

## Trabalho de Conclusão de Curso

### Smart Hand – Prótese Mioelétrica de Membro Superior

Andre Luis Pelegrine<sup>1</sup>, Jonatas dos Santos Ferreira<sup>2</sup>, Jose Wagner Vieira Junior<sup>3</sup>, Julio Cezar Camargo<sup>4</sup>,  
Dr. Claudio Kiyoshi Umezu<sup>5</sup>

1. Acadêmico da Metrocamp – DeVry Brasil, Engenharia da Computação, andre.luis.pelegrine@hotmail.com
2. Acadêmico da Metrocamp – DeVry Brasil, Engenharia da Computação, contato.jferreira@gmail.com
3. Acadêmico da Metrocamp – DeVry Brasil, Engenharia da Computação, junior.wagner.vieira@gmail.com
4. Acadêmico da Metrocamp – DeVry Brasil, Engenharia da Computação, juliocezarcamargo.jc@gmail.com
5. Professor da Metrocamp – DeVry Brasil, Engenharia da Computação, claudio.umezu@metrocamp.edu.br

**Resumo** – As próteses são componentes artificiais que tem por objetivo suprir as necessidades físicas e funções motoras durante o cotidiano de indivíduos que sofreram algum tipo de amputação ao longo da vida ou mesmo durante sua nascença, além de melhorar a auto estima de seus usuários. Há varios tipos de proteses disponíveis no mercado custando os mais variados valores, porém a prótese mioelétrica em particular tem mostrado avanços promissores nos últimos anos e é alvo do nosso estudo. Uma prótese mioelétrica é um dispositivo mecatrônico composto de partes mecânicas controladas eletronicamente, é acionada pela leitura do sinal produzido por um ou mais músculos do usuário da prótese. A mão humana é constituída por um complexo conjunto de ossos, e por isso é considerada, depois do cérebro, o órgão que realiza as tarefas mais elaboradas do corpo humano, dessa forma as próteses de mão devem ser o mais funcional possível. Neste trabalho é proposta a concepção de uma prótese mioelétrica de membro superior de baixo custo.

**Palavras-chave:** Prótese mioelétrica, membro superior, baixo custo, sistemas embarcados.

## 1. Introdução

Quando uma pessoa perde algum membro do corpo, no lugar é colocada uma prótese mecânica. Essa prótese responde por qualquer impulso nervoso, se transformando em um substituto ideal com a vantagem de ser mais resistente. Essa substituição pode ter como objetivo a realização de uma tarefa específica, multi-tarefas ou até mesmo uma questão estética.

Segundo Marcolino et.al (2015) o processo de protetização, que se trata de substituir um membro amputado por uma prótese, tem como objetivo oferecer ao paciente máxima independência funcional. Por conta disso, existe um grande esforço das áreas de engenharia para aprimorar a qualidade funcional das próteses e garantir maior satisfação dos usuários.

### *1.1. Motivação e Justificativa*

O projeto de uma prótese mioelétrica de membro superior aborda um tema bastante atual, e apesar de ser um assunto crescente no universo acadêmico e de pesquisas, ainda contém margem para novos projetos e idéias dada a complexidade e dificuldade de uma replicação exata dos movimentos reais de uma mão biológica.

Somado a isso, ainda existe o fato do alto valor de produção das próteses mioelétricas, que as torna inacessíveis para grande parte da população brasileira, abrindo assim um espaço não apenas para ganhar mercado com próteses mais baratas e tornar o projeto rentável mas para ajudar também a população tornando a nossa sociedade mais digna e igualitária.

### *1.2. Prótese Mioelétrica*

As próteses de braço com controle mioelétrico possuem abertura e fechamento de mão através de ação muscular. O dispositivo conectado ao corpo tem duas formas para ser colocado, de modo invasivo no qual é introduzido agulhas no membro do paciente (onde é menos utilizado por causar grande nível de desconforto), e de modo não invasivo, onde é colocado por eletrodos nos grupos musculares do membro residual o qual captará informações contráteis enviadas pelo córtex, após o indivíduo passar para o cérebro que deseja fazer um determinado movimento.

