

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO PARÁ - CESUPA
ESCOLA DE NEGÓCIOS, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO - ARGO
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

JEAN LUCAS COSTA DO ROSÁRIO
DANIEL DIAS ASSUNÇÃO

**REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE O USO DE IA NA PRODUÇÃO DE PRÓTESES
DE MEMBROS SUPERIORES**

BELÉM
2022

JEAN LUCAS COSTA DO ROSÁRIO
DANIEL DIAS ASSUNÇÃO

**REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE O USO DE IA NA PRODUÇÃO DE PRÓTESES
DE MEMBROS SUPERIORES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Negócios, Tecnologia e Inovação do Centro Universitário do Estado do Pará como requisito para obtenção do título de Engenheiro da Computação na modalidade ARTIGO.

Orientadora: Ma. Alessandra Natasha Alcantara Barreiros Baganha

BELÉM
2022

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
Biblioteca do CESUPA, Belém – PA

Rosário, Jean Lucas Costa do.

Revisão sistemática sobre o uso de IA na produção de próteses de membros superiores / Jean Lucas Costa do Rosário, Daniel Dias Assunção; orientadora Alessandra Natasha Alcantara Barreiros Baganha. – 2022.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro Universitário do Estado do Pará, Engenharia da Computação, Belém, 2022.

1. Inteligência artificial. 2. Redes neurais artificiais. 3. Prótese. I. Assunção, Daniel Dias. II. Baganha, Alessandra Natasha Alcantara Barreiros, orient. III. Título.

CDD 23^a ed. 006.3

JEAN LUCAS COSTA DO ROSÁRIO
DANIEL DIAS ASSUNÇÃO

**REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE O USO DE IA NA PRODUÇÃO DE PRÓTESES
DE MEMBROS SUPERIORES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Negócios, Tecnologia e Inovação do Centro Universitário do Estado do Pará como requisito para obtenção do título de Engenheiro da Computação na modalidade ARTIGO.

Data da aprovação: 08 / 06 / 2022

Nota final aluno(a) I: 10

Nota final aluno(a) II: 10

Banca examinadora



Prof(a). Alessandra Natasha Barreiros Baganha

Orientador(a) e Presidente da banca



Prof(a). Polyana Santos Fonseca Nascimento

Examinador(a) interno(a)



Prof(a). Vitor Hugo Freitas Gomes

Examinador(a) interno(a)

Dedicamos esse trabalho a todos os estudantes de engenharia que almejam um futuro melhor para si mesmos e para os outros.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Grupo de Estudos de Tecnologias Assistivas, GETA, que nos iniciou nessa área e foi a porta de entrada para o tema desse TCC.

Agradecemos ao Núcleo de Desenvolvimento em Tecnologia Assistiva e Acessibilidade da Universidade Estadual do Pará, NEDETA, por nos ajudar no início do nosso projeto, nos norteando por onde começar a pesquisar sobre a área de tecnologia assistiva.

Agradecemos ao Laboratório de Prototipagem Assistiva da Universidade Federal do Pará, LAPA, onde realizamos a nossa iniciação científica e que serviu de grande ajuda no desenvolvimento de projetos de tecnologia assistiva, em especial ao professor Manoel da Silva Filho, nosso mentor no laboratório, que tanto nos ajudou.

Agradecemos à professora Polyana Santos Fonseca Nascimento, que foi uma das únicas pessoas que nos ajudaram na escrita e revisão desse TCC.

Agradecemos especialmente à professora Alessandra Natasha Baganha, que foi a nossa madrinha durante nossa graduação, sempre nos ajudando quando precisávamos e abrindo várias portas para auxiliar na nossa formação como engenheiros.

E por último, eu, Jean Lucas, agradeço à minha querida avó Maria do Carmo (*in memoriam*), que foi e continua sendo minha maior referência de vida, espero que sinta orgulho do seu neto.

RESUMO

As próteses buscam substituir as funções do membro perdido, por isso são fundamentais na vida das pessoas que sofreram com a perda de algum membro, seja de forma congênita ou acidental, principalmente quando falamos de próteses de membro superior, devido a quantidade de tarefas realizadas rotineiramente com as mãos e braços. Atualmente existem várias próteses disponíveis, sendo a mioelétrica a mais avançada em termos tecnológicos por utilizar sinais musculares para sua ativação, entretanto essa tecnologia ainda apresenta déficit na eficiência da realização do movimento desejado e de custo final elevado. Tendo em vista que a eficiência da prótese compõe esse aumento no custo final junto com a estética e materiais utilizados, o presente trabalho faz uma análise dos temas, a partir de uma revisão sistemática, passando pelo momento da tecnologia de próteses de membro superior, de que forma a inteligência artificial está contribuindo para o avanço dessas tecnologias e qual o seu impacto no custo final das próteses. Pôde-se concluir que os avanços deste tema são trilhados pelo uso da inteligência artificial, melhorando a precisão e controle no uso destas próteses de membro superior, porém o impacto financeiro não pôde ser verificado.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Prótese de Membro Superior; Rede Neural Artificial; Machine Learning.

ABSTRACT

Prostheses seek to replace the functions of the lost limb, so they are fundamental in the lives of people who have suffered from the loss of a limb, either congenitally or accidentally, especially when we talk about upper limb prostheses, due to the amount of tasks performed routinely. with hands and arms. Currently, there are several prostheses available, the myoelectric one being the most technologically advanced because it uses muscle signals for its activation, however this technology still has a deficit in the efficiency of performing the desired movement and has a high final cost. Considering that the efficiency of the prosthesis makes up this increase in the final cost along with the aesthetics and materials used, the present work analyzes the themes, starting from a systematic review, passing through the moment of the technology of upper limb prostheses, how artificial intelligence is contributing to the advancement of these technologies and what is its impact on the final cost of prostheses. It can be concluded that the advances in this topic are driven by the use of artificial intelligence, improving precision and control in the use of these upper limb prostheses, but the financial impact could not be verified.

Keywords: Artificial Intelligence; Upper Limb Prosthesis; Artificial Neural Network; Machine Learning.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 CONTEXTUALIZAÇÃO	10
1.1 Revisão Bibliográfica	10
1.1.1 Pessoas com deficiência: dificuldades e limitações com prótese.....	10
1.1.2 Próteses e suas tecnologias.....	10
1.1.2.1 Prótese Mioelétrica e SME.....	11
1.1.3. Utilização da IA em próteses.....	12
1.2 Problema de pesquisa	13
1.3 Justificativa	13
1.4 Objetivos	14
1.4.1 Objetivo Geral.....	14
1.4.2 Objetivos Específicos.....	14
1.5 Estrutura do trabalho	15
2. O USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM PRÓTESES PARA MEMBROS SUPERIORES	16
2.1 Introdução	16
2.2 Metodologia da Pesquisa	17
2.3 Resultados	18
2.4 Discussão	31
2.5 Considerações Finais	34
3 SÍNTESE	35
3.1 Principais Conclusões	35
3.2 Discussão Geral	35
3.4 Perspectiva Futura	36
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

1.1 Revisão Bibliográfica

1.1.1 Pessoas com Deficiência: dificuldades e limitações com prótese

O Decreto 3.298/99 define deficiência como “Perda total ou anormalidade de uma estrutura ou função psicológica, fisiológica ou anatômica que gere incapacidade para o desempenho de atividades dentro do padrão considerado normal para o ser humano” (*apud* MENDES e PAVARINI, 2016). Segundo Alves Junior *et al* (2016), de acordo com Censo realizado pelo IBGE em 2010, 23,9% da população brasileira tem algum tipo de deficiência, o que representa quase um quarto da população. Estima-se que o número de amputados no Brasil cresça em 40.000 a cada ano só em relação aos pacientes diabéticos, não analisando os traumáticos (CAIAFA e CONONGIA, 2003 *apud* NETTO, 2016), ou seja, a cada ano mais de 40.000 pessoas começam a ter dificuldades de realizar suas tarefas diárias e viver uma vida comum.

Mendes e Pavarini (2016) esclarecem que as pessoas com deficiência se deparam com muitas dificuldades, e segundo Netto (2016), desde a amputação, os deficientes buscam métodos alternativos para continuar realizando as suas atividades e, o mais comum entre eles, é a utilização de próteses. Numa escala mundial, temos que 3 pessoas a cada 2000 já sofreram algum tipo de amputação, na qual 30% desses casos representam amputação na região do braço (LEBLANC, 2011). De acordo com Frossard (2020), Próteses de membro superior, apesar de terem como objetivo trazer uma maior independência a seus usuários e maior autoestima, são altamente rejeitadas por diversos fatores, tanto físicos quanto psicológicos, Gouveia (2018) aponta que as taxas de rejeição das próteses mioelétricas variam de 25% até 50%. Uma possível razão para o baixo índice de aceitação decorre da complexidade da mão e da quantidade de movimentos diários que dependem dela. A falta de *feedback* sensorial das próteses atuais limita sua utilização e torna robótico o movimento.

No entanto, próteses com vários padrões de movimento e com um sistema de controle preciso não são acessíveis para a maioria da população do país. Pode-se tomar como exemplo a *Michelangelo Hand* da Ottobock vendida a 73.800 dólares em 2013 (NETTO, 2016). Hoje pode-se encontrar no mercado soluções capazes de recriar movimentos humanos com boa sofisticação com valores em torno de R\$150.000,00 (ALVES JUNIOR *et al*, 2016).

1.1.2. Próteses e suas tecnologias

Para a medicina, a prótese é um dispositivo projetado para substituição de um membro do corpo humano ou qualquer de suas partes com necessidade de reposição ou readaptação (FERNANDES; LUFT; GUIMARÃES, 1992). De maneira geral, as próteses se dividem em 3 categorias, estética, mecânicas e mioelétricos. As estéticas visam somente o visual, sem nenhuma funcionalidade; as mecânicas não possuem o realismo estético, porém são funcionais com acionamento pelo próprio membro residual; as mioelétricas utilizam sinais eletromiográficos (EMG) para controlar os movimentos (MARTIO, 2017). Independentemente da operação dos dispositivos, normalmente, as mãos protéticas estão disponíveis com o design de ganchos, preensores, mãos artificiais e tipos especiais de dispositivos terminais, dependendo da atividade específica do usuário (GEETHANJALI, 2016).

