

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

PROTÓTIPO DE UMA PRÓTESE MIOELÉTRICA DE MÃO BASEADA NA PLATAFORMA ARDUINO

SAMUEL PESTANA¹, RAPHAEL C. ZUGAIB², ELIAN J. AGNOLETTI³

¹ Graduando em Engenharia de Controle e Automação, Bolsista PIBIFSP, IFSP, *Campus* Cubatão, s.pestana@aluno.ifsp.edu.br.

² Graduando em Engenharia de Controle e Automação, IFSP, *Campus* Cubatão, raphael.zugaib@aluno.ifsp.edu.br

³ Docente de Engenharia de Controle e Automação, IFSP, *Campus* Cubatão, agnoletto.elian@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.05.01-7 Automação Eletrônica de Processos Elétricos e Industriais

RESUMO: As órteses e próteses constituem importantes dispositivos da Tecnologia Assistiva (TA), com o objetivo de melhorar as habilidades funcionais de pessoas com necessidades específicas, proporcionando independência e inclusão na sociedade. Recentemente, a criação de próteses ativas baseadas em sinais eletromiográficos tem se tornado cada vez mais comum, porém, o seu custo elevado dificulta o acesso para muitos pacientes. Diante desse cenário, este projeto se concentra no desenvolvimento de um protótipo de prótese mioelétrica, fabricada com impressora 3D e filamento de polietileno tereftalato de etileno glicol (PETG). Para a construção do protótipo, foram utilizados um sensor mioelétrico, um circuito para o processamento dos sinais e uma placa microcontrolada Arduino UNO, a qual é responsável por receber o sinal do sensor e enviar os sinais para a movimentação dos servomotores da prótese. Após a fase de desenvolvimento, o protótipo foi submetido a testes para validar sua capacidade de reconhecer estímulos musculares e reproduzir movimentos básicos, como abrir e fechar a mão. Os resultados deste estudo têm o potencial de ajudar pacientes a realizar atividades cotidianas, reintegrando-os à sociedade com maior autonomia e, conseqüentemente, melhorando sua qualidade de vida.

PALAVRAS-CHAVE: tecnologia assistiva; impressora 3D; sinais mioelétricos; Arduino.

TÍTULO EM INGLÊS (Times New Roman, 11, Negrito, Centralizado)

ABSTRACT: Orthoses and prostheses are essential components of Assistive Technology (AT) designed to enhance the functional abilities of individuals with specific needs, promoting independence and social inclusion. Recently, the development of active prostheses based on electromyographic signals has become more widespread; however, their high cost often restricts access for many patients. In response to this challenge, this project focuses on developing a prototype of a myoelectric prosthesis using a 3D printer and polyethylene terephthalate glycol (PETG) filament. The prototype was built with a myoelectric sensor, a signal processing circuit, and an Arduino UNO microcontroller board. The Arduino UNO board is responsible for receiving signals from the sensor and controlling the movement of the prosthesis's servomotors. Following the development phase, the prototype was tested to validate its ability to detect muscle signals and perform basic movements, such as opening and closing the hand. The results of this study have the potential to assist patients in performing everyday activities, reintegrate them into society with greater independence, and improve their overall quality of life.

KEYWORDS: assistive technology; 3D printer; myoelectric signals; Arduino

INTRODUÇÃO

A Tecnologia Assistiva (TA) engloba uma ampla variedade de recursos e estratégias destinados a ampliar as habilidades funcionais de pessoas com deficiência, promovendo sua independência e inclusão

social (Bersh, 2017). No contexto das dificuldades de acessibilidade enfrentadas por indivíduos com necessidades específicas de locomoção, há uma crescente demanda de desenvolvimento de tecnologias que facilitem suas atividades diárias (Amorim, 2018; Souza, 2022).

