

Engenharia de Reabilitação: Mão Antropomórfica Controlada por Sinais Eletromiográficos

Gerson Jorge S. Suzart¹
Taniel Silva Franklin²

Resumo

Este artigo tem a proposta de iniciar estudos para criação de um dispositivo robótico para pessoas com amputação da mão, ao certo grau do membro superior ao nível do cotovelo, controlado por estímulos do músculo captados por sensores eletromiográficos - EMG. O principal objetivo deste estudo foi coletar as características dos sinais EMG para movimentos pré estipulados, reconhecendo os padrões destes movimentos por Rede Neural Artificial, desenvolver um modelo protético que comporte intencionalmente o antropomorfismo da mão, a respeito funcional, ou seja, capaz de movimentar de forma similar ou bem próximo da mão humana.

Palavras-chave: Engenharia de Reabilitação. Prótese. Protótipos. Eletromiografia.

Abstract

This article has an initial study proposal for the creation of a robotic device for people with hand amputation, for the right degree of upper limb to the level of the elbow, controlled by stimulus for the muscle captured for the electromyographic elements - EMG. The main objective of this study was to collect as characteristics of the EMG signals for prestressed movements, recognizing the patterns of movements by Artificial Neural Network, developed a prosthetic model that intentionally involves the anthropomorphism of the hand, with respect to functional, that is, able to move Similar or close to the human hand.

Keywords: Rehabilitation Engineering. Prosthesis. Prototypes. Electromyography.

¹Graduando, Engenharia de Controle e Automação Faculdade DeVry/Área1, Brasil- gersonsuzart@gmail.com

²Orientador, Mestre em Engenharia Elétrica na Universidade Federal da Bahia (UFBA) – Professor da Faculdade DeVry/Área1, Brasil- tfranklin@area1.edu.br

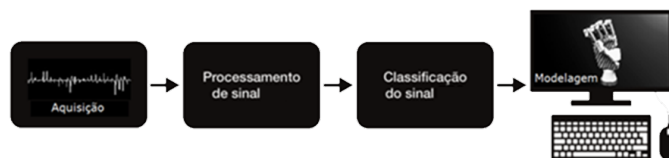
1 INTRODUÇÃO

Os Estudos em reabilitação têm como principal objetivo restaurar as funções motoras perdidas no tratamento das desabilidades motoras. A mão é uma das partes mais importantes do corpo humano, pois permite a execução de um elevado número de funções, tais como: preensão, percepção, exploração, manipulação, sendo responsável pela maioria das atividades diárias do homem. O objetivo deste artigo foi apresentar testes de aquisição, interpretação, processamento de sinais para acionamento de prótese de mão biomecânica e modelagem computacional para mão humana, controlada por sinais eletromiográficos - EMG de superfície, não invasivo, método de medição da atividade muscular e tem sido extensivamente investigado como um meio de controlar dispositivos protéticos. Amputados e indivíduos parcialmente paralisados tipicamente com músculos intactos podem exercer diferentes graus de controle. A capacidade de decodificar sinais EMG pode revelar-se extremamente útil na restauração de algumas ou toda a funcionalidade motora perdida para estes indivíduos. As órteses tradicionalmente são divididas em estáticas, dinâmicas e funcionais. A prótese a ser utilizada por um paciente amputado será expressa por repetição de movimentos idênticos a mão humana (antropomórficos), com o avanço tecnológico e a busca de próteses funcionais por pacientes com estas anomalias, o antropomorfismo torna-se possível seu desenvolvimento, aplicando técnicas no campo da tecnologia robótica, sendo apresentado um modelo off-line providos dos recursos de modelagem computacional.

2 MÉTODO

O sistema desenvolvido consiste no modelo de uma mão robotizada antropomórfica, a realizar movimentos similares por meio de modelagem computacional e controlada por EMG, podemos verificar as etapas do projeto, conforme figura 1:

Figura 1 – Diagrama de Blocos representação das fases do sistema



Fonte: elaborado pelo autor

2.1 Aquisição

Eletromiografia – EMG é uma técnica de diagnóstico médico que consiste na aquisição de sinais elétricos proveniente dos músculos. O sinal é medido através do potencial elétrico

num ponto, em face de uma referência, ou através da diferença de potencial entre dois ou mais pontos. Esta medição pode ser realizada com eletrodos à superfície da pele, na zona do músculo. O Sensor (EMG MUSCLE SENSOR V3) fabricado pela Advanced Technologies®, possui uma placa integrada que, além de obter o sinal bruto dos eletrodos, também amplifica, retifica e suaviza o sinal obtido. O EMG MUSCLE SENSOR V3 utiliza dois eletrodos para aquisição do sinal EMG, mais um terceiro para obter uma referência, a ser colocado numa zona óssea, sendo seguidas as recomendações do SENIAM, os eletrodos utilizados possuem diâmetro de 32mm, gel condutivo adesivo com pino metálico de aço inox 304 e contra-pino de polímero ABS reforçado com fibra de vidro recoberto com tratamento de prata modelo 2223BRQ fabricada pela 3M do Brasil Ltda. O SENIAM (Surface Electromyography for the Now – Invasive Assessment of Muscles) é um órgão da comissão Européia para criar uma serie de recomendações em pesquisa e novos métodos de aplicações da eletromiografia de superfície, estas recomendações foram utilizadas para a localização dos eletrodos, conforme figura 2.(MARTINS, 2015) A transmissão dos sinais do sensor EMG é efetuada usando uma placa Arduino Mega 2560, esta placa possui 16 pinos analógicos associados a um conversor A/D de 10 bits os pinos podem receber um sinal de tensão entre 1,1 a 5v, o sensor EMG é adaptado a placa com intuito de enviar as informações para a placa arduino sendo o mesmo responsável pela retransmissão das informações, conectada a um computador usando software MATLAB® coletadas via porta USB a interface permite coletar o sinal, amostrar, processar. O matlab recebe um sinal continuo discreto, o converte para sinal analógico e o armazena no banco de dados para posterior processamento.

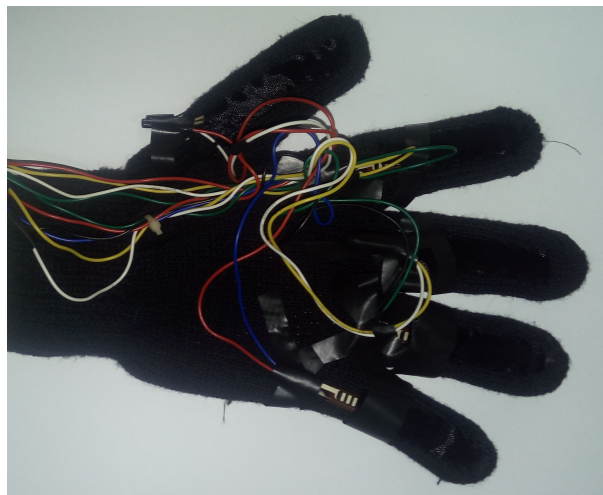
Figura 2 – Recomendação SENIAM localização dos eletrodos - Tríceps Braquial



Fonte:(SENIAM, 1999)

Ainda nesta fase de aquisição, foi desenvolvida uma luva para medir com precisão o ângulo dos dedos na movimentação da mão, informações coletadas simultaneamente com os sinais EMG, conforme, figura 3.

Figura 3 – Luva desenvolvida - Detecção de trajetória dos dedos



Fonte: elaborado pelo autor

2.2 Processamento

A plataforma utilizada para processamento dos sinais, controle e modelagem matemática para este artigo é o Simulink®, desenvolvido pela empresa MathWorks®, é uma ferramenta para modelagem, simulação e análise de sistemas dinâmicos, sua interface primária é uma ferramenta de diagramação gráfica por blocos e bibliotecas customizáveis de blocos. O software oferece alta integração com o resto do ambiente MATLAB®, amplamente usado em teoria de controle e processamento digital de sinais para projetos e simulação multi-domínios. O MATLAB®, irá receber os dados providos do sensor EMG via porta USB, estes dados serão processados e armazenados. O processamento do sinal de EMG é relevante para obter informações, em questões experimentais sendo necessário preservar o conteúdo da informação do EMG detectado. A monitorização dos dados não processados é necessária para assegurar a qualidade do sinal antes ou durante o processamento assim não eliminado a identificação de interferência e artefatos, podendo ser feito comparações entre informações do sinal das características gerais do movimento e considerar as informações importantes. Para o processamento dos sinais EMG, foi atribuído para análise 5 movimentos distintos da mão, conforme figura 4.