O desenvolvimento da tecnologia propiciou o seu transbordamento para as áreas de saúde, fazendo com que a Tecnologia Assistiva (TA) desenvolvesse novos produtos e métodos com base nesse avanço tecnológico. (NETTO, 2016). Um exemplo disso é o trabalho de Gleidson Silva *et al* (2019) que apresenta o desenvolvimento de uma prótese mioelétrica inteligente compatível com IoT, de modo a permitir o monitoramento e o controle de próteses de forma remota, auxiliando na reabilitação de soldados à distância, como em ambientes de guerra.

1.1.2.1. Prótese Mioelétrica e SME

A prótese mioelétrica funciona através de impulsos elétricos gerados pelo cérebro que são recebidos pelos músculos. O sinal mioelétrico é captado na região muscular (JUNIOR *et al*, 2016) através de eletrodos não invasivos, posicionados sobre a pele em pontos específicos, para que possa ser feita a captação correta do sinal. Tais próteses fazem uso de motores de pequeno porte para simular o movimento das articulações do membro perdido (MARTIO, 2017).

O sinal eletromiográfico é uma manifestação elétrica da ativação neuromuscular associada a um músculo em contração, sinais biológicos (DE LUCA, 1979), sendo a soma algébrica de todas as unidades motoras ativas dentro da área de captação, e quase todas as contrações realizadas pelos músculos esqueléticos ocorrem como resultado do esforço consciente originado no cérebro (GOUVEIA, 2018). A aquisição desses sinais é realizada por meio de eletrodos de superfície, trata-se de sensores que identificam a despolarização da membrana muscular. Porém os eletrodos de superfície sofrem com o *cross talking*, isto é, a ativação do músculo pode interferir no sinal de outro músculo, o que torna difícil a mensuração exata da contração bem como sua intensidade, e este problema é solucionado a partir do uso de

diversos sensores, simultaneamente, tornando possível correlacionar os sinais não somente a um músculo, mas a todo movimento físico (MARTINS *et al*, 2017).

Sensor mioelétrico é utilizado para medir a ativação muscular através do potencial elétrico, ou seja, mede o impulso elétrico enviado aos músculos pelo sistema nervoso através de eletrodos de superfície. Através destes sensores, é realizada a amplificação e filtragem do sinal na qual é utilizado para ativar os motores da prótese realizando assim o movimento desejado (JUNIOR *et al*, 2016).

1.1.3. Utilização da IA em próteses

Segundo Carvalho (2019), a inteligência artificial é um ramo de pesquisa da Ciência da Computação que se ocupa em desenvolver mecanismos e dispositivos que possam simular o raciocínio humano, ou seja, a percepção de ambiente, a habilidade de análise para a tomada de decisão etc. A IA em próteses não é novidade, a exemplo, temos o trabalho de mestrado de Camargo (2008), que já utilizava redes neurais para a classificação de sinais mioelétricos, como ele cita em seu trabalho:

Esse dispositivo terá incorporado na sua construção sensores diversos para realizar as funções propostas e contará com um algoritmo baseado em Redes Neurais Artificiais, capaz de identificar padrões dos sinais mioelétricos do paciente, que serão utilizados como sinais de controle, possibilitando ao paciente um comando natural. (CAMARGO, 2008)

De acordo com Boris (2020), embora as redes neurais artificiais tenham ganhado muita popularidade nos últimos anos, os primeiros estudos de redes neurais remontam aos anos 1940, quando Warren McCulloch e Walter Pitt descreveram pela primeira vez como os 38 neurônios podiam funcionar. No entanto, nas décadas seguintes à primeira implementação do modelo de neurônios de McCulloch-Pitt e o perceptron de Rosenblatt nos anos 50, muitos pesquisadores e praticantes de aprendizado de máquina lentamente começaram a perder o interesse em redes neurais, por falta de confiabilidade e ausência de um método científico. Eventualmente, o interesse em redes neurais foi reacendido em 1986, quando Rumelhart, Hinton e Williams envolveram-se na descoberta e popularização do algoritmo de retropropagação (*backpropagation*) para treinar redes neurais de forma mais eficiente. De um ponto de vista biológico, o estudo de redes neurais é sobre o modelo matemático para as operações do cérebro. Os elementos aritméticos correspondem aos neurônios, e a rede como um todo corresponde a uma coleção de neurônios interconectados, por esse motivo, as redes são chamadas de redes neurais. Existem duas semelhanças importantes entre redes neurais biológicas e artificiais. Primeiro, os blocos de construção de ambas as redes são dispositivos computacionais simples,

porém altamente interconectados. Segundo, são as conexões entre os neurônios que determinam a função da rede.

Segundo Gouveia (2018), houve uma melhora notável, nas últimas décadas, na eficiência de classificação dos algoritmos baseados em reconhecimento de padrões de sinais EMG, a partir do uso de diferentes tipos de recursos e classificadores, como o aprendizado de máquina que possui o objetivo fundamental de generalizar seu aprendizado a partir de amostras de treinamento. Atualmente, o campo de inteligência artificial tem sido bastante explorado e aprimorado, em especial na área de *machine learning*. Conforme G. Silva (2020), o principal propulsor para este acontecimento foi o desenvolvimento dos recursos computacionais, que foram capazes de processar grandes quantidades de informações e de uma forma rápida, dando maior confiabilidade aos resultados. Dentre esses avanços está a classificação de biosinais para reprodução de movimentos em próteses inteligentes. G. Silva (2020) analisa e compara em seu trabalho alguns métodos de classificação de movimentos, como a *Support Vector Machine* (SVM) e a *Multilayer Perceptron* (MLP), de modo a reproduzir movimentos da mão, a partir da captação de um sinal mioelétrico.

Por fim, utiliza-se a IA para aprimorar a movimentação da prótese através da criação de uma rede neural MLP, por exemplo, que classifica a preensão utilizada de acordo com as coordenadas espaciais dos dedos que identifica a posição dos objetos. O sistema inteligente é capaz de decidir o movimento adequado para segurar o objeto em questão (FROSSARD, 2020).

1.2 Problema da Pesquisa

De acordo com o IBGE (2010) 7% dos brasileiros necessitam de próteses motoras, e de acordo com AACD (Associação de Assistência à Criança Defeituosa) a taxa de rejeição de próteses de membros superiores pode chegar até 70%, dentre os motivos temos a falta de liberdade nos movimentos, feedbacks sensoriais e valores impeditivos. A Inteligência Artificial vem se desenvolvendo em diversos campos, inclusive no campo de próteses motoras, de modo que cabe a questão sobre de que forma a IA pode contribuir neste problema.

1.3 Justificativa

Um dos intuítos da tecnologia é facilitar e melhorar a vida das pessoas, a partir de inovações e métodos mais eficazes para resolver diversos problemas. Neste contexto, próteses motoras são dispositivos que podem ajudar o indivíduo, recuperando uma parte das funcionalidades do membro original, o que já se torna um grande avanço na qualidade de vida desta pessoa.

De acordo com a Organização Mundial de Saúde, considera-se saudável o indivíduo que possui um estado de bem-estar físico, mental e social, e não apenas a ausência de doença. Segundo Gouveia (2018), os membros superiores têm grande importância na realização de atividades cotidianas, além de auxiliar na comunicação através de movimentos e gestos, portanto a perda dos membros superiores afeta diretamente essas habilidades, podendo fazer com que o indivíduo perca sua independência, autoestima etc. Garaffa (2018, *apud* MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2013) mostra que as amputações, de membro superior no Brasil, correspondem a 15% de todas as amputações realizadas anualmente e costumam acometer pessoas de faixa etária jovem, em idade produtiva. Dessa forma, a perda de uma mão (ou ambas) faz com que a pessoa necessite de auxílios psicológicos, reabilitação física e readaptação, pois a realização de determinadas tarefas do dia a dia torna-se algo difícil, além da dificuldade de integração social ocasionada pela exclusão dessas pessoas em diversos ambientes, como o ambiente de trabalho e meios de transporte (SILVA, N., 2018).

Garaffa (2018) elucida que as sensações táteis e de propriocepção são tão ligadas ao movimento que passam despercebidas pela consciência e sua ausência torna o controle da prótese estressante e nada intuitivo, fazendo que o usuário aplique forças desproporcionais a objetos. Nesse sentido, a inteligência artificial entra como uma solução na perspectiva de devolver ao indivíduo liberdade, precisão nos movimentos e sensações semelhantes aos do membro original. Para isso, a IA atua por meio do tratamento dos sinais mioelétricos captados pelos sensores, calibrando a precisão dos seus movimentos através de um *software*. Desta forma, o presente trabalho visa analisar o momento atual da tecnologia e qual seu futuro.

1.4 Objetivos

1.4.1. Objetivo Geral

Realizar uma revisão sistemática sobre o uso da IA, bem como sua importância e avanços, dentro do mercado de prótese para membros superiores.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Realizar um levantamento de artigos e trabalhos que utilizam IA na construção de próteses de membros superiores.
- Fazer uma avaliação sobre o estado da arte em sua utilização para membros superiores, o que tem sido publicado, quais são os próximos pontos, quais são as fronteiras de expansão.
- Realizar comparação das tecnologias utilizadas em outros países com o Brasil.

1.5 Estrutura do Trabalho

O trabalho será dividido nos seguintes tópicos: primeiro capítulo, onde é apresentado a revisão bibliográfica, o problema da pesquisa, a justificativa que nortearam o estudo e seus objetivos gerais e específicos. No segundo capítulo, é apresentado um artigo contendo uma revisão sistemática de trabalhos científicos sobre o uso da inteligência artificial em próteses de membro superior. Por último, no terceiro capítulo, é apresentado uma síntese contendo uma discussão geral sobre a análise e resultados observados, bem como a proposição dos próximos passos sobre o futuro da tecnologia em questão.