As próteses de membros superiores, particularmente da mão, representam um grande desafio, devido, principalmente, à sua complexidade anatômica, que envolve vários graus de liberdade e uma estrutura altamente articulada (Cunha, 2002). Apesar dos avanços na criação de próteses mioelétricas baseadas em sinais biomédicos, como eletromiografia, o alto custo desses dispositivos no mercado limita sua acessibilidade para a maioria dos pacientes (Costa, 2016; Amorim, 2018; Morais, 2019; Maia, 2021; Bellinazzi, 2022; Carreira, 2022).

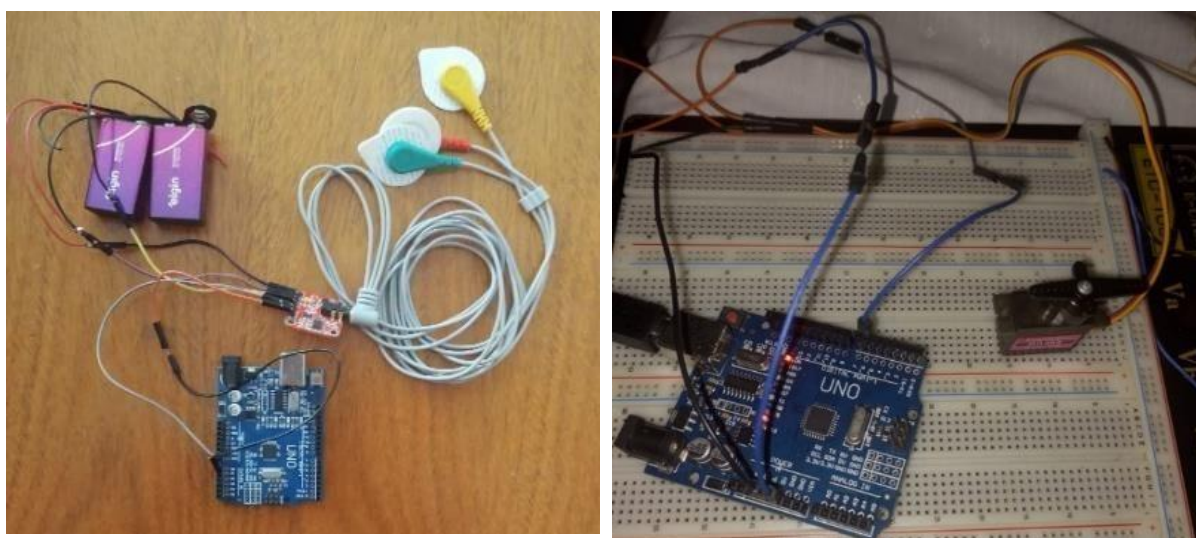
Nesse contexto, este projeto visa desenvolver um protótipo de prótese mioelétrica de mão, utilizando a plataforma Arduino UNO e a tecnologia de impressão 3D com filamento PETG. A escolha desse material deve-se às suas propriedades adequadas para a confecção de próteses personalizadas (Carreira, 2022). O objetivo é explorar como a tecnologia pode reduzir barreiras econômicas e proporcionar maior autonomia e qualidade de vida para indivíduos economicamente desfavorecidos que enfrentam a perda de membros superiores. Além disso, este estudo se fundamenta na hipótese de que a aplicação da impressão 3D e de tecnologias de baixo custo pode viabilizar a produção acessível de próteses funcionais. Espera-se que os resultados deste trabalho possam servir de base para futuras pesquisas na área de próteses mioelétricas, contribuindo para a reabilitação e inclusão desses pacientes na sociedade.

MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento deste projeto seguiu uma metodologia estruturada em diversas etapas. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente para compreender os tipos de próteses existentes para membros superiores e identificar um modelo adequado para o projeto. Além disso, essa revisão contemplou o estudo detalhado dos sensores mioelétricos, seus princípios de funcionamento e características essenciais para a captação e processamento dos sinais musculares.