A prótese pode e deve ser retirada ao dormir, para que não haja interferência ao sono, já que um mínimo de contração pode ser amplificada, a mesma possui um carregador especial e uma bateria para ser carregada que dura cerca de 03 anos, podendo ser recarregado em uma média de novecentas vezes. Pode ser caracterizada como exoesquelética por ser funcional e não estética, e pré fabricada porém não achada em qualquer local, há diferentes tamanhos para mulheres, homens, crianças, e para diferentes tamanhos de densidade muscular do membro. (MAIS QUE FISIOTERAPIA)

### 1.3. Uma Breve História da Prótese

A preocupação com a adequação de pessoas mutiladas ou que padeciam de deficiências levou alguns inventores, médicos e curiosos a uma produção de artefatos para substituir os membros necessários para as vidas daqueles que faziam uso dessas criações. As próteses nem sempre eram confortáveis, muitas vezes incomodavam e até feriam, mas o desenvolvimento desses projetos foi representando uma trajetória para o aprimoramento das próteses. A evolução das próteses é uma história longa, desde as suas origens primitivas até a sua presente sofisticação, com as visões interessantes do futuro. Tal como no desenvolvimento de qualquer outro campo, algumas idéias e invenções foram se desenvolvendo, como o pé de posição fixa, enquanto outros caíram no esquecimento ou se tornaram obsoletos, como o uso de ferro em próteses. (DEFICIENTE FORUM)

Houve muitos refinamentos aos primeiros modelos de próteses criadas, ao longo do tempo as próteses passaram a ser mais funcionais e esteticamente mais aceitáveis como é visto na figura 1.

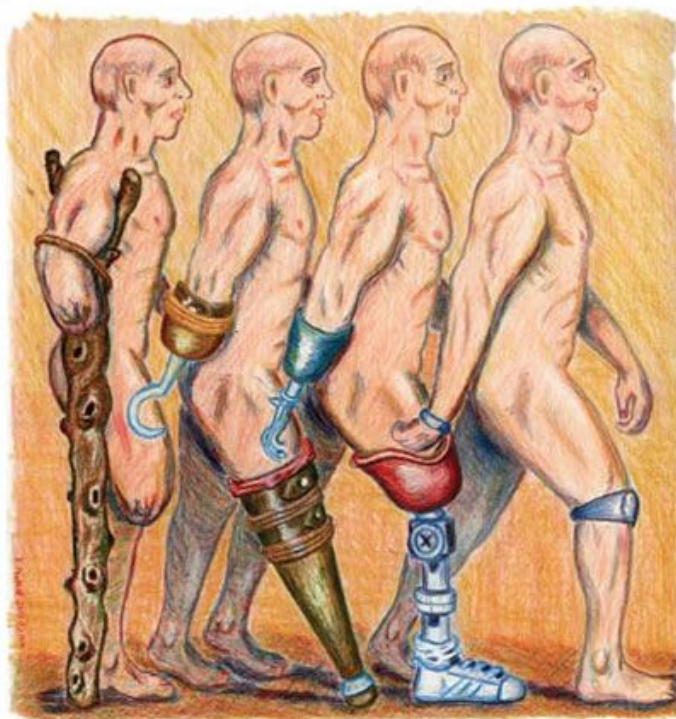


Figura 1 – Evolução das próteses ao longo do tempo

#### *1.4. Situação da Produção de Prótese no Brasil e no Exterior*

Com o surgimento da ergonomia durante a Segunda Guerra Mundial, a preocupação com os amputados e inválidos aumentou. Os Estados Unidos, na época, viram que com algumas melhorias na relação homem-máquina diminuíam a perda de homens que levavam meses para serem treinados.

Com o avanço da tecnologia, o número de mortes em guerras caiu, porém o número de amputados está aumentando. Atualmente, quando se fala em próteses ortopédicas e reabilitação de amputados, os EUA é o país que retém a tecnologia mais avançada. No Brasil, a situação é diferente, em 2011 segundo a Associação Brasileira de Ortopedia Técnica (ABOTEC) o Brasil possuía apenas uma fábrica de próteses, a Ortho Gen, fundada em 2004.

Outras 180 empresas ligadas à associação fazem apenas a montagem das peças. Enquanto isso dados do IBGE apontam que 14,5% da população brasileira têm algum tipo de deficiência e, com o envelhecimento da população, esse número tende a aumentar só que a indústria nacional, ainda não tem condições (em quantidade e nem em qualidade) para competir com os produtos importados. (PASSO FIRME).

Existem basicamente 3 tipos de próteses sendo fabricadas no mercado brasileiro: estética, mecânica funcional e mioelétrica.