2 O USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM PRÓTESES PARA MEMBROS SUPERIORES

2.1 Introdução

De acordo com RUSSEL (2013) a IA passou por um longo processo até se tornar uma ciência em 1987 adotando com firmeza o método científico, por este motivo tornou-se possível replicar experimentos por meio de repositórios compartilhados de código e dados de teste, trazendo segurança e confiabilidade para os campos e métodos de IA. A robótica, o reconhecimento de fala, a visão computacional, veículos robóticos, dentre outros, são exemplos de como os campos da IA evoluíram e já estão presentes no cotidiano. No campo da medicina não é diferente, temos a utilização para auxiliar diagnósticos (LOBO, 2017), classificação de movimentos para membros superiores (BELO *et al.*, 2020), próteses inteligentes controladas por bio-sinais (KUMAR *et al.*, 2019 *apud* SILVA, G., 2020).

É sabido que as pessoas com alguma deficiência física nos membros superiores enfrentam dificuldades em seu dia a dia, por conta de suas limitações, as pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos apresentam novas possibilidades para superar essas barreiras de adaptação e eficiência que envolvem uma prótese de membro superior (FAVIEIRO, 2009 *apud* BELO *et al.*, 2020). A Inteligência Artificial se destaca neste assunto, pela capacidade de aprimorar dispositivos já existentes e integrar diversos campos de conhecimento para auxiliar as pessoas (CARVALHO, 2019).

De acordo com AMORIM (2018), as próteses possuem limitações, sendo elas, o tipo de acionamento, o grau de liberdade de movimento e o custo e essas limitações tecnológicas se tornam mais evidentes quando se fala de próteses de membro superior devido à quantidade e complexidade dos movimentos que realizamos com as mãos e braços, aliado ao baixo peso que a prótese deve ter em relação a sua capacidade de levantar e segurar cargas, além de requerer alto grau de semelhança com o membro humano.(ALVES JUNIOR *et al.*, 2016).

Neste trabalho será realizada uma revisão sistemática sobre a inteligência artificial em próteses para membro superior, a fim de analisar como a IA tem contribuído com o avanço tecnológico destas próteses. Será montado um banco de dados de artigos e literaturas sobre a temática explorada, a partir da consulta de repositórios acadêmicos, para avaliar qual o momento atual dessa tecnologia e quais serão seus próximos passos para o futuro.

2.2 Metodologia da Pesquisa

Este trabalho será realizado a partir de uma revisão sistemática baseada na investigação de acervos on-line e repositórios acadêmicos, com foco em artigos e materiais científicos sobre os temas “Próteses de membro superior” e “Inteligência Artificial”. A revisão tem como fim analisar de que forma a inteligência artificial contribui com o avanço tecnológico das próteses mioelétricas de modo a responder à questão inicial da pesquisa sobre qual o momento atual da tecnologia e qual o seu futuro. Para isso, foi estabelecido termos de busca a partir do questionamento (Quadro 2.1), juntamente com o ano das publicações dos materiais e artigos.

Quadro 2.1. Dados da pesquisa

Parâmetro	Valor
Problema inicial da pesquisa	Momento atual da tecnologia e qual seu futuro
Termos de busca	Inteligência artificial, prótese de membro superior
Ano de publicação	De janeiro/2017 a janeiro/2022
Idioma	Português ou inglês.

Fonte: Autoral (2022).

Após esta etapa concluída, a próxima foi selecionar as literaturas que mais se adequam ao tema deste trabalho e construir um banco com os materiais selecionados para avaliação e obtenção dos resultados, assim como mostra o fluxograma abaixo (Figura 1).

A partir do Google Scholar, Periódicos da CAPES e IEEE Xplore, foram encontrados as literaturas e artigos nacionais e internacionais utilizados no trabalho, como pode-se verificar na tabela 2.2.

Figura 2.1. Fluxograma da revisão sistemática



Fonte: Autoral (2022).

Detalhando sobre a análise dos materiais, ressaltamos a exclusão da maioria dos trabalhos encontrados, tendo em vista que grande parte foram estudos que traziam temáticas semelhantes ou até idênticas sobre o tema levantado neste trabalho, quando não, eram pesquisas referenciadas para outras áreas, como medicina e direito. Dentre todos os mais de 4500

materiais encontrados, os que melhor abordam e/ou sintetizam a temática estudada nacionalmente foram os apresentados a seguir.

2.3 Resultados

Após concluir as buscas por literaturas para compor o Banco de Dados, percebemos a carência de trabalhos literários nesta área de inteligência artificial em próteses de membro superior, sendo encontrado muitos trabalhos antigos e/ou repetitivos nos temas tratados. Portanto selecionamos trabalhos literários que abrangem, hodiernamente, o momento da tecnologia nas próteses de membro superior.

Foram selecionados um total de oito trabalhos. Dentre estes trabalhos observou-se que o uso de inteligência artificial nas próteses de membro superior está alinhado com a busca na melhora da qualidade de vida dos pacientes, por meio da elaboração de um substituto mais real quanto possível. Notou-se o seu uso para aperfeiçoar o nível de precisão das próteses a partir de algoritmos de seleção, que são de extrema importância na fluidez dos movimentos realizados. Dentre os algoritmos, temos diversos métodos para esse aprendizado e generalização de padrões. Notou-se também a sua utilização para conseguir um *feedback* sensorial.

É importante ressaltar que a maioria dos artigos selecionados mostram a realidade desta tecnologia no Brasil, e em algumas literaturas mais recentes mostramos o momento da tecnologia em outros países. A Quadro 2.2 apresenta os 8 trabalhos selecionados.

Quadro 2.2. Banco de dados

Trabalhos	Repositório	Termo de busca
FIGUEIREDO, R. S. <i>et al.</i> , 2018.	ResearchGate	inteligência artificial, prótese de membro superior
COSTA, F. <i>et al.</i> , 2017.	UFERSA	redes neurais artificiais, prótese de membro superior
BORIS, F. A., 2020.	UNESP	prótese de membro superior, inteligência artificial
GOUVEIA, E. L. S., 2022.	UFU	redes neurais artificiais, prótese de membro superior
GARAFFA, L. C., 2018.	UFRGS	redes neurais artificiais, prótese de membro superior
JABBARI, M. <i>et al.</i> , 2020.	IEEE	<i>neural networks, upper limb prostheses</i>
ZHONG, B. <i>et al.</i> , 2020.	IEEE	<i>neural networks, upper limb prostheses</i>
ZHANG, X. <i>et al.</i> , 2021.	HINDAWI	<i>neural networks, upper limb prostheses</i>

Fonte: Autoral (2022).

Os tópicos a seguir fornecem uma síntese de cada um dos trabalhos selecionados, realizadas a partir da leitura de cada obra literária, onde foi extraído o que o autor pretende alcançar com o trabalho, além de um breve desenvolvimento sobre o tema e por fim sua conclusão.

2.3.1 Desenvolvimento de um estimador para o movimento do cotovelo humano baseado em inteligência artificial e sinais eletromiográficos (FIGUEIREDO; CARVALHO; VESLIN; SILVA; CAMPOS; RAPTOPOULOS; BEVILACQUA; DUTRA; ANDRADE, 2018)

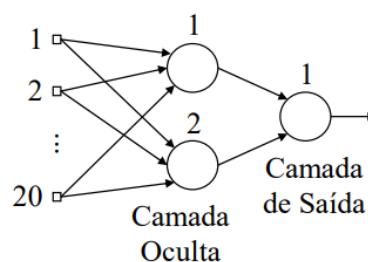
O trabalho apresenta o projeto e desenvolvimento de um estimador baseado em inteligência artificial para identificação de sinais eletromiográficos, também chamados de EMG. O artigo menciona que estes sinais vêm sendo utilizados no controle de próteses robóticas, no intuito de tornar os movimentos e a experiência tão naturais quanto possível, mas também ressalta que esses sinais não são utilizados em sistemas de controle mais simples, por apresentarem não-linearidades e nível maior de complexidade, por isso a necessidade de uma inteligência artificial. O estimador proposto foi utilizado em um mecanismo assistivo que representa o movimento de flexão/extensão do cotovelo humano.

A aquisição dos sinais EMG foi realizada por meio de uma técnica não invasiva de eletromiografia de superfície, ou sEMG, que consiste no posicionamento de eletrodos na superfície da pele (que neste caso foram posicionados no bíceps e tríceps), esta técnica, porém, necessita de um tratamento de amplificação e filtragem, devido ao excesso de ruído gerado pela captação. No mercado atual existem diversos equipamentos que já fazem o tratamento desse sinal e no artigo foi utilizado o BTS FreeEMG 1000, da BTS Bioengineering. Ademais, foi incluso um terceiro eletrodo, responsável por captar um sinal que servisse de referência para os outros dois (bíceps e tríceps), visto que além de ruídos externos, a eletricidade estática acumulada na pele é também um tipo de ruído que afeta os sinais eletromiográficos.

No treinamento da rede neural foram utilizadas as envoltórias dos sinais mioelétricos juntamente com o ângulo do cotovelo. O artigo cita que esse tipo de sistema foi escolhido pela capacidade de mapear e atuar em sistemas que apresentam não-linearidades e também menciona que nesse estudo a amostra de treinamento é composta por vinte valores de entrada e um valor de saída, como mostra a figura 2.2. A arquitetura de rede neural utilizada foi a Perceptron de Múltiplas Camadas ou MLP, por ser uma rede que apresenta profundidade, ou

seja, possuem pelo menos uma camada de neurônios oculta (no caso desse estudo foram utilizadas duas). Ademais, foi utilizado a função tangente hiperbólica sigmoidal, por ser uma função não-linear cuja derivada é calculada de maneiras simples, sendo capaz de mapear o espaço de trabalho de maneira mais eficiente e sem apresentar elevado custo computacional.

Figura 2.2. Esquema da RNA utilizada no estudo de Figueiredo *et al.*



Fonte: Figueiredo *et al.* (2022).

O artigo conclui que a metodologia proposta tem aplicação no campo das tecnologias assistivas inteligentes, visto que a análise dos resultados obtidos mostra que o processamento dos sinais tratados no domínio do tempo pela RNA projetada relaciona o comportamento cinemático real e aquele estimado para a articulação do cotovelo, com erro igual a $3,4343^\circ$, porém, o trabalho aponta que é fundamental que próteses robóticas sejam altamente precisas e que por isso se faz necessário a condução de mais testes. Outrossim, a partir da aquisição dos sinais eletromiográficos de um grupo de voluntários, será criado um banco de dados com o objetivo de fornecer para a rede neural informações generalistas do movimento estudado, e com isso, espera-se que ela se torne mais preparada para estimar o movimento independente do indivíduo que a utilize.