Com base nos conhecimentos adquiridos na revisão bibliográfica, foram conduzidos testes experimentais para validar o desempenho dos sensores mioelétricos em conjunto com a placa microcontrolada Arduino Uno e os servomotores MG90S. Esses testes visaram ajustar o algoritmo de controle responsável pela comunicação entre os componentes eletrônicos, garantindo uma resposta eficaz da prótese aos sinais musculares. A Figura 1 apresenta os componentes utilizados nos testes iniciais.

Figura 1: Sensor EMG com placa de condicionamento de sinais, baterias, Arduino Uno e servomotor utilizados nos testes iniciais.



Fonte: Próprio autor.

A etapa seguinte envolveu a confecção da prótese em uma impressora 3D, utilizando filamento PETG devido às suas propriedades adequadas para aplicações médicas. Durante esse processo, foram realizados ajustes no modelo de prótese escolhido para melhorar o funcionamento dos servomotores e garantir a precisão dos movimentos dos dedos. Após a impressão do protótipo, foram realizados testes extensivos para validar sua funcionalidade. Esses testes incluíram a integração dos atuadores (servomotores) à estrutura da prótese e a verificação da capacidade do sistema em reconhecer e responder adequadamente aos sinais musculares simulados. A figura ilustra o processo de integração entre a estrutura

da prótese, os servomotores, o Arduino Uno e o sensor eletromiográfico.

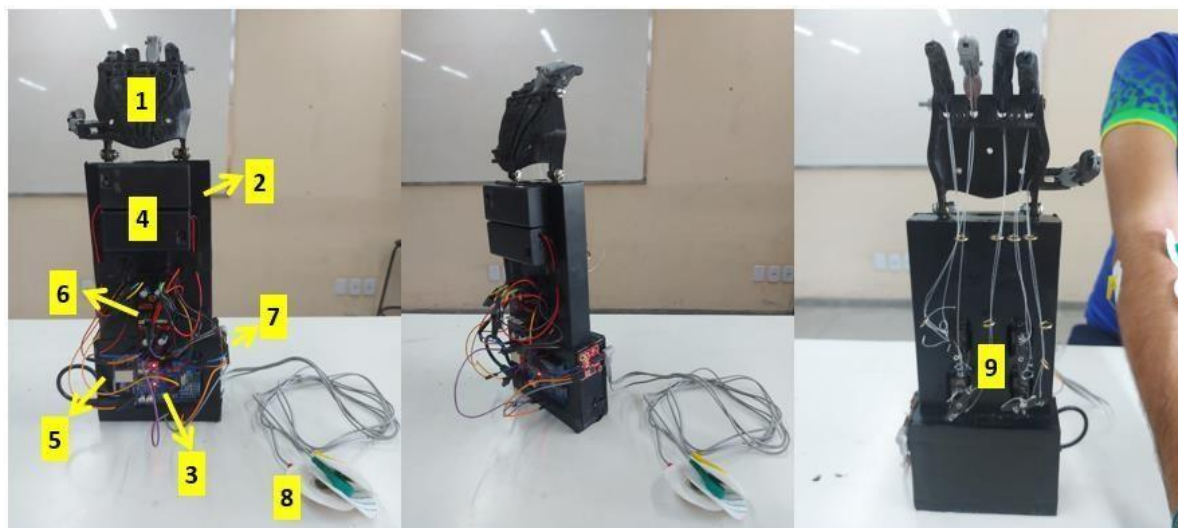
Para o desenvolvimento da estrutura da mão, primeiramente, foi feita a análise da parte mecânica para definir o melhor modelo para ser trabalhado na impressora 3D e, posteriormente, desenvolver o protótipo final do membro superior desejado. A opção escolhida de fundamentação foi a Cyborg Beast2. A impressão do protótipo foi realizada em impressora 3D com filamento de polietileno tereftalato de etileno glicol (PETG). Por ser uma fibra que é *Food Safe*, esse filamento suporta temperaturas elevadas, e ter uma boa resistência a impactos.

