

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**PEDRO LESSA SACONATO**

**ARQUITETURAS DE HARDWARE UTILIZADAS PARA HDsEMG APLICADA À  
MEMBROS SUPERIORES: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Ilha Solteira  
2022

**PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PEDRO LESSA SACONATO**

**ARQUITETURAS DE HARDWARE UTILIZADAS PARA HDsEMG APLICADA À  
MEMBROS SUPERIORES: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de Engenharia de  
Ilha Solteira – UNESP como parte dos  
requisitos para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Elétrica.

**Orientador:** Aparecido Augusto de Carvalho

FICHA CATALOGRÁFICA  
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S122a Saconato, Pedro Lessa.  
Arquiteturas de hardware utilizadas para HDsEMG aplicada à membros superiores: uma revisão sistemática / Pedro Lessa Saconato. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023  
51 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) -  
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2023

Orientador: Aparecido Augusto de Carvalho  
Coorientador: Ricardo Taoni Xavier  
Inclui bibliografia

1. HDsEMG. 2. Mãos robóticas. 3. Hardware. 4. Próteses de membro superior.

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

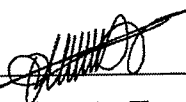
Aos vinte e sete dias do mês de janeiro do ano de dois mil e vinte e três, o discente Pedro Lessa Saconato, matriculado sob o nº 151.051.331, tendo como banca examinadora o seu orientador, o Prof. Dr. Aparecido Augusto de Carvalho, o Prof. Dr. Ricardo Taoni Xavier e o Prof. Elcio Alteris dos Santos, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado "Arquiteturas de Hardware Utilizadas para Eletromiografia de Alta Densidade Aplicada à Membros Superiores: uma Revisão Sistemática do Estado da Arte", obtendo a nota 10,0 (Dez) e conceito Aprovado.



Prof. Dr. Aparecido Augusto de Carvalho  
 - Orientador -



Pedro Lessa Saconato  
 - Discente -



Prof. Dr. Ricardo Taoni Xavier  
 - Membro da Banca -



Prof. Elcio Alteris dos Santos  
 - Membro da Banca -

## **DEDICATÓRIA**

À minha mãe Simone, meu pai Jackson e minha irmã Clara, por serem minha luz e minha força que me guiaram por todo esse caminho.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais que sempre batalharam pela minha educação e formação de caráter.

Agradeço à minha mãe, Simone, um exemplo de mulher que em todas as vezes que precisei de amor, conversa e apoio para continuar seguindo em frente não media esforços para me ajudar a crescer e me fazer enxergar a beleza em todas as situações.

Ao meu pai, Jackson, companheiro, por ser alguém que sempre pude admirar e ter como espelho, sendo o ser humano mais bondoso e amável que já tive o prazer de conhecer.

À minha irmã, Clara, por ser a luz da minha vida, a pessoa que mais amo e tenho carinho, além de ser a minha motivação para ser sempre uma pessoa melhor. Ao meu amigo Rafael, que se fez presente sempre que precisei, nunca me negando apoio e sincera amizade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Aparecido Augusto de Carvalho, por suas aulas, que me fizeram ter certeza de que estava no caminho certo, por sua dedicação e educação, sendo um dos profissionais que mais possuo admiração. Ao Ricardo Taoni, por toda a atenção e conhecimento compartilhado, que contribuíram de forma imensa para a elaboração deste trabalho.

Agradeço à Associação Acadêmica Batera do Inferno, por me mostrar o amor ao samba e ter feito a minha felicidade durante toda a graduação.

E por fim, como filho de profissionais formados pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, agradeço a oportunidade de ter estudado nesta universidade de excelência, que fez e fará parte da minha vida do começo ao fim.

“Nada é permanente, exceto a mudança”. Heráclito.

## RESUMO

Neste trabalho é apresentado o estado da arte das arquiteturas de hardware utilizadas em eletromiografia de superfície de alta densidade aplicada em mãos robóticas de membros superiores. Este tema foi escolhido, considerando-se a importância de se buscar proporcionar independência para pessoas com membros amputados ou com problemas motores, com o intuito de avaliar a evolução desta tecnologia e auxiliar no direcionamento de futuras pesquisas. Para a realização deste estudo foram utilizados artigos científicos referentes ao tema em questão publicados nos últimos 12 anos. As bases de dados escolhidas para este levantamento foram Web of Science e SCOPUS, considerando a necessidade de um número adequado de artigos para uma revisão sistemática. No estudo, observa-se a predominância de dois fabricantes de amplificadores, com número de canais que variam de 32 até 400. São relatadas interferências externas durante a aquisição de sinal de interesse, como deslocamento indesejado de eletrodos, interferência eletromagnética da rede elétrica e movimentação dos fios condutores entre eletrodos e amplificadores. Configurações de hardware mais compactas começaram a aparecer a partir de 2017, com a utilização de chips amplificadores acoplados à malha de eletrodos, e com transmissão de sinais de eletromiografia sem a necessidade da utilização de fios. As configurações de *hardware wireless* se mostram promissoras para auxiliar no caminho da viabilização do uso de próteses robóticas para o membro superior utilizando HDsEMG, devido à maior praticidade e menor interferência externa devido à ausência de condutores. Devido à ausência de descrições detalhadas do hardware utilizado nos artigos encontrados, sugere-se pesquisas posteriores que possam complementar esta análise, expandindo a busca bibliométrica para outras regiões do corpo e mais bases de dados.

**Palavras-chave:** HDsEMG. Mãos robóticas. Hardware. Próteses de membro superior.



## ABSTRACT

This work presents a state-of-the-art study of hardware architectures used in high-density surface electromyography applied to robotic hands of upper limbs. This theme was chosen considering the importance of seeking to provide independence for people with amputated limbs or with motor problems, with the aim of evaluating the evolution of this technology and helping to direct future research. To carry out this study, scientific articles published in the last 12 years related to the subject in question were used. The databases chosen for this survey were Web of Science and SCOPUS, due to the consistent number of articles for a systematic review. In the study, there is a predominance between two amplifier manufacturers, with the number of channels ranging from 32 to 400. External interferences in signal acquisition are reported, such as unwanted displacement of electrodes, electromagnetic interference from the electrical network and movement of conductive wires between electrodes and amplifiers. More compact hardware configurations begin to appear from 2017 onwards, with the use of amplifier chips coupled to the electrode mesh with transmission of electromyography signals without the need for wires. Wireless hardware configurations are promising to help in the way of enabling the use of robotic prostheses for the upper limb using HDsEMG, due to greater practicality and less external interference due to the absence of conductors. Due to the lack of detailed descriptions of the hardware used, further research is suggested that may complement this analysis, expanding the bibliometric search to other regions of the body and more databases.

**Keywords:** HDsEMG. Robotic hands. Hardware. Upper limb prostheses.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Apresentação do Software Mendeley	18
<b>Figura 2</b> - Fluxograma PRISMA	20

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Critérios de Inclusão e Exclusão. _____	20
<b>Tabela 2</b> – Aplicação dos critérios de Inclusão e Exclusão. _____	20
<b>Tabela 3</b> – Informações de Hardware. _____	24
<b>Tabela 4</b> – Configurações de Eletrodos. _____	25
<b>Tabela 5</b> - Relação entre região e