**Prótese Estética:** Não tem resistência mecânica e pode rasgar e manchar com facilidade; valor de custo em torno de R\$ 7 mil. Prós: é realmente muito parecida com uma mão real. Contras: ao perder uma prótese estética, até conseguir uma nova o paciente terá que aguardar por pelo menos 2 anos.

**Prótese Mecânica:** Tem a função de ser acionada pela articulação do lado contrário do membro amputado, e por essa dificuldade de movimentação acaba sendo a prótese com maior índice de rejeição, chegando a 90%. Valor de custo pode chegar a R\$ 15 mil. Contras: adaptação muito difícil.

**Prótese Mioelétrica:** Próteses que possuem sensores capazes de captar o movimento superficial da pele, que por sua vez aciona um motor para abrir e fechar a mão. Essas próteses são, no entanto, extremamente frágeis. Ainda não foi possível criar uma prótese mioelétrica de baixo custo que seja realmente funcional. Isso sem contar que o custo é muito alto, podendo chegar a R\$ 300 mil.

## 2. Metodologia

O projeto Smart Hand utiliza tecnologias consolidadas em suas respectivas áreas de atuação que viabilizam sua criação. O projeto é dividido em 8 frentes que serão apresentadas separadamente.

- Entrada;
- Processamento;
- Saída;
- Alimentação;
- Comunicação;
- Software;
- Hardware (desenvolvido para o projeto);
- Prótese.

### 2.1. Entrada

Para a entrada de dados (ou aquisição de dados) foram utilizados 10 sensores de pressão BMP180 encapsulados em silicone e 2 sensores mioelétricos EKG/EMG da Olimex. Esses dois tipos de sensores são conectados a um Atmega 328P que é responsável pela aquisição e amostragem dos dados dos sensores, conforme figura demonstrado na figura 2.

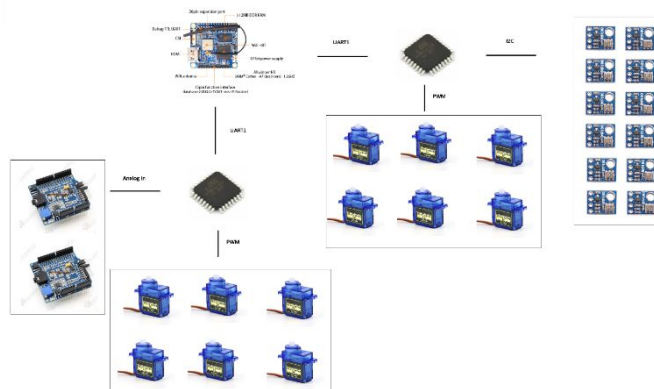


Figura 2 – Esquema de Entrada

**BMP180:** Esse sensor foi selecionado por seu baixo custo e sua grande sensibilidade (é possível calcular a altitude em relação ao nível do mar com um precisão de 5cm). Além disso, a procedência do produto, que é fabricado pela Bosch é um diferencial. Cinco desses sensores são dispostos no antebraço e são responsáveis pela leitura e

movimentação superficial dos músculos residuais, já os cinco restantes ficam encapsulados nos pontos dos dedos para que o equipamento tenha sensibilidade ao toque. Todas as informações sobre os componentes foram adquiridas diretamente no datasheet do componente, o que aumenta ainda mais a confiabilidade das informações. A figura 3 mostra um sensor já montado em uma PCB (printed circuit board, ou seja, placa de circuito impresso).

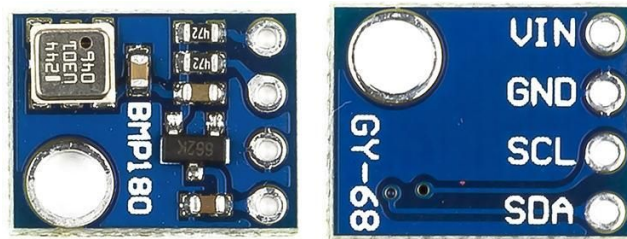


Figura 3 – Sensor montado em uma PCB

A PCB mostrada na figura 3 é composta por um regulador de tensão e pelos capacitores e resistores necessários para a comunicação iC2 e por regular a tensão que chega até a componente.