2.3.2 O uso de redes neurais artificiais em sinais EMG (COSTA; SILVA SEGUNDO; LIMA, 2017)

Este artigo explora de que forma pesquisadores estão aplicando as redes neurais artificiais (RNA) para trabalharem com sinais EMG. O trabalho começa elencando que a área da saúde é um dos campos onde se encontra maior dedicação dos engenheiros e cientistas na procura de soluções viáveis para melhorar a vida das pessoas utilizando a tecnologia, e neste contexto o uso de RNA mostra-se uma excelente ferramenta para diversas aplicações envolvendo classificações de padrões. O texto também aponta que a principal característica da RNA é a sua capacidade de generalização, ou seja, consegue classificar adequadamente padrões

diferentes dos quais tenha sido treinada, e por esse motivo ela é uma ótima opção para o reconhecimento dos padrões de sinais eletromiográficos.

As redes neurais artificiais apresentam diversas topologias e diversos algoritmos de aprendizagem e treinamento. As RNAs são tipicamente organizadas em camadas. Inicialmente há uma camada de entrada, que serve para a entrada de dados e que, por sua vez, é ligada a camadas intermediárias por meio de pesos, estes pesos são encarregados de multiplicar a entrada por um valor que traduza a sua influência na camada de saída. O artigo cita que uma propriedade interessante da RNA é a sua capacidade de aprendizado, e para isso usa-se o chamado “algoritmo de aprendizagem”, que são um conjunto de regras definidas para viabilizar a solução de um problema.

Foram analisados quatro trabalhos, com diferentes técnicas para a classificação dos sinais. O primeiro trabalho foi o de Mattioli, onde o autor adota uma abordagem alternativa em que à medida que a RNA detecta um novo sinal, este é dividido em segmentos de 40 amostras cada, após isso, cada segmento é classificado isoladamente e a RNA indica o sinal para a classe na qual a maioria dos segmentos menores pertencem. No segundo trabalho, Almeida e Faceroli propõe o uso da topologia perceptrons de múltiplas camadas (MLP) e o algoritmo de aprendizado *backpropagation*. No terceiro trabalho, Cunha apresenta uma alteração no processo de classificação do sinal, descartando a parte de pré-processamento, porém neste trabalho também foi utilizado o algoritmo de *backpropagation*. Por fim, no último trabalho, Ferreira e Gouvea Junior tratam de uma abordagem onde para cada canal, considera-se como entrada da RNA uma série temporal com cinco amostras consecutivas do sinal EMG.

O estudo constata que a RNA é uma boa alternativa para o uso em classificação de padrões de sinais eletromiográficos. Entre os trabalhos descritos, nota-se que todos apresentaram bons índices de acerto, superiores a 80%, com destaque para a RNA proposta por Cunha, que apontou uma taxa de acerto próxima aos 100%. Entretanto, é importante frisar que as taxas são influenciadas por diversos parâmetros, como número de amostras e o propósito da aplicação, portanto é necessário realizar diversos testes na RNA, adaptando as configurações, a fim de se conseguir menor nível de erro, além disso é necessária grande quantidade de amostras para treino.

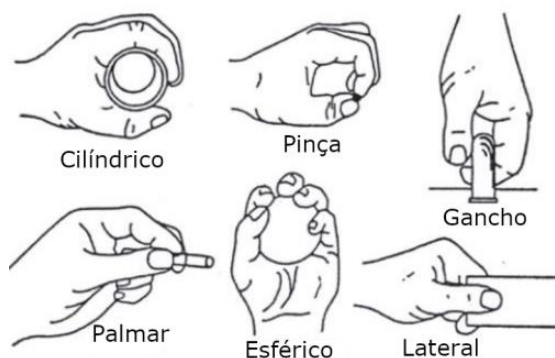
2.3.3 Análise de técnicas de classificação de sinais de eletromiografia para controle de prótese de membro superior (BORIS, 2020).

A dissertação analisa e avalia técnicas e ferramentas para classificação de sinais EMG de superfície e produz modelos preditivos viáveis para o controle de próteses de membro superior. O autor inicia mencionando que sistemas para reconhecimento de padrões em sEMG para o controle de próteses de membro superior são raros no mercado, existindo apenas dois produtos comerciais aprovados pela FDA (*Food and Drug Administration*). Ele constata que o sEMG é viável para classificação de padrões por causa da assinatura distinta gerada por cada movimento no sinal produzido. O uso desses sinais se tornou uma parte vital para controle efetivo de exoesqueleto robótico, no campo da biomecatrônica. Já nos campos de saúde e reabilitação, a classificação e análise de dados tornam-se uma ferramenta importante, auxiliando diagnósticos e acelerando o processo de novas descobertas.

O autor contextualiza conceitos sobre Árvores de Decisão, Florestas Aleatórias ou RF, além da Perceptron de Múltiplas Camadas ou MLP (que já foi contextualizada anteriormente na revisão), para que posteriormente ele possa utilizar esses conceitos na classificação dos sinais em seu trabalho. Começando com as Árvores de Decisão, que são um dos métodos mais simples de aprendizado de máquina. Trata-se de um método completamente transparente de classificar as observações, onde, após o treinamento, parecem uma série de declarações *if-then* organizadas em uma árvore. Esse método pode ser substancialmente melhorado se agregá-lo a outros métodos, como as Florestas Aleatórias (RF), que é uma técnica que usa as árvores para construir modelos preditivos mais poderosos, e ainda alguns estudos apontam bons resultados através da aplicação de florestas aleatórias, se comparado à outras técnicas de classificação em conjuntos de sinais EMG. Intuitivamente, uma floresta aleatória pode ser considerada como um conjunto de árvores de decisão.

No estudo que o autor realizou, utilizou-se de uma base de dados publicada no *UCI Machine Learning Repository*. Trata-se de instâncias obtidas a partir de 5 indivíduos saudáveis (dois do gênero masculino e 3 do gênero feminino) com faixa etária entre 20 e 22 anos de idade, conduzindo 6 movimentos de preensão manual, sendo eles, Cilíndrico, para segurar objetos cilíndricos, Pinça, para segurar objetos pequenos, Gancho, para suportar carga pesada, Palmar, para agarrar com a palma voltada para o objeto, Esférico, para segurar objetos esféricos, e Lateral, para segurar objetos finos e planos, conforme apresentado na Figura 2.3.

Figura 2.3. Movimentos de preensão



Fonte: Boris (2020).

Após feitos o experimento, o autor conclui o estudo mencionando que a parametrização e os testes foram feitos com diversos algoritmos classificadores, como a RF, a MLP, entre outros (como a *Support Vector Machine*, já mencionada anteriormente na revisão), para comparar os resultados. A comparação dos resultados foi importante para identificar as melhores configurações em termos de acurácia média e tempo computacional entre as combinações dos algoritmos e suas configurações, podendo colaborar ou mesmo nortear o desenvolvimento de estudos futuros. O melhor resultado apresentou acurácia média de 97,2%, obtido por um classificador RF, e pode ser considerado um bom resultado, se comparado com o resultado de 89,2% de acurácia geral, obtido pelos outros classificadores. Entretanto, é importante apontar que o classificador MLP, com acurácia média de 92,8%, destaca-se por apresentar um tempo computacional mais de 1000 vezes mais rápido com relação ao classificador RF na tarefa de teste, podendo ser o indicado para ambientes embarcados com menor poder computacional. O autor finaliza a sua dissertação salientando que a classificação de sinais bioelétricos é um campo de pesquisa bastante atrativo, tendo em vista o número de publicações neste campo nos últimos anos. Ademais, ele aponta que alguns trabalhos futuros podem ser propostos, como a implementação de sistemas de controle de próteses ativas e a implementação de sistemas de simulação com interação humano-computador.

2.3.4 Sistema semiautônomo baseado em visão neuromórfica para controle de próteses mioelétricas (GOUVEIA, 2022)

A dissertação apresenta um sistema de controle semiautônomo, a partir da utilização de uma câmera neuromórfica acoplada à prótese para selecionar o tipo de preensão e corrigir o ângulo do punho da prótese de acordo com a forma e ângulo do objeto almejado. Além disso, o sistema pode segmentar o objeto almejado dos demais contidos em uma única cena. Dessa

forma, esse trabalho propõe uma nova abordagem para o controle de próteses de mão, que busca atacar três importantes problemas encontrados na literatura nesta área: 1) Classificar o tipo de preensão ideal para o objeto almejado de maneira robusta e genérica de acordo com sua forma (Tripod para objetos delicados e que necessitem de precisão ou Power para objetos maiores que necessitem de força); 2) Controlar a angulação do punho de acordo com a orientação do objeto almejado de forma gradual e não apenas para poucas posições pré-definidas; 3) Segmentar o objeto almejado dos demais objetos, possibilitando que o usuário possa escolher um item específico, mesmo em cenas com múltiplos objetos.

O autor inicia o trabalho nos introduzindo sobre as câmeras neuromórficas e suas diferenças para uma câmera comum. As câmeras neuromórficas, ou também conhecidas como câmeras baseadas em eventos, possuem esse nome pois seu princípio de funcionamento é inspirado na morfologia da visão biológica. Diferentemente das câmeras convencionais, que geram frames a uma determinada taxa padrão, as câmeras baseadas em eventos funcionam de maneira assíncrona de acordo com as mudanças de luminosidade da cena em cada um dos pixels que formam a matriz de sensores, ou seja, cada pixel pode gerar um evento de acordo com a luminosidade recebida individualmente. Essas câmeras não possuem uma escala gradual de cores, pois são baseadas apenas em eventos, isto é, caso aconteça uma mudança na luminosidade recebida por um pixel suficientemente grande para ultrapassar o limiar de disparo, será gerado um evento de valor unitário no respectivo instante de tempo, que pode ser positivo ou negativo, de acordo com o aumento ou diminuição dessa luminosidade recebida. As câmeras baseadas em eventos possuem algumas vantagens em comparação com as câmeras convencionais, como resolução temporal muito alta e baixa latência, além do baixo consumo de energia, por isso, as câmeras de eventos têm um grande potencial para robótica e aplicações vestíveis em cenários desafiadores para câmeras padrão.