O protótipo impresso contou com alguns ajustes para o funcionamento adequado com os servomotores, dentre eles realização de furos mais largos para facilitar a passagem dos cabos pela peça, tornando o movimento dos dedos mais preciso. Para dar suporte aos servomotores alocados e assim ser possível a realização da movimentação dos dedos, inicialmente foi utilizada linha de pedreiro, porém, após alguns testes, as linhas foram substituídas por linhas de *nylon*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta a estrutura mecânica completa da prótese, onde é possível visualizar a parte da mão, confeccionada em impressora 3D utilizando filamento PETG, e a parte que foi utilizada madeira MDF para compor a estrutura de base. A madeira cortada foi usada para fornecer suporte aos servomotores e à mão impressa. Além disso, na base inferior da prótese foi alocada uma caixa de madeira em MDF para alojar a placa Arduino Uno, o módulo do sensor eletromiográfico e 3 baterias de alimentação, oferecendo uma infraestrutura completa para utilização da prótese.

Figura 2 – Integração entre a estrutura da prótese, os servomotores o Arduino Uno e o sensor eletromiográfico.



LEGENDA

- 1 – Mão impressa em impressora 3D
- 2 – Estrutura de madeira para suporte
- 3 – Placa microcontrolada Arduino Uno
- 4 – Baterias para alimentação dos 4 servomotores
- 5 – Alojamento para as baterias de alimentação do Arduino Uno e do módulo do sensor eletromiográfico
- 6 – Fonte regulada de 5V para alimentação dos servomotores
- 7 – Módulo do sensor eletromiográfico
- 8 – Eletrodos do sensor eletromiográficos
- 9 – Detalhes dos servomotores

Fonte: Próprio autor.

Após a realização dos estudos dos sinais mioelétricos e a confecção da parte mecânica da prótese juntamente com a parte elétrica, foi possível realizar os testes do funcionamento da prótese. A Figura 3 apresenta o algoritmo desenvolvido para realizar o acionamento dos servomotores de acordo com o sinal proveniente do sensor mioelétrico. Os servomotores são acionados quando o valor lido pelo sensor ultrapassa o valor de 700, indicando que houve uma contração muscular. Nesse instante, os servomotores

são acionados, um a um, até realizar o fechamento completo da mão.