A ligação aos sensores é feita da seguinte maneira:

**VIN** – Entrada que é utilizada para alimentar o componente com 5V;

**GND** – Entrada que é conectada diretamente à terra;

**SCL** – Entrada que é multiplexada para a leitura do sensor (é explicada ao longo do projeto);

**SDA** – Entrada utilizada para a comunicação do componente (são ligados em série).

Os sensores são encapsulados em silicone e servem como sensores de pressão em nosso projeto (para aquisição dos dados de entrada do dispositivo). Os dez sensores são conectados em um multiplexador cd74hc4067 que é responsável por fazer a interface com o Arduino. Essa adaptação foi necessária porque o sensor BMP180 não é compatível com o endereçamento lógico que está disponível para grande parte dos componentes compatíveis com a comunicação i2C. A figura 4 mostra o exemplo de um componente cd74hc4067.

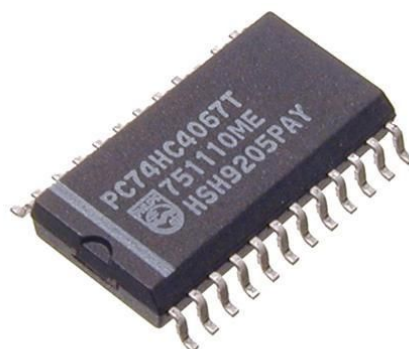


Figura 4 – Componente cd74hc4076

**EKG/EMG Olimex:** Através desse sensor é possível fazer a aquisição de dados de eletromiografia e eletrocardiografia de maneira fácil, esse sensor já vem pronto para utilização e já possui uma biblioteca disponível, é possível ver seu detalhe na figura 5. Este sensor foi utilizado por seu baixo custo e por ser um dos mais completos disponíveis no mercado. Para a conexão com o Atmega328P foram utilizados apenas dois pinos, uma para leitura do valor analógico que é capturado e depois realiza a amostragem e filtragem direto pelo microcontrolador e um pino responsável pela sua calibragem. Como o projeto utiliza dois desses sensores são necessários três pinos do controlador. Os dois sensores ficam no antebraço, uma na parte frontal e outro na parte traseira, dessa forma é possível ter a sensibilidade da flexão dos dedos e da extensão.

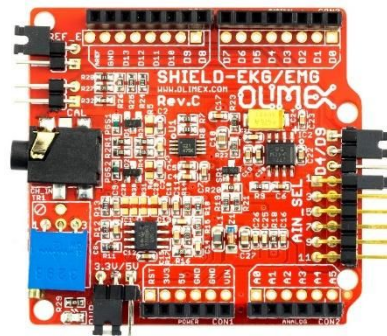


Figura 5 – EKG/EMG Olimex

**Atmega328P:** Este é componente principal do sistema de entrada e esta disponível em milhares de dispositivos no mundo todo, seja em hardware amador ou não. Possui confiabilidade e qualidade já testado e comprovado por muitos desenvolvedores de hardware. A figura 6 mostra a aparência desse componente no encapsulamento AU (smd) que é utilizado em nosso projeto.



Figura 6 – Componente Atmega328P

Utilizaremos dois componentes Atmega328P conforme o diagrama apresentado anteriormente, um conectado aos sensores BMP180 e outro aos EKG/EMG da Olimex.

Além de serem responsáveis pela aquisição dos dados, os microcontroladores também são responsáveis pela saída do equipamento, sendo responsáveis por gerar o sinal PWM para os servos motores (que serão apresentados mais a frente)

## 2.2. Processamento

Para o processamento utilizamos um equipamento extremamente robusto. De todos os sistemas de prótese mioelétrica, esse é sem dúvida o mais robusto em termos de hardware e capacidade de processamento, além é claro, de possuir um sistema de comunicação muito interessante e igualmente completo.

**OrangePi Zero Plus 2 (H5):** Para a construção do nosso projeto optamos por utilizar a placa Orange PI Zero Plus 2 com H5, a figura 7 contempla o design da placa.



Figura 7 – Placa Orange PI Zero Plus 2 com H5

As principais características dessa placa para o nosso projeto são:

CPU Quad Core ARM 64bits 1.2 Ghz (A53);

512MB DDR3;

eMMC flash de 8GB;

Possui Wifi padrão B/G e N;

Bluetooth 4.2 (que é utilizado para comunicação com o aplicativo Android);

26 pinos de conexão geral que são utilizados para a comunicação com o Atmega 328P. Mais detalhes na figura 8.



Utilizamos a porta Uart1 para a comunicação com o Atmega 328P 1 e a Uart2 para a comunicação com o Atmega 328P 2. Utilizamos a saída de vídeo disponível na própria placa para a o desenvolvimento e programação do software, eliminando assim a necessidade da utilização de um microcomputador. Foi utilizado um sistema operacional na placa (mais informações no tópico de software).