Com o constante avanço da tecnologia, as informações captadas por uma câmera passaram a ter outras características relevantes, de forma que ao combinar essas imagens com recursos computacionais tornou-se possível fornecer visão para máquinas, dando origem a uma das áreas mais estudadas atualmente: a visão computacional. Consequentemente, essa ferramenta foi utilizada para desenvolver diversas aplicações capazes de facilitar algumas atividades importantes presentes no dia a dia. Entre elas, se destacam o reconhecimento de faces, imagens médicas, carros autônomos e rastreamento de objetos.

Após os testes realizados, o autor conclui o trabalho discorrendo que uma forma alternativa de tornar as próteses mioelétricas de membros superiores mais fáceis de serem controladas é por meio da automatização de algumas das etapas do controle usando informações

do ambiente capturadas por uma câmera neuromórfica. Ele aponta também que apesar de ser uma tecnologia consideravelmente nova, as câmeras neuromórficas vem apresentando excelentes resultados quando o intuito é reduzir o fluxo de informações a serem processadas, focando apenas naquelas que são realmente importantes para a aplicação. Ao longo do trabalho, foram demonstradas diversas vantagens desse tipo de câmera e como elas vão de encontro com os objetivos do trabalho proposto, tornando as câmeras neuromórficas uma excelente alternativa para o desenvolvimento de sistemas de controle de próteses semiautônomos. O autor finaliza o trabalho citando que existem pontos que podem ser melhorados, pois o sistema de controle proposto possui apenas dois tipos de preensão e esse número pode ser maior se acrescentar outros tipos, como a pinça, que usa os dedos polegar e indicador e é usado para tarefas de extrema precisão. Ademais, o mesmo aponta a necessidade de acrescentar um controle de força de preensão junto com feedback tátil, para que assim aumente a usabilidade do usuário no sistema de controle proposto.

2.3.5 Ativação de um braço robótico através de sinais mioelétricos e redes neurais artificiais como protótipo para um estudo preliminar de sensibilidade háptica (GARAFFA, 2018)

O trabalho propõe a analisar o impacto do *feedback* háptico vibrotátil na estabilidade do acionamento de próteses mioelétricas de membro superior a partir de um dispositivo vestível contendo motores de vibração com a finalidade de reproduzir a força realizada pelo braço robótico através da frequência de vibração do dispositivo. Será utilizado um classificador baseado em Redes Neurais Artificiais para o acionamento, com objetivo de identificar o tipo e a intensidade do movimento a partir de características dos sinais sEMG. Para análise do impacto das diferentes respostas na ativação do sistema, foram realizados testes com voluntários, separando os que recebiam apenas retorno visual, apenas retorno háptico e ambos os retornos, para fins de comparação.

A autora nos contextualiza sobre o que são os sistemas hápticos, que segundo ela, é definido como um sistema de percepção que geralmente envolve exploração manual ativa do ambiente e que a sensibilidade háptica está relacionada à sensação do toque, que torna os seres humanos capazes de reconhecer características de objetos e superfícies. No corpo humano, a sensibilidade háptica é elaborada a partir de informações táteis cutâneas e informações de propriocepção, definida como a consciência do movimento e posição do corpo no espaço.

A visão e a audição são comumente consideradas os sentidos mais fundamentais pelos seres humanos, enquanto a sensação do toque assume um papel secundário. Essa impressão

pode estar associada ao fato de que, ao contrário das sensações táteis, somos capazes de obstruir a visão e a audição momentaneamente, podendo vislumbrar quais seriam os efeitos da perda desses sentidos. Além disso, a maioria das pessoas tende a não reconhecer o papel da sensibilidade tátil e da propriocepção em suas habilidades, provavelmente porque esses sentidos estão tão intrínsecos aos movimentos e à independência dos seres humanos que chegam a passar despercebidos pela consciência. A autora sinaliza que a privação das sensações hápticas pode causar consequências, como não reconhecimento da posição de membros do próprio corpo, perda do equilíbrio e dificuldade no manuseio e aplicação de forças a objetos. Uma vez compreendido o funcionamento e importância das sensações hápticas, tem-se cada vez mais crescido o número de aplicações e tecnologias que fazem uso deste tipo de resposta.

O corpo humano dispõe de mecanismos que contribuem para a adaptação ao uso de próteses. Um desses mecanismos é a plasticidade neural, definida como a capacidade de adaptação, tanto estrutural como funcional, apresentada pelo sistema nervoso central em resposta à interação organismo-ambiente ou a lesões que afetam esse sistema. Assim, a neuroplasticidade é capaz de alterar a representação corporal a partir da experiência do indivíduo. Além disso, existe um fenômeno chamado Propriocepção Fisiológica Estendida (EPP), definida como a capacidade do ser humano de estender sua propriocepção até a ponta de ferramentas por ele manuseadas. Em outras palavras, na percepção do indivíduo, a ferramenta se torna uma extensão de seu corpo. Dessa forma, o uso contínuo de uma prótese ativa pode gerar mudanças duradouras à representação corporal e a integração do membro artificial como parte do corpo do indivíduo. A autora descreve um trabalho de Jonathan Cole (1998), onde ele descreveu uma doença que privou um indivíduo de sensações táteis e de propriocepção. Segundo ele, o paciente teve de aprender a utilizar a visão para controlar seus braços e mãos. Porém, mesmo com feedback visual, ele tendia a fazer movimentos lentos e ponderados e utilizar força excessiva para segurar objetos.

Dessa forma, tem-se investido em estudos e desenvolvimento de próteses de membro superior que fornecem uma resposta háptica ao usuário. A proposta é que, com o feedback háptico, não apenas o controle da prótese se torne mais intuitivo, mas que também seja possível a realização de movimentos finos fortemente relacionados à sensação tátil.

Existem formas não-invasivas de fornecer uma resposta háptica ao indivíduo. Entre elas estão os feedbacks vibrotáteis e eletrotáteis, amplamente estudados por apresentarem uma alta taxa de aceitação por parte dos usuários, não necessitarem de cirurgia, possuírem um consumo baixo de energia e serem compatíveis com os sinais de EMG. Os mecanismos adaptativos da plasticidade neural tornam a utilização desse tipo de sistema possível e, com o tempo, intuitiva.

A autora menciona um outro trabalho, de Muhammad Nabeel (2016), onde ele fez uso de motores vibratórios fixados no antebraço de voluntários. Os resultados mostraram que, após um período de treinamento, os indivíduos puderam associar corretamente o peso de objetos com a intensidade de vibração recebida, e que o controle da prótese se tornou mais fácil, segundo os próprios voluntários. Nota-se que os estudos nessa área são recentes, e que esses sistemas ainda não estão disponíveis comercialmente.

A ideia geral do sistema proposto pela autora é que o indivíduo seja capaz de acionar um braço robótico a partir da aquisição dos seus sinais EMG, e que receba, ao mesmo tempo, uma resposta visual proveniente da movimentação do braço, e uma resposta háptica proveniente de um dispositivo vibrotátil. Para que isso seja possível, o indivíduo inicia a ativação do sistema com os eletrodos de superfície posicionados e com uma pulseira que contém motores de vibração. No computador, os sinais são processados, e suas características são utilizadas como entradas da Rede Neural Artificial que atua como classificador de movimentos. O movimento pode ser de dois tipos (Garra ou Pinça) e pode possuir três intensidades de força distintas empíricas (Fraco, Médio ou Forte). Simultaneamente, os motores de vibração presentes na pulseira são acionados de forma que sua frequência de vibração seja diretamente proporcional à intensidade resultante. O objetivo é avaliar como os recursos visual e háptico influenciam separadamente e em conjunto na ativação e controle do braço robótico.

Após realizados os testes com os voluntários, a autora conclui que, comparando as respostas visual e háptica individualmente, a resposta apenas visual apresentou melhores resultados para as intensidades mínima e máxima, enquanto a resposta apenas háptica se mostrou superior em intensidades intermediárias. Portanto, neste estudo de caso, a estabilidade do acionamento do braço robótico quando utilizada uma resposta háptica em conjunto com a resposta visual foi superior a qualquer outra configuração, para todas as intensidades de força analisadas. Entretanto, a autora ratifica que os resultados obtidos dizem respeito a uma amostragem pequena de voluntários, principalmente quando se trata de processamento de biosinais. Assim, para a confirmação de que respostas de natureza háptica auxiliam de fato no acionamento de próteses de membro superior, é necessário que mais estudos sejam realizados com tal propósito. Ela finaliza o trabalho declarando que os resultados obtidos servem como um incentivo positivo para que as investigações nesse sentido sejam continuadas e exploradas.

2.3.6 EMG-based hand gesture classification with long short-term memory deep recurrent neural networks (JABARRI; KHUSHABA; NAZARPOUR, 2020)

Este trabalho consiste em investigar a eficácia de uma rede neural profunda na classificação de sinais EMG, a partir da rede *long-short term memory* (LSTM) para classificar seis gestos de pegada em três níveis de força diferentes (baixo, médio e alto). Além disso, para investigar uma generalização do método proposto, três diferentes abordagens de treinamento foram testadas, incluindo 1) treinar a rede com recursos extraídos de um nível de força específico e testando-o com essa mesma força, 2) treinar a rede com um nível de força específico e testando-o com os outros dois níveis e 3) treinar a rede com todos os níveis de força e testando-o com um único nível de força.

Os autores introduzem o trabalho nos esclarecendo que os métodos de classificação EMG utilizados nos controles de próteses possuem uma falta de precisão para o desempenho das próteses clínicas, com relatos apontando que 88% dos usuários abandonam a prótese devido ao alto cansaço gerado durante sua utilização. Portanto, se torna essencial um classificador confiável com um método de extração de recursos apropriado. Recentemente, as *deep neural networks* (DNN) foram propostas em sistemas de classificação EMG, que consistem em uma rede neural que possui uma camada de input, muitas camadas intermediárias ocultas e uma camada *softmax* na estrutura de saída para gerar uma função de decisão probabilística.

Após os testes realizados, o autor conclui o trabalho observando que os testes feitos com o nível baixo de força tiveram uma melhor precisão de classificação comparado ao médio e alto. Os resultados do primeiro tipo de treino foram os com mais erros de classificação, o terceiro tipo de treino tiveram resultados aceitáveis, e o segundo tipo tiveram os melhores resultados, com menor índice de erro, porém, o autor salienta que mais testes clínicos precisam ser realizados para melhorar ainda mais esse desempenho.