Figura 3 – Algoritmo utilizado para leitura do sinal mioelétrico e acionamento dos servomotores.

```
#include <Servo.h>
const int pinoSensor = A0;
const int limiteSensor = 700;
Servo meuServo1;
Servo meuServo2;
Servo meuServo3;
Servo meuServo4;

void setup() {
  Serial.begin(2400);
  meuServo1.attach(8);
  meuServo1.write(90);
  delay(1000);
  meuServo2.attach(9);
  meuServo2.write(90);
  delay(1000);
  meuServo3.attach(10);
  meuServo3.write(90);
  delay(1000);
  meuServo4.attach(11);
  meuServo4.write(90);
  delay(1000);
}

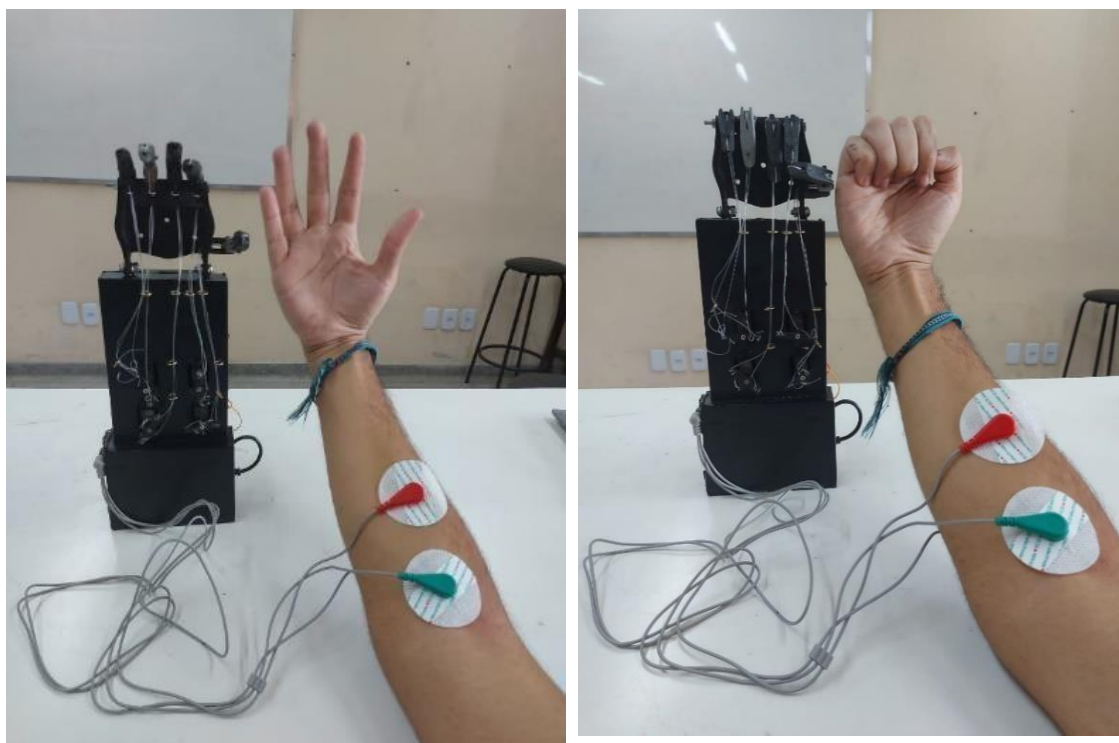
void loop() {
  int valorSensor = analogRead(A0);
  if (valorSensor > limiteSensor) {
    ativarServos();
    delay(1000);
  }
}

void ativarServos() {
  meuServo1.write(80);
  Serial.write("1");
  delay(1000);
  meuServo2.write(80);
  Serial.write("2");
  delay(1000);
  meuServo3.write(80);
  Serial.write("3");
  delay(1000);
  meuServo4.write(80);
  Serial.write("4");
  delay(500);
  meuServo1.write(90);
  Serial.write("0");
  delay(500);
  meuServo2.write(90);
  Serial.write("0");
  delay(500);
  meuServo3.write(90);
  Serial.write("0");
  delay(500);
  meuServo4.write(90);
  Serial.write("0");
  delay(500);
  meuServo1.write(120);
  Serial.write("180");
  delay(500);
  meuServo2.write(120);
  Serial.write("180");
  delay(500);
  meuServo3.write(120);
  Serial.write("180");
  delay(500);
  meuServo4.write(120);
  Serial.write("180");
  delay(2000);
  meuServo1.write(90);
  Serial.write("90");
  delay(2000);
  meuServo2.write(90);
  Serial.write("90");
  delay(2000);
  meuServo3.write(90);
  Serial.write("90");
  delay(2000);
  meuServo4.write(90);
  Serial.write("90");
  delay(2000);
}
```

Fonte: Autoria própria.

A Figura 4 apresenta a prótese completa desenvolvida juntamente com os eletrodos do sensor eletromiográfico posicionados no braço enquanto a mão está aberta. Para essa situação, o sinal proveniente dos sensores é inferior ao limite estabelecido de 700, fazendo com que a prótese da mão permaneça aberta. Quando a mão é fechada, o sinal proveniente do sensor mioelétrico ultrapassa o valor de 700, o que faz com que os servomotores sejam acionados e a mão se fecha. Com estes movimentos apresentados, já seria possível a realização de algumas atividades simples do cotidiano de uma pessoa, como pegar algum objeto e até mesmo conseguir se alimentar.