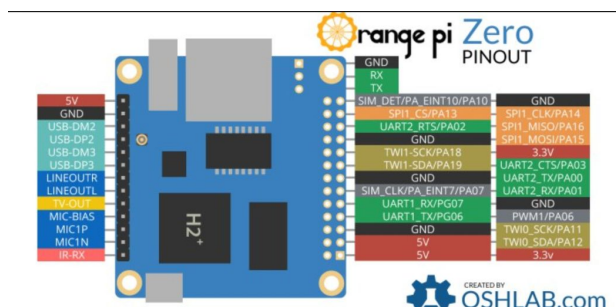


Figura 8 – Utilização dos pinos

### 2.3. Saída

De todas as etapas do nosso projeto, a saída é a que possui menos componentes e é a mais simples, porém é também a etapa mais importante do nosso projeto, pois ela é o resultado de todos os esforços em todas as outras etapas. A saída é composta por apenas dois componentes: os servo-motores que são responsáveis pelos movimentos da prótese e o Atmega 328P, responsável por gerar o sinal PWM que é utilizado para controlar os servo motores.

**Servo motor SG90:** A figura 9 mostra o modelo de servo motor SG90 (9G) usado no projeto, o mesmo foi escolhido para ser utilizado por seu pequeno tamanho e pouco peso, ideal para utilização na prótese. Outra característica importante é seu baixo consumo e seu torque de aproximadamente 1,1KFG, que é o máximo ideal para a nossa prótese impressa em ABS. O local de fixação dos motores é discutido na etapa de prótese e a explicação sobre o funcionamento do sinal PWM é apresentado na etapa de software. O controle desses motores é feito com a utilização de 2 Atmega 328P utilizados no projeto, para sua conexão aos motores utilizamos os pinos PWM disponíveis nos microcontroladores (é possível utilizar até 12 servo motores ao mesmo tempo, porém nosso projeto utiliza apenas 7).



Figura 9 – Modelo servo motor SG90 (9G)

#### 2.4. Alimentação

Para o sistema de alimentação da nossa prótese optamos por uma solução pronta que é amplamente utilizada em equipamentos de comunicação e que elimina a necessidade do desenvolvimento de um projeto novo, dessa maneira, podemos focar nas partes realmente importantes (como o desenvolvimento do software). A seguir apresentamos os três componentes utilizados para a alimentação da prótese.

**Ubec 8A (Pico 12A):** Para o sistema de extração da potência da bateria, escolhemos uma solução pronta, o UBEC de 5V e 8A da Doccman, como mostrado na figura 10.



Figura 10 – UBEC de 5V e 8A

As principais características desse componente são:

- Saída: 5 V/8A, 6 V/8A ou 7,4 V/8A (mutável com um jumper);
- Entrada: 7-25,5 V (2 a 6 células Lipo Bateria, 6 Para 16 células NiMH bateria);
- Corrente de saída contínua: 8A;
- Explosão de saída atual: 12A ( $\leq 15$  sec);
- Ripple:  $<35\text{mVp-p}$  (@ 8A/12 V);

- Tamanho: 45 mm \* 22 mm \* 7,5 mm (L \* W \* H);

**Bateria Lipo 25C 11.1V (2200mAh):** A bateria utilizada é do tipo lipo de 25C (11, 1V) conforme figura 11.



Figura 11 – Bateria Lipo 25C 11,1V

### 2.5. Comunicação

Para a parte de comunicação utilizamos o bluetooth incluso na placa Oragne Pi Zero Plus 2 – H5 em conjunto com um aplicativo para celular que foi desenvolvido utilizando o APPInventor2 para a plataforma Android. O software é responsável pela configuração e monitoramento do funcionamento da prótese, bem como a verificação de sua bateria e calibração.

### 2.6. Software

Em relação ao software , utilizamos a linguagem Arduino para a programação do Atmega 328P e utilizamos C (utilizando o GCC incluso no próprio Linux Ubuntu) para o desenvolvimento do software da prótese.

Para o início do desenvolvimento do software, foi necessário primeiro a preparação do placa Organte Pi Zero Plus 2, para isso foi necessaria a instalação do sistema operacional seguindo os seguintes passos:

- Primeiro foi necessário formatar um SD card de no mínimo 8GB;
- Depois fizemos o download do sistema operacional diretamente no site do fabricante da placa;
- Aplicamos a imagem do sistema operacional diretamente no cartão de memória;
- Após essas etapas foi necessária apenas a instalação da plataforma de desenvolvimento do Arduino.