Figura 4 – Movimento da mão: Pinça Pulpar, Palmar, Preensão, Indicador e Neutro



Fonte: elaborado pelo autor

Para a classificação dos sinais EMG foi utilizado uma Rede Neural Artificial (RNA)

capaz de reconhecer e classificar padrões através do aplicativo Neural Pattern Recognition do MATLAB® capaz de selecionar dados, criar e treinar uma rede e avaliar seu desempenho usando matrizes de entropia cruzada e confusão. Uma rede feed-forward de duas camadas, com neurônios sigmoid hidden e softmax output (patternnet), pode classificar vetores arbitrariamente, tendo em conta os neurônios suficientes em sua camada oculta. A rede será treinada com backpropagation de gradiente conjugado escalado (trainscg). Para extração de características o sinal EMG foi segmentado do sinal original para os 5 movimento pretendido, extraindo os valores: raiz media quadrada - RMS, valor médio retificado - ARV, valor máximo absoluto – MAX ABS, desvio padrão e desvio absoluto médio – MAV. De acordo com as equações:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N emg^2} \quad (1)$$

$$ARV = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |emg|} \quad (2)$$

$$MAV = median(|emg_i| - median|emg|) \quad (3)$$

Para cada movimento os sinais foram divididos em segmentos de 30 amostras para os movimentos: pinça pulpar, palmar e indicador, 42 para o movimento de preensão e para o movimento neutro ou mão em estado de relaxamento foram obtidos 72 amostras, gerando a matriz de características, apresentada no quadro 1:

Quadro 1 - Matriz característica dos 5 movimentos

Amostras				
1	2	3	...	204
RMS	RMS	RMS	...	RMS
ARV	ARV	ARV	...	ARV
MAX ABS	MAX ABS	MAX ABS	...	MAX ABS
Desvio Padrão	Desvio Padrão	Desvio Padrão	...	Desvio Padrão
MAV	MAV	MAV	...	MAV

Fonte: elaborado pelo autor

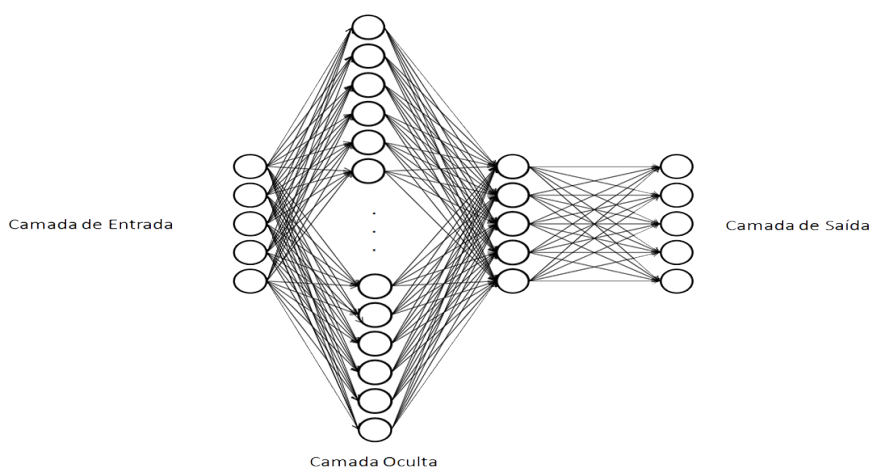
Definido os movimentos pretendidos, a rede neural apresenta 5 classes de saídas, conforme o vetor coluna, sendo apresentado os vetores de entrada e saída da rede (Figura 5).

Figura 5 – Vetor de entrada e saída da Rede Neural

ENTRADA vetor coluna	SAÍDA vetor coluna	LEGENDA
RMS	1 0 0 0 0	1- Indicar
ARV	0 1 0 0 0	2- Palmar
MAX ABS	0 0 1 0 0	3- Pinça Pulpar
Desvio Padrão	0 0 0 1 0	4- Preensão
MAV	0 0 0 0 1	5- Neutro

Fonte: elaborado pelo autor

Figura 6 – Rede Neural



Fonte: elaborado pelo autor

A RNA com a primeira camada com 5 neurônios referente aos parametros de entrada, a segunda camada com 120 neurônios e a terceira camada com 5 neurônios referente as classes de saídas, as 204 amostras de treino foi criada a rede com algoritmo dividindo 70% para treinamento, 10% para validação e 20% para testes aleatórios(figura 6).

2.3 Modelagem

O dispositivo efetuator será o elemento de interação, capaz de executar os movimentos desejados, usualmente o paciente, a utilize em seu cotidiano de forma a não o diferenciar, foi proposto o antropomorfismo, a qual os movimentos da prótese tenha suas funcionalidades próximas de uma mão humana. Para confecção de um dispositivo protético esta etapa comporta a modelagem computacional e matemática, que será integrada ao SimMechanics do Simulink®, como ambiente virtual do Multibody Simulation .