Figura 4 – Teste com a prótese desenvolvida para a situação de mão aberta e mão fechada.



Fonte: Próprio Autor

Além disso, é extremamente importante destacar a redução de custos (cerca de 10 vezes inferior ao de uma prótese comercial) utilizando o mínimo de componentes possíveis para que a prótese funcione com êxito, mantendo a funcionalidade. A Tabela 1 apresenta a relação dos componentes utilizados e o

preço estimado para o desenvolvimento da prótese proposta neste trabalho.

Tabela 1 – Custo estimado da prótese desenvolvida.

Componentes	Qtd.	Preço Unit.	Preço Total
Arduino Uno	1	R\$ 36,00	R\$ 36,00
Sensor Eletromiográfico	1	R\$ 118,00	R\$ 118,00
Servos Motores MG90S	4	R\$ 25,00	R\$ 100,00
Baterias de 9V	5	R\$ 23, 00	R\$ 115,00
Filamento PETG	1	R\$ 100, 00	R\$ 100,00
Cabos	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
Barramento de Pinos Macho	1	R\$ 2,00	R\$ 2,00
Parafusos	6	R\$ 0,50	R\$ 3,00
Kit Jumpers 20 unidades	1	R\$ 5,60	R\$ 5,60
Conectores de bateria	4	R\$ 0,98	R\$ 3,92
Case de Bateria 9V	2	R\$ 8,13	R\$ 16,26
Fita isolante	1	R\$ 4,39	R\$ 4,39
Regulador de tensão 7805	2	R\$ 1,84	R\$ 3,68
Capacitor Eletrolítico (220 μ F/35V)	4	R\$ 0,50	R\$ 2,00
Capacitor Poliéster(2,2 nF)	4	R\$ 1,50	R\$ 6,00
Madeira MDF (10 x 15 x 2,5 cm)	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00
Caixa de madeira MDF (4 x 11 x 8 cm)	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Papel contact preto 1m	1	R\$ 14,90	R\$ 14,90
Total			R\$ 560,75

Fonte: Próprio autor.

CONCLUSÕES

Após a realização dos estudos dos sinais mioelétricos e a confecção da parte mecânica da prótese juntamente com a parte elétrica, foi possível realizar os testes de funcionamento da prótese. Com o algoritmo implementado foi possível verificar a presença de uma contração muscular e, posteriormente, ativar os servomotores responsáveis pela movimentação dos dedos para abertura e fechamento da mão.

Como demonstrado, o preço da prótese desenvolvida ficou bem inferior ao de uma prótese real, que em média custa na faixa de 6 mil reais. É evidente que prótese proposta possui limitações quando comparada com uma prótese comercial. Porém, de certa maneira, pode-se dizer que a prótese desenvolvida se torna eficiente para atender às necessidades básicas da vida cotidiana com cerca de um décimo do valor de uma prótese real.

No desenvolvimento deste trabalho, algumas dificuldades foram encontradas:

- Inicialmente, a proposta era desenvolver o protótipo utilizando a placa ESP32. Porém, devido a algumas incompatibilidades de níveis de tensão entre sensores e atuadores, por motivos de facilitar o desenvolvimento, esta placa foi substituída pela placa Arduino Uno, já que é compatível com a tensão de 5V da maioria dos sensores e atuadores disponíveis no mercado.
- A linha de tração ligadas aos dedos também precisou ser alterada no decorrer do projeto após alguns testes iniciais com os servomotores. Inicialmente, utilizou-se a linha de pedreiro, um pouco mais rígida, porém ela foi substituída pela linha de *nylon*, a qual apresentou menos atrito com a estrutura da prótese.
- A impressão 3D apresentou alguns problemas de obstrução de alguns furos dos dedos da mão, uma vez que se tratava de furos bastante pequenos por onde passariam os fios de tração dos servomotores. Para contornar esse problema, foi utilizado um clip, previamente aquecido, para ser possível realizar a desobstrução dos caminhos por onde a linha de nylon passaria.
- O ajuste de cada dedo precisou ser realizado de modo individual, uma vez que o curso de cada um

era diferente. Para isso, foi necessário deixar as linhas de nylon bem esticadas e ajustar, via programação, a velocidade e o tempo que cada dedo levaria para realizar a movimentação de abrir e fechar.