### 2.7. Hardware

Desenvolvemos e fabricamos 2 placas de circuito impresso para o projeto. Uma das placas é responsável pela conexão de todos os sensores do projeto, pode ser utilizado até 16 sensores simultaneamente (através de Conexão iC2). Esta placa possui o multiplexador descrito no início do projeto. A segunda placa é responsável pelo controle dos motores e possui os micro controladores do projeto conforme descrito no diagrama

Desenvolvemos e confeccionamos 2 placas de circuito impresso para a o projeto.

Uma das placas será responsável pela conexão de todos os sensores do projeto, poderão ser utilizados até 16 sensores simultaneamente (através de conexão i2C). Esta placa possui o multiplexador descrito no início do projeto. A segunda placa será responsável pelo controle dos motores e ira possuir os micro controladores do projeto conforme descrito no diagrama da figura 2.

### 2.8. Prótese

Como inspiração e modelo inicial para o desenvolvimento da parte mecânica da prótese, optamos por utilizar a flexihand2. Além desse modelo de prótese, nos aprofundamos em um outro modelo chamado Handiii. Partindo desses 2 projetos, resolvemos desenvolver o nosso para a construção do trabalho. Montamos a nossa própria impressora 3D para que tivéssemos mais liberdade no desenvolvimento da prótese. Optamos por utilizar o projeto Graber i3 para a construção da impressora e o resultado pode ser visto a na figura 12.



Figura 12 – Projeto Graber i3

### **3. Resultados e Discussões**

Na versão preliminar deste projeto não será apresentado nenhum resultado.

### **4. Conclusão**

Na versão preliminar deste projeto não será apresentada nenhuma conclusão.

### **Agradecimentos**

Na versão preliminar deste projeto não será apresentado nenhum agradecimento.

## Apêndice

Neste apêndice é listado os links para os sites de criação do circuito, instalação e download do SO.

- **Link para criação do circuito para documentação:**

<https://circuits.io/>

[http://www.orangepi.org/downloadresources/orangepizeroplus2H5/orangepizeroplus2H5\\_fc92ae02f1166c47.html](http://www.orangepi.org/downloadresources/orangepizeroplus2H5/orangepizeroplus2H5_fc92ae02f1166c47.html)

<https://forum.armbian.com/index.php?/topic/3977-orange-pi-zero-plus-2-h3-h5/>

- **Link para instalação do SO:**

[https://docs.armbian.com/User-Guide\\_Getting-Started/](https://docs.armbian.com/User-Guide_Getting-Started/)

<http://www.instructables.com/id/Orange-Pi-PC-Get-Started/>

- **Link para download do SO:**

[http://www.orangepi.org/downloadresources/orangepizeroplus2H5/orangepizeroplus2H5\\_adce81482f863b39.html](http://www.orangepi.org/downloadresources/orangepizeroplus2H5/orangepizeroplus2H5_adce81482f863b39.html)

<http://www.orangepi.org/orangepibbsen/forum.php?mod=viewthread&tid=3035&highlight=pi%2Bzero%2Bplus%2B2>

## Referências

DEFICIENTE FORUM. **Uma Breve História da Prótese.** Disponível em: <<http://www.deficiente-forum.com/ajudas-tecnicas/uma-breve-historia-da-protese/>>. Acesso em 15 de Novembro 2017.

MAIS QUE FISIOTERAPIA. **Protéses Mioelétricas.** Disponível em: <<https://maisquefisioterapia.blogspot.com.br/2015/06/proteses-mioeletricas.html>>. Acesso em 21 Novembro 2017.

MARCOLINO, A. M. et al. Amputações e próteses do membro superior. **“Órteses e próteses: indicação e tratamento”**. Águia Dourada, 2015.

PASSO FIRME. **A incrível evolução das próteses na medicina moderna.** Disponível em <<https://passofirme.wordpress.com/2011/03/11/a-incrivel-evolucao-das-proteses-na-medicina-moderna/>>. Acesso em 10 de Novembro 2017.

TECMUNDO. Handiii: Prótese de braço feita em impressora 3D custo só 300 dólares. Disponível em <https://www.tecmundo.com.br/protese/77034-handiii-protese-braco-feita-impressora-3d-custa-so-300-dolares.htm>. Acesso em 09 de Novembro 2017.