. Acesso em: 10 dez. 2016.