2.3.7 *Reliable vision-based grasping target recognition for upper limb prostheses* (ZHONG; HUANG; LOBATON, 2020)

Neste trabalho, os autores desenvolveram uma plataforma de simulação 3D com objetivo de analisar, na prática, o desempenho de algoritmos de visão em vários cenários desafiadores, além disso demonstraram em uma estrutura de controle compartilhado de um braço protético e demonstraram seu potencial para ajudar os participantes com tarefas de alcance e prensão de alvos. Especificamente 1) uma nova estrutura para aprender o reconhecimento de alvos e a quantificação de incertezas que incorpora uma rede neural profunda bayesiana, onde a mesma produz três categorias de incertezas não calibradas em uma

única medida de confiança calibrada. 2) uma nova metodologia para avaliação deste *framework* utilizando dados sintéticos e dados reais de trajetória do braço agarrando objetos em cenas virtuais. 3) demonstração de conceito de *framework* em um mecanismo de controle compartilhado real com humanos, para medir o impacto da quantificação da incerteza na tarefa de agarrar. 4) discussão sobre a escalabilidade da estrutura para acomodar situações do mundo real.

Os autores iniciam o trabalho esclarecendo que as próteses de membro superior disponíveis comercialmente utilizam sinais de ativação muscular para controlar um único grau de liberdade do dispositivo e alternar entre vários modos, o que torna o controle antinatural, ineficiente e mentalmente desgastante. Dessa forma, a automação baseada em sensores visuais e inerciais podem aliviar esse problema, pois a visão computacional demonstrou grande potencial em aplicações robóticas por ser informativa e ininterrupta. O *deep learning* tem mostrado um potencial significativo em várias aplicações, como detecção de objeto e segmentação semântica, que é a classificação dos pixels de uma imagem em classes. No entanto, o desempenho dessas redes neurais é medido por treinamentos insuficientes ou tendenciosos, e a maioria dos modernos modelos de *deep learning* não conseguem capturar bem a incerteza das previsões. Para resolver esse e outros problemas, os pesquisadores combinaram a estrutura probabilística bayesiana com redes neurais, gerando as chamadas Redes Neurais Bayesianas (BNNs).

O *framework* foi avaliado a partir de um ambiente de simulação desenvolvido pelos pesquisadores com vários objetos colocados sobre uma mesa, onde foram capturadas imagens que simulam a visão da câmera montada no braço durante o alcance e a preensão. Foram simulados três cenários desafiadores, mas comuns, para a preensão de objetos. No primeiro cenário, chamado “linha de base”, é demonstrado um conjunto de dados no qual nenhum ruído de dados foi adicionado e todos os alvos e cenas de fundo foram observados anteriormente. No segundo cenário, chamado “ruído de dados”, o ruído de dados pode afetar severamente o desempenho de um sistema de visão computacional, e para demonstrar isso, foi criado um conjunto de dados teste no qual 80% dos dados foram corrompidos por quatro tipos de ruído. No terceiro e último cenário, chamado “alvos indefinidos”, os algoritmos foram treinados em quatro alvos definidos, e após isso foi estudado seu comportamento em dois alvos indefinidos, ou seja, sua classe de objeto não fazia parte do treinamento.

Após a realização dos testes, os autores concluem o trabalho falando que a rede neural criada por eles, a *Bayesian Multilayer Perceptron*, ou BMLP, alcançou 93,2% de precisão, e que esperam que a estrutura compartilhe recursos de generalização semelhantes às modernas

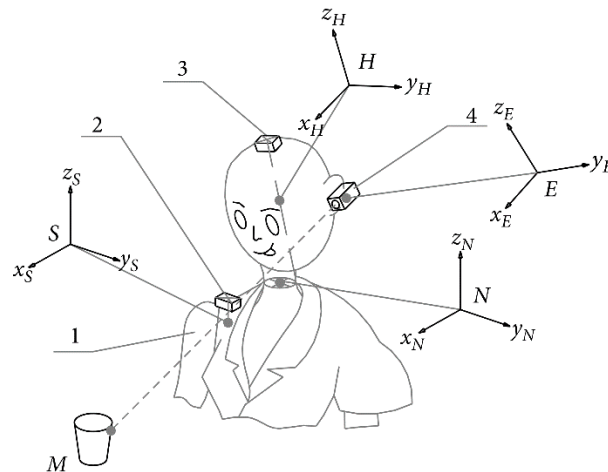
estruturas de rede neural profunda nas quais ela consiste. Ademais, no futuro, os autores planejam incorporar essa estrutura com um sistema de prótese de membro superior mais avançado, com modalidades de detecção adicionais e mais graus de liberdade, além de realizar uma avaliação mais abrangente em um ambiente realista.

2.3.8 *Random target localization for an upper limb prosthesis* (ZHANG; FAN; WANG; CHENG; FENG; TIAN, 2021)

Neste trabalho, os autores propõem um novo tipo de algoritmo de localização de alvos aleatórios, com o objetivo de realizar o movimento de preensão de um objeto, com alta precisão, com a prótese de membro superior. Para isso, eles apresentam um algoritmo de localização inicial (ILA) que utiliza dois sensores de atitude 3D e um sensor de alcance a laser para detectar a atitude e a distância do alvo, também apresentam um algoritmo de correção de erros onde um algoritmo genético multipopulacional (MPGA) que otimiza a rede neural *backpropagation* (BPNN) é utilizado para melhorar a precisão do ILA, e por último, é proposto um algoritmo de rede neural de regressão geral (GRNN) para calcular os ângulos articulares, que são usados para controlar a prótese de membro superior, movendo-a para a posição alvo. Todas essas coisas são aplicadas à prótese, com o objetivo de chegar a 5 graus de liberdade de movimento.

Os autores começam contextualizando que de acordo com a *National Limb Loss Information Center*, em 2005 já havia 1,6 milhão de pessoas com algum tipo de amputação nos Estados Unidos, e que esse número deve chegar a 3,6 milhões até 2050. Após a contextualização, eles nos introduzem sobre o algoritmo de localização inicial, ou ILA, que é um sensor de atitude tridimensional que se baseia na localização geométrica para detectar e descrever mudanças de posição tridimensionais em relação as coordenadas da Terra (direção de rolagem, direção de inclinação e direção de guinada). Para isso, é instalado no usuário dois sensores de atitude e um sensor de distância, conforme a figura 2.4. Além disso, eles nos elucidam sobre o algoritmo de correção de erros, ou BPNN, que é uma rede neural do tipo *feedforward* de multicamadas, ou seja, uma rede neural artificial em que as conexões entre os nós não formam um ciclo, diferentemente do seu sucessor, a rede neural recorrente. Ela foi o primeiro e mais simples tipo de rede neural artificial desenvolvida.

Figura 2.4. Diagrama esquemático dos sensores instalados. 1: membro artificial; 2: sensor de atitude 1; 3: sensor de atitude 2; 4: sensor de distância.



Fonte: Zhang *et al.* (2021).

Após a realização do experimento, que era pegar uma xícara de uma mesa e movê-la para a boca do usuário, os autores finalizam o trabalho mencionando que os resultados mostraram que o erro médio de posicionamento pelo algoritmo de correção de erros BPNN é de 1 mm. Comparando com o ILA, a precisão do algoritmo de correção de erros é muito melhor, pois o ILA chegava a erros de 2,5 mm. Por fim, os autores falam que em trabalhos futuros pretendem eliminar a restrição dos movimentos da prótese e consideram também usar ondas sonoras ou cerebrais para controlar esses movimentos.

2.4 Discussão

De acordo com os trabalhos analisados, observa-se que o pré-processamento é feito basicamente com a captação do sinal EMG através de sensores mioelétricos, que realizam a amplificação e a filtragem desse sinal, visto que os eletrodos do sensor são posicionados sobre a pele do indivíduo, fazendo com que na hora que o sinal é captado, ele venha com muitos ruídos eletroquímicos, fenômeno conhecido como “interface pele-eletrodo” (CASADO *et al.*, 2018), além do chamado *cross-talking*, que são sinais oriundos dos músculos próximos ao que está sendo avaliado (PEIXOTO *et al.*, 2021).

No pós-processamento, ou seja, na classificação do sinal EMG, existem diversas técnicas de aprendizado de máquina utilizados para a classificação, como a *Support Vector Machine* (SVM), redes neurais artificiais, *machine learning* não supervisionado (CENE, 2020), ILA, MPGA, GRNN. Dentre os diversos métodos, analisou-se que os mais utilizados são os métodos de ML e RNA, sendo o último a abordagem que vem sendo mais utilizada, possuindo trabalhos com tecnologias mais avançadas. A *convolutional neural networks* é utilizada para simular visão computacional na prótese com o objetivo de melhorar os movimentos finos de

preensão e agarrar que envolvem segurar objetos sem danificá-los, a partir da identificação do objeto pelas câmeras. As redes neurais bayesianas utilizadas para análise de incertezas também são outro exemplo do momento em que a tecnologia se encontra e seu caminho de evolução ainda está sendo trilhado.

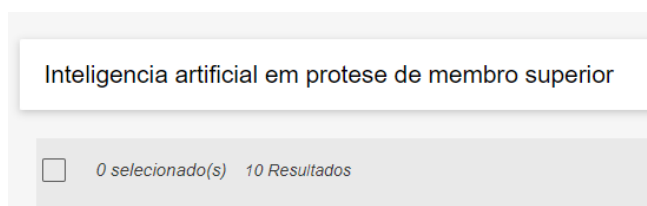
Dentro da área de tecnologias assistivas, especificamente as próteses de membro superior, o uso de inteligência artificial tem se mostrado uma escolha com resultados promissores, em termos de melhora na precisão durante o uso da prótese, no feedback sensorial e na melhora da fadiga mental gerada pelo esforço feito para utilização das mesmas, sendo este último quesito um fator revelado durante a elaboração do trabalho. No universo da IA, o sistema de controle que é responsável pela classificação e generalização do aprendizado possui uma influência vital no resultado da prótese de membro superior, podendo auxiliar na precisão e no controle da força de preensão da prótese durante a manipulação de objetos, diminuindo a carga cognitiva dos usuários. Desta forma, o desenvolvimento contínuo de sensores táteis, métodos de processamento e controle se tornam vitais no desenvolvimento de próteses mais sofisticadas (SILVA, A., 2020).