Nesta fase de modelagem teremos duas etapas a modelagem computacional desenvolvido o protótipo da mão utilizando a ferramenta SolidWorks®, software CAD/CAE desen-

volvida pela Dassault Systemes SolidWorks Corporation®. Na modelagem computacional o trabalho de desenvolvimento inicia pela proposta de prótese de mão antropomórfica, com este intuito de antropomorfismo a modelagem parte para uma análise da mão humana observando suas características funcionais e estruturais, tendo conhecimento de tal interesse, foi proposto, exame de raio x, para tal modo, a coleta do exame analisada foi importada para o workspace do SolidWorks®, tarefa realizada de sketch, baseada no exame de raio x da mão como modelo (figura 7).

Figura 7 – Sketch do dedo polegar



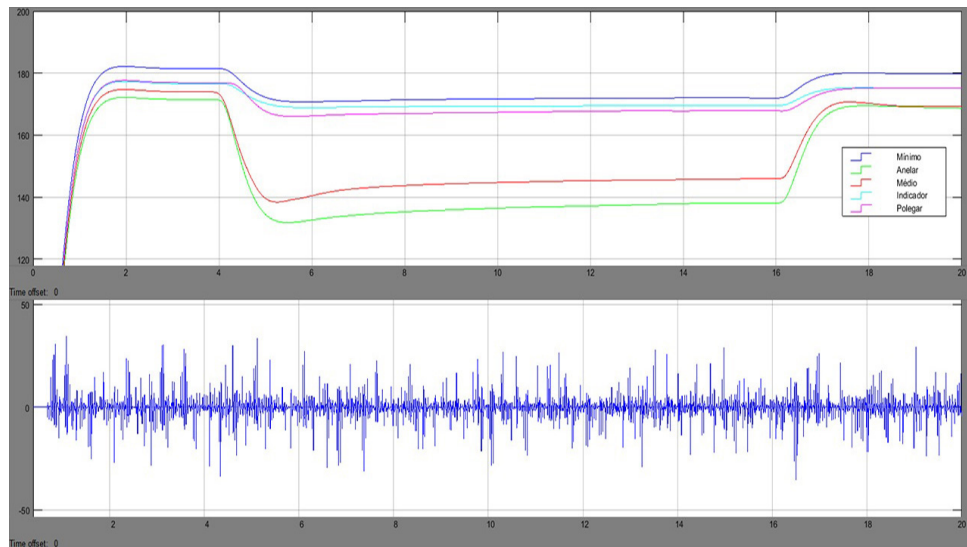
Fonte: elaborado pelo autor

3 RESULTADOS

Com todo processo de aquisição, processamento e métodos empregados conforme já citados anteriormente, foram extraídos o comportamento do sinal EMG em conformidade com o movimento da mão empregado, os resultados simulados com tempos de 20s, sendo 4s iniciais para estabilidade do sinal com braço estendido em posição de repouso assim como a mão em posição de relaxamento, após 4s, a mão inicializa o movimento pretendido, aos 4s finais de simulação, a mão retorna para seu estado de relaxamento. Conforme a figura 4, será apresentado