Além disso, neste trabalho, o mesmo sinal proveniente do sensor mioelétrico foi utilizado para acionar todos os dedos da mão. O acionamento de cada dedo foi realizado um por vez, fazendo com que fosse possível o movimento de abrir e fechar. O próximo passo para dar continuidade a este tema de pesquisa seria buscar maneiras de individualizar o movimento dos dedos para tornar a prótese mais realista quando comparada ao comportamento da mão humana. Isso poderá ser realizado fazendo alterações no algoritmo de tratamento do sinal obtido pelos sensores e atuação dos servomotores de modo a ser capaz de identificar a ação de cada dedo.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Samuel Pestana: conceitualização, metodologia, desenvolvimento, implementação e teste de software, análises dos dados e experimentos, discussões dos resultados e redação do trabalho.

Raphael Carvalho Zugaib: análise dos dados e experimentos, discussões dos resultados e redação do trabalho.

Elian João Agnoletto: metodologia, implementação e teste de software, análise dos dados e experimentos, discussões dos resultados e redação do trabalho.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFSP – Instituto de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo - Campus Cubatão, pela infraestrutura disponível e bolsa PIBIFSP, e à Coordenadoria de Manutenção pelo suporte técnico fornecido.

REFERÊNCIAS

AMORIM, A. F.; SILVA, G. L.; ALMEIDA, L. D.; MARIA JÚNIOR, R. F.; SILVA, Nadison F.; BRITO FILHO, F. A. **Desenvolvimento de uma prótese mioelétrica utilizando redes neurais artificiais**. Congresso Brasileiro de Automática (CBA): João Pessoa, 2018.

BELLINAZZI, L. L. R. **Revisão Dos Principais Métodos De Atuação Elétrica Para Próteses De Membro Superior**. 2022. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Mecatrônica. Centro Tecnológico De Joinville, Universidade Federal De Santa Catarina (UFSC), Joinville, 2022.

BERSH, R. **Introdução à Tecnologia Assistiva**. Assistiva – tecnologia e educação: Porto Alegre, 2017.

CARREIRA, A. S.; MANSO, D. G. dos S.; MONTEIRO, G. G. A utilização e aplicação da Impressora 3D na área de saúde. **Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências E Educação**, 8(9), 340–354, 2022.

COSTA, I. S. P.; COSTA, J. M. P.; ROCHA, M. E. A.; SOUSA, H. C. P.; RODRIGUES, H. Erick S.; CONCEIÇÃO, V. S.; ARAUJO, F. M. A. **Prótese eletrônica feita em impressora 3D e controlada por sinais mioelétricos**. VI Mostra Nacional de Robótica (MNR): Recife, 2016.

CUNHA, F. L. **Mão de são carlos, uma prótese multifunção para membros superiores: um estudo dos mecanismos, atuadores e sensores**. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

MAIA, G. A.; MOREIRA, T. C.; MAIA, F. S. Projeto friday: construção de uma prótese microcontrolada de baixo custo. **Scientia Prima**, v. 7, 4 nov. 2021.

MORAIS, B. S. **Desenvolvimento de prótese mioelétrica para membro superior**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

SOUZA, B. R.; MINGIONE, G. R.; CONCEIÇÃO, G. B.; RODRIGUES, M. A.; BETTONI, P. H. Orientador: CARVALHO, D. Coorientador: NEVES, A. **Desenvolvimento de Prótese de Membro Superior por Manufatura Aditiva**. 2022. 12f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Anhembi Morumbi (UAM), São Paulo, 2022.