Notou-se, dentro dos resultados referentes ao tema, uma quantidade grande de trabalhos repetitivos, isto é, esforços foram despendidos em pesquisas e, em alguns casos, manufatura de conteúdos que já haviam sido elaborados anteriormente, o que acaba gerando um atraso na evolução desta tecnologia no Brasil. Além disso, encontramos um alto índice de abandono de próteses de membro superior mioelétricas. Pelo fato de seu uso requerer um grande esforço cognitivo, seu abandono chega a índices de 70% (FROSSARD, 2020). Não foram encontrados materiais científicos nacionais e/ou internacionais que relatem sobre o impacto da inteligência artificial no custo final da prótese nos quase 40000 resultados das pesquisas realizadas, sendo encontrado o tema apenas em sites sobre próteses mioelétricas, onde apontam que há uma redução de até 30% no custo final da prótese, pois a IA substitui algumas peças mecânicas que seriam utilizadas para calibrar os movimentos da mesma, já que essa calibragem ocorre via software.

Ao longo da pesquisa, percebemos a baixa quantidade de trabalhos acadêmicos que abordam o tema inteligência artificial em próteses de membro superior, mesmo internacionalmente. Para realização deste artigo, foram utilizados os termos de pesquisa para obtenção dos resultados através do *Google Scholar* e CAPES, neste último tivemos apenas 10 resultados com nenhum aproveitamento, como observa-se na figura 2.5, por serem trabalhos repetidos que já haviam sido obtidos através da pesquisa no *Google Scholar*. Para o termo de pesquisa “inteligência artificial em prótese de membro superior”, foram retornados pouco mais

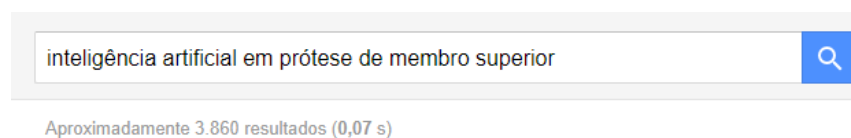
de 3800 resultados, como podemos ver na figura 2.6, o mesmo termo pesquisado em inglês já nos retorna cerca de 21600 resultados, como mostra a figura 2.7, corroborando com a nossa afirmativa de que essa temática é pouco abordada nacionalmente em comparação a outros países.

Figura 2.5. Quantidade de resultados obtidos no CAPES.



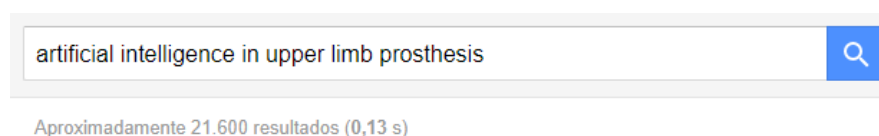
Fonte: Autoral (2022).

Figura 2.6. Quantidade de resultados retornados na pesquisa pelo Google Scholar em português



Fonte: Autoral (2022).

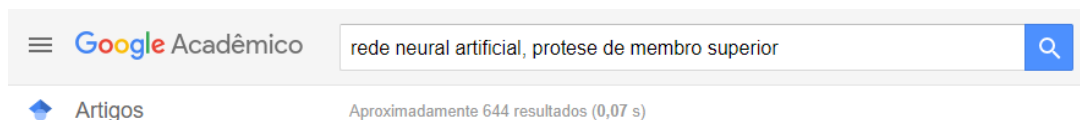
Figura 2.7. Quantidade de resultados retornados na pesquisa pelo Google Scholar em qualquer idioma.



Fonte: Autoral (2022).

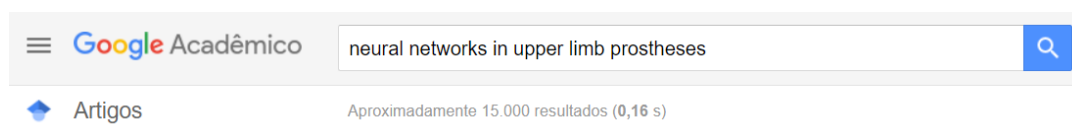
Em seguida, realizamos outra pesquisa utilizando termos que estão inseridos dentro do tema da inteligência artificial, sendo “redes neurais em prótese de membro superior”. Semelhante ao resultado anterior, as figuras 2.8 e 2.9 mostram uma quantidade muito baixa de resultados, sendo novamente encontrado mais correlações internacionais do que em português.

Figura 2.8. Quantidade de resultados retornados na pesquisa pelo Google Scholar em português.



Fonte: Autoral (2022).

Figura 2.9. Quantidade de resultados retornados na pesquisa pelo Google Scholar em qualquer idioma.



Fonte: Autoral (2022).

Apesar de, à primeira vista, a quantidade de resultados ser relativamente alta, faz-se necessário compreender que os termos de busca utilizados, mesmo que estejam alinhados aos objetivos da pesquisa, são muito abrangentes e retornam trabalhos acadêmicos que apenas tangem o tema ou que possuem essas palavras em suas literaturas. As literaturas mais específicas e alinhadas ao objetivo do trabalho foram selecionadas para serem discutidas com base em seus resultados.

2.5 Considerações Finais

Para alcançar uma prótese de membro superior que supra as necessidades e melhore a qualidade de vida dos que necessitam, faz-se necessário um esforço conjunto de engenheiros com a área médica e os usuários destas tecnologias assistivas, para que se possa alcançar o objetivo almejado. Apesar da IA ser o modelo mais utilizado nos estudos e pesquisas na busca para soluções que tragam mais qualidade de vida para os usuários de próteses de membro superior, com uma diversidade grande de técnicas de classificação, notou-se que no Brasil esta tecnologia ainda se encontra muito mais no campo das ideias do que na prática. Para trabalhos futuros, sugere-se aprofundar mais sobre essa temática na prática, com protótipos e situações reais, haja vista que a tecnologia utilizada nacionalmente é muito defasada em comparação a outros países.

3 SÍNTESE

3.1 Principais Conclusões

Após a extração e análise dos resultados das literaturas selecionados, observou-se que a utilização de inteligência artificial nas próteses de membro superior está em constante evolução, apesar de constatarmos um atraso de tecnologia no Brasil com relação a outros países. Dentro da área observamos que os métodos de *machine learning* e redes neurais artificiais são os temas que estão sendo utilizados, atualmente, em pesquisas para elaboração de métodos de classificação mais sofisticados para solucionar os problemas que causam o abandono do uso das próteses mioelétricas de membro superior. Com relação a sensibilidade háptica, foram encontrados 2 trabalhos que se debruçaram sobre o tema, ambos possuem a classificação dos sinais como cerne de toda problemática.

Portanto verificou-se que os problemas relacionados ao abandono das próteses mioelétricas, podem ser solucionados a partir de classificadores mais sofisticados por serem o objeto principal para solucionar os problemas que envolvem melhora na precisão, na sensibilidade tátil e redução de fadiga mental.

3.2 Discussão Geral

Eficiência, precisão, fluidez e sensibilidade são os termos mais referenciados ao longo do estudo realizado, por serem termos convergentes para os métodos implementados nesta tecnologia. Tanto para referenciar o abandono pela ausência de algum ou vários desses marcadores, quanto para o momento tecnológico, onde é possível visualizar a dificuldade e complexidade envolvida no desenvolvimento e aplicação de cada marcador.

A ausência de eficiência e precisão torna uma prótese de membro superior inútil, tendo em vista que o mínimo esperado de um membro substituto é que seja possível realizar os movimentos e ações desejadas. A fluidez e sensibilidade estão mais ligadas a satisfações psíquicas, a memórias de uma sensação, de um movimento, percebemos ao longo do estudo que essas sensações são tão importantes quanto a eficiência e precisão para os usuários de prótese, pois a ausência da fluidez, principalmente, gera extremo cansaço mental nos usuários. Todos esses marcadores, como mencionado anteriormente, são implementados a partir de classificadores sofisticados e possuem uma interdependência para a satisfação do usuário prostético, portanto esta tecnologia e sua evolução se mostram, também, dependente do aprofundamento acadêmico da inteligência artificial e seus métodos para aprimorar as próteses de membro superior e sua consequente redução na taxa de abandono.

3.3 Perspectiva Futura

Em termos de perspectiva futura, objetiva-se que este trabalho sirva como alicerce e ponto de partida do momento tecnológico em que se encontra as próteses de membro superior e que a partir deste possa ser iniciado novos estudos e/ou aprofundamento desta tecnologia. Com isso seria possível produzir literaturas sobre o assunto na nossa região e entender como se encontra o cenário das pessoas que necessitam desta tecnologia na região. Ademais, espera-se que os estudos sobre a tecnologia assistiva saia mais do campo teórico e que se aplique mais em situações reais, e para isso acontecer deve-se haver mais incentivo nessa área, a julgar pela nossa tecnologia tão defasada em comparação a outros países.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES JUNIOR, Ednaldo *et al.* **Prótese Mioelétrica Para Membro Superior**. 2016. 98 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade São Francisco, Campinas, 2016. Disponível em: <http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2955.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2021.

AMORIM, Alefjohn Feitosa *et al.* **Desenvolvimento de uma Prótese Mioelétrica Utilizando Redes Neurais Artificiais**. 2018. 6 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Biomédica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/3036/2/AlefjohnFA_MONO.pdf. Acesso em: 18 ago. 2021.

BELO, Eli Fellingpe Valadão *et al.* Sistema de Inteligência Artificial para Classificação de Movimentos de Membros Superiores (MMSS). **Revista Científica Umc**, Mogi das Cruzes, v. 1, n. 1, p. 838-842, dez. 2020. Disponível em: <http://seer.umc.br/index.php/revistaumc/article/viewFile/1385/838>. Acesso em: 26 mar. 2022.

BORIS, Fabio Agostinho. **Análise de Técnicas de Classificação de Sinais de Eletromiografia para Controle de Prótese de Membro Superior**. 2020. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2020. Cap. 1. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/193431/boris_fa_me_ilha.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 10 maio 2022.