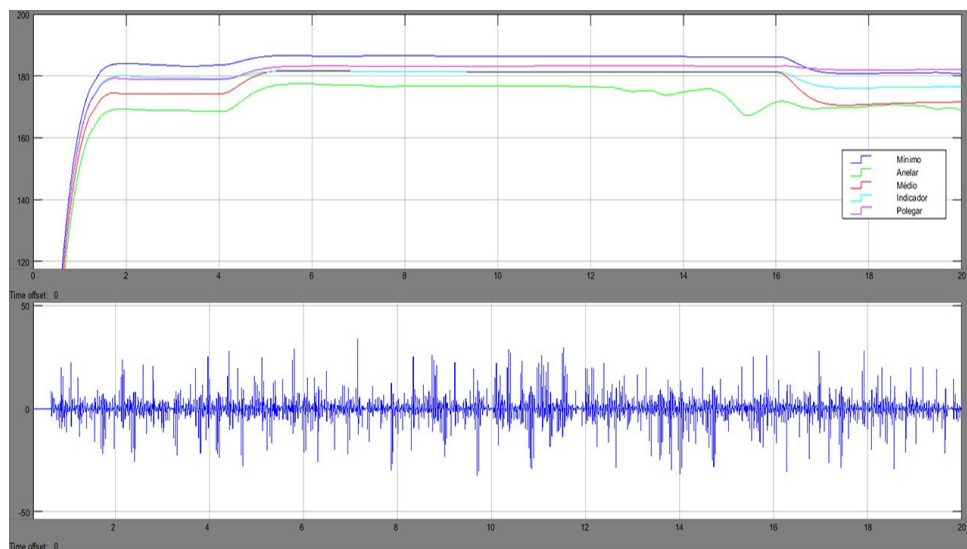
por ordem os resultados dos sinais, em anexo os sinais da luva coletados durante os movimentos, sendo os movimentos: polegar (verde), indicador (vermelho), médio (azul), anelar (roxo) e mínimo (amarelo), o gráfico na ordenada corresponde ao grau do movimento em relação ao tempo, assim no gráfico do sinal eletromiográfico, temos amplitude (mV) em relação ao tempo, sinal amostrado a 1000Hz, sendo apresentado nas figuras 8 – 11.

Figura 8 – Movimento Pinça Pulgar - Sinal EMG e Sinal da Luva



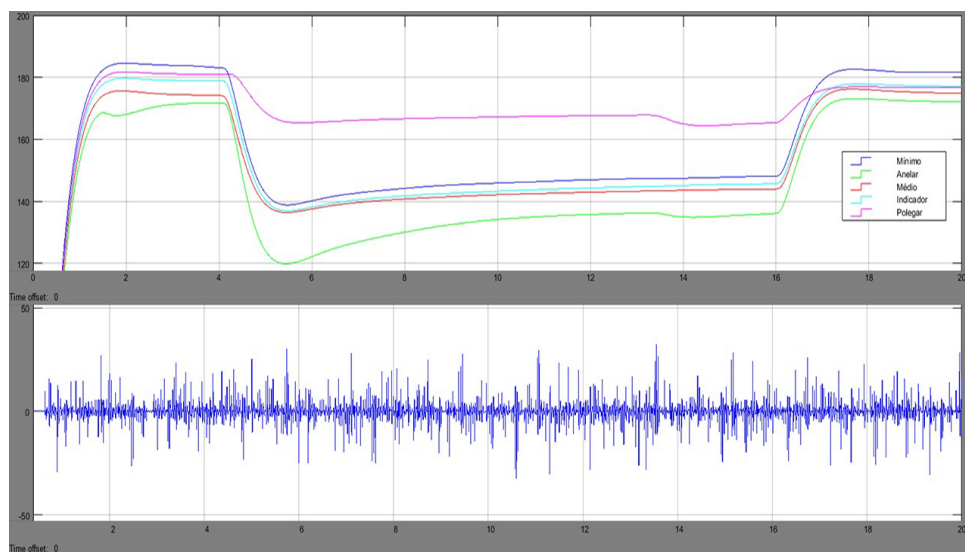
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 9 – Movimento da Mão Palmar - Sinal EMG e Sinal da Luva



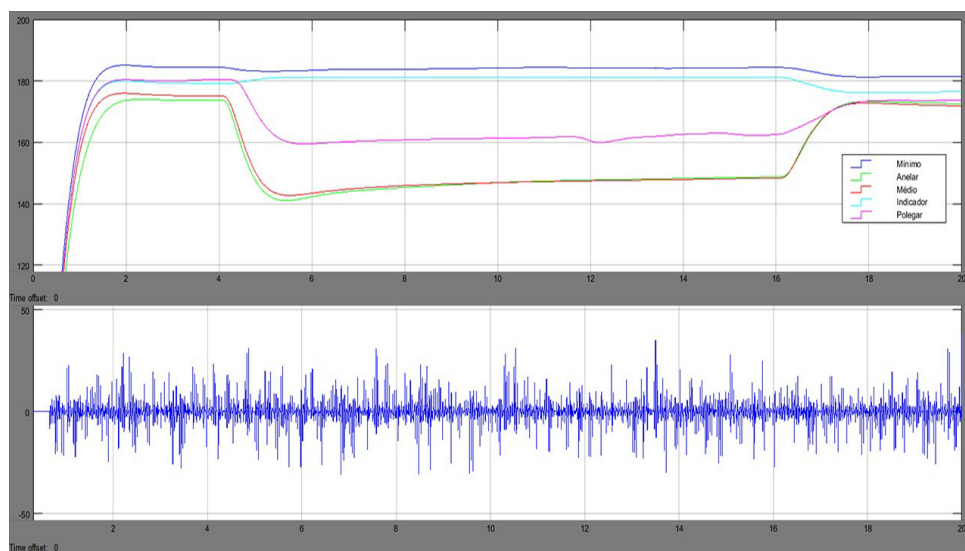
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 10 – Movimento da Mão Prensão - Sinal EMG e Sinal da Luva



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 11 – Movimento da Mão indicar - Sinal EMG e Sinal da Luva



Fonte: elaborado pelo autor

Com os sinais coletados na fase de aquisição a extração das características do sinal no processo de classificação pela Rede Neural mostrou bom desempenho no reconhecimento dos padrões desejados com alcance de 97.1% de eficiência conforme, matriz apresentada (figura 12), podemos verificar a relação entre as saídas das classes e o target das classes, observado as classes 1 e 5, que corresponde aos movimentos indicar e neutro/relaxamento, a taxa de erro, para classe de target apresentou 8,3% , sendo que 2,9% das amostras foram consideradas da classe 1.

O protótipo desenvolvido (figura 13) na fase de modelagem possui 14 graus de liberdade, sendo 2 graus para o polegar e 3 graus para cada um dos dedos: indicador, médio, anelar e mí-

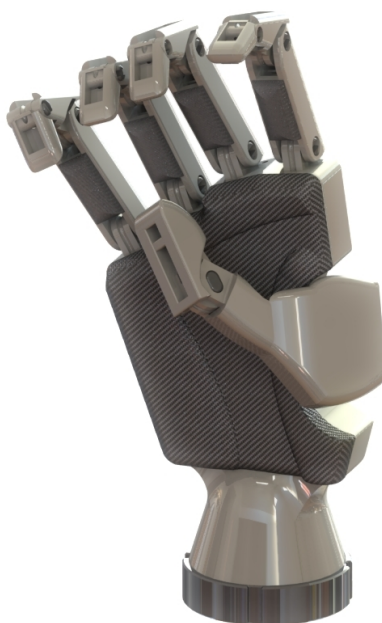
Figura 12 – RNA - Matriz de Aleatoriedade

Confusion Matrix						
Output Class	1	2	3	4	5	
	400 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	400 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	0 0.0%	400 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	400 20.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	400 20.0%	100% 0.0%
Target Class						
	1	2	3	4	5	

Fonte: elaborado pelo autor

nimo. O polímero ABS, foi o material utilizado para avaliação CAE, obtido pelo Solidworks por ser um material que apresenta boa resistência mecânica, bom aspecto visual, de fácil manipulação e por ser empregado na prototipagem rápida, já para base de conexão da mão utilizou-se alumínio, a mão projetada possui peso de 188,45 gramas. Foram empregados como órgão mecânico de transmissão de movimentos: polias, engrenagens. Para o dedo polegar adotou-se 1 atuador, para os demais dedos, 2 atuadores, um atuador para articulação metacarpofalângica e o outro atuador para as articulações interfalângica e interfalângica distal da mão.

Figura 13 – Modelagem – Protótipo de mão robótica



Fonte: elaborado pelo autor

4 CONCLUSÃO

É notória a gama de aplicações do uso intencional da eletromiografia, a engenharia de reabilitação que é um campo específico pela busca de melhorias na saúde de indivíduos portadores de deficiência física, no desenvolvimento de dispositivos, novas técnicas e conceitos para reabilitação, ainda sendo, um grande campo de estudo para novas aplicações, tanto na captura como para estimulação de sinais providos dos músculos. O trabalho proposto dos sinais EMG, apresentaram desafios no processamento, para a idealização inicial da aquisição, numa região do corpo pouco estudada no âmbito da coleta dos movimentos da mão, já que a localização dos eletrodos encontram-se no tríceps braquial havendo sinais de músculos adjacente, assim finalizada, apresentou uma boa eficiência pelo processo de reconhecimento dos padrões pela Rede Neural, com auxílio do Neural Network Toolbox do Matlab foi possível projetar, treinar, visualizar e simular a rede, portanto, alcançando níveis maiores no número de pacientes com percentual de amputação de até 70% do membro superior.

Referências

MARTINS, Tiago Alexandre Lopes. Dispositivo robótico para auxílio do movimento do braço. 2015.

SENIAM. 1999. Disponível em: <<http://seniam.org>>.