CAMARGO, Daniel Rodrigues de. **Desenvolvimento de um Protótipo de uma Prótese Antropomórfica para Membros Superiores**. 2008. 186 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18151/tde-15102008-134653/publico/Daniel.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2021.

CARVALHO, Daiane Guimarães de. **A Inteligência Artificial na Acessibilidade**. 2019. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Sistemas de Computação, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2019. Disponível em: https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/13012/TCC_DAIANE_GUIMAR%c3%83ES_DE_CARVALHO.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 18 ago. 2021.

CASADO, J. C. S.; MONTEIRO, M. S.; SILVA, J. P.; MENDONÇA, K. R.; MARÃES, V. R. F. S.; ROSA, S. S. R. F.. Análise de Desempenho de Filtragem Biomecânica Derivada de Biomaterial Látex Aplicada em Sistema de Aquisição, Exibição e Análise de Sinais Eletromiográficos. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ELETROMIOGRAFIA E CINESIOLOGIA E X SIMPÓSIO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA, 5., 2018, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: Cobec-Seb, 2018. v. 5, p. 938-941. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322646334_ANLISE_DE_DESEMPENHO_DE_FILTROAGEM_BIOMECCNICA_DERIVADA_DE_BIOMATERIAL_LTEX_APLICADA_EM_SISTEMA_DE_AQUISIO_EXIBIO_E_ANLISE_DE_SINAIS_ELETROMIOGRFICOS. Acesso em: 29 maio 2022.

CENE, Vinícius Horn. **Métodos de Classificação Confiável e Resiliente de Movimentos de Membros Superiores Baseado em Extreme Learning Machines e Sinais de Eletromiografia de Superfície**. 2020. 170 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Cap. 1. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/214533/001118875.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 17 maio 2022.

COSTA, Francisco Vinícius Lopes *et al.* O uso de redes neurais artificiais em sinais EMG. **Anais do Encontro de Computação do Oeste Potiguar Ecop/Ufersa**, Pau dos Ferros, v. 1, n. 1, p. 118-126, 18 maio 2017. Anual. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/ecop/article/view/7099>. Acesso em: 26 mar. 2022.

DE LUCA, C. J. (1979). **Physiology and mathematics of myoelectric signals**. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, New York, v. BME-26, n.6, p.313-325.

FERNANDES, F.; LUFT, C. P.; GUIMARÃES, F. M. Dicionário brasileiro globo. 23. ed. São Paulo: Globo, 1992.

FIGUEIREDO, Rafael *et al.* Desenvolvimento de um Estimador para o Movimento do Cotovelo Humano baseado em Inteligência Artificial e Sinais Eletromiográficos. **X Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**, Salvador, v. 1, n. 1, p. 1-9, 20 maio 2018. ABCM. <http://dx.doi.org/10.26678/abcm.conem2018.con18-1527>. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Elkin-Veslin-2/publication/326428695_Desenvolvimento_de_um_Estimador_para_o_Movimento_do_Cotovelo_Humano_baseado_em_Inteligencia_Artificial_e_Sinais_Eletromiograficos/links/5d826e6d92851ceb791409c5/Desenvolvimento-de-um-Estimador-para-o-Movimento-do-Cotovelo-Humano-baseado-em-Inteligencia-Artificial-e-Sinais-Eletromiograficos.pdf. Acesso em: 26 mar. 2022.

FROSSARD, Alessandra de Matos. **Mecanorreceptores Artificiais Aplicados a Próteses de Membro Superior**. 2020. 25 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia da Computação, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2020. Disponível em: www.rel.uniceub.br/pic/article/view/7441/4687. Acesso em: 18 ago. 2021.

GARAFFA, Luiza Caetano. **Ativação de um Braço Robótico Através de Sinais Mioelétricos e Redes Neurais Artificiais como Protótipo para um Estudo Preliminar de Sensibilidade Háptica**. 2018. 111 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Cap. 1. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/231005/001091142.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 maio 2022.

GEETHANJALI, Purushothaman. **Myoelectric control of prosthetic hands: state-of-the-art review**. 2016. Medical Devices (Auckland). Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4968852/#>. Acesso em: 18 ago. 2021.

GOUVEIA, Eber Lawrence Souza. **Aplicação de Máquinas de Vetores de Suporte para Geração de Sinais de Controle Robustos para Próteses Mioelétricas**. 2018. 54 f. TCC

(Graduação) - Curso de Engenharia Biomédica, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/22274/3/Aplica%20a7%20a3oM%20a1q uinasVetores.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2021.

GOUVEIA, Eber Lawrence Souza. **Sistema Semi-Autônomo Baseado em Visão Neuromórfica para Controle de Próteses Mioelétricas**. 2022. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Biomédica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. Cap. 1. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/34778/1/SistemaSemiAutonomo.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

JABBARI, Milad; KHUSHABA, Rami N.; NAZARPOUR, Kianoush. EMG-Based Hand Gesture Classification with Long Short-Term Memory Deep Recurrent Neural Networks. In: 2020 42ND ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE & BIOLOGY SOCIETY (EMBC), 42., 2020, Montreal, Qc, Canada. **2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)**. Montreal, Qc, Canada: Ieee, 2020. v. 42, p. 3302-3305. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9175279/authors#authors>. Acesso em: 10 maio 2022.

LEBLANC, Maurice. **Give Hope, Give a Hand**: Palo Alto: Maurice Leblanc, 2011. Color.

LOBO, Luiz Carlos. Inteligência Artificial e Medicina. **Revista Brasileira de Educação Médica**, [S.L.], v. 41, n. 2, p. 185-193, jun. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1981-52712015v41n2esp>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbem/a/f3kqKJjVQJxB4985fDMVb8b/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 mar. 2022.

MARTINS, Arthur Balboa de Medeiros *et al.* **Uso de Sinais Mioelétricos para Controle de Dispositivos**. 2017. 3 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia, Mostra Nacional de Robótica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em: <http://sistemaolimpico.org/midias/uploads/94ba01d637c123f2cfc7a40b208e1aeb.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2021.

MARTIO, Vitor Henrique. **Prótese de Mão e Punho Controlada por Sinais Mioelétricos**. 2017. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2017. Disponível em: <http://repositorio.upf.br/bitstream/riupf/1424/1/PF2017Vitor%20Henrique%20Martio.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2021.

MENDES, Grasielly Machado; PAVARINI, Sara Cordeiro Coelho. **Dificuldades e Barreiras na Inclusão no Mercado de Trabalho para PCDS (Pessoas com Deficiência)**. 2016. 13 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Gestão de Recursos Humanos, Evento Interinstitucional de Iniciação Científica, Faculdade Secal, Ponta Grossa, 2016. Disponível em: https://unisecal.edu.br/wp-content/uploads/2019/05/Dificuldades_e_barreiras_PCD_Grasielly_Sara.pdf. Acesso em: 18 ago. 2021.

NETTO, Severino Peixoto Nunes. **Desenvolvimento de Prótese com controle Mioelétrico e de Baixo Custo**. 2016. 42 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Biomédica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016. Disponível em: <https://eb.ct.ufrn.br/wp-content/uploads/2019/03/Severino-Netto.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2021.

PEIXOTO, Alberto Monteiro; PEIXOTO, Guilherme de Oliveira Monteiro; MONTTEIRO, Robertoluz Souza; CARNEIRO, Tereza Kelly Gomes. Procedimentos adotados na coleta de sinais mioelétricos para construção de próteses da mão. In: CARVALHO FILHO, Antonio Oseas de; MAGALHÃES, Deborah Maria Vieira; BALUZ, Rodrigo Augusto Rocha Souza; SILVA, Romuere Rodrigues Veloso e. **Minicursos do XIV Encontro Unificado de Computação do Piauí (ENUCOMPI) e XI Simpósio de Sistemas de Informação (SINFO)**. 14. ed. Picos: Sociedade Brasileira de Computação, 2021. p. 67-81. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/livros/index.php/sbc/catalog/view/76/327/583-1>. Acesso em: 29 maio 2022.

RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. **Inteligência Artificial**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2013. 1324 p.

SILVA, Andrei Nakagawa. **Uma Abordagem Neuromófica para Controle Tátil do Escorregamento em Próteses de Membros Superiores**. 2020. 125 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/30403/5/AbordagemNeuromorficaControle.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

SILVA, Gleidson Leite da; BRITO FILHO, Francisco de Assis. Classificação do sinal mioelétrico utilizando Support Vector Machine e o modelo de Rede Neural Multilayer Perceptron. **Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação**, Caraúbas, v. 28, n. 1, p. 15-27, abr. 2020. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/be2969eca9e9ce8720521ef8c16a8a2e/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>. Acesso em: 18 ago. 2021.

SILVA, Gleidson Leite da. Prótese Mioelétrica 3D Inteligente Utilizando Redes Neurais Artificiais e Internet das Coisas para Auxílio a Reabilitação de Soldados em Ambientes Remotos. **Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação**, Caraúbas, v. 18, n. 1, p. 431-441, fev. 2019. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/f4b193b46ccb16a23b0e44569a4be4a5/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>. Acesso em: 18 ago. 2021.

SILVA, Nicholas Ramalho da. **Projeto de uma Prótese Mioelétrica de Baixo Custo Manufaturada via Impressão 3D**. 2018. 108 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10024875.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2021.

ZHANG, Xinglei; FAN, Binghui; WANG, Chuanjiang; CHENG, Xiaolin; FENG, Hongguang; TIAN, Zhaohui. Random Target Localization for an Upper Limb Prosthesis. **Shock And Vibration**, Qingdao, v. 2021, n. 1, p. 1-14, 19 jun. 2021. Hindawi Limited.

<http://dx.doi.org/10.1155/2021/5297043>. Disponível em:
<https://downloads.hindawi.com/journals/sv/2021/5297043.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

ZHONG, Boxuan; HUANG, He; LOBATON, Edgar. Reliable Vision-Based Grasping Target Recognition for Upper Limb Prostheses. **Ieee Transactions On Cybernetics**, Perth, v. 52, n. 3, p. 1750-1762, mar. 2022. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tyb.2020.2996960>. Disponível em:
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9113325>. Acesso em: 10 maio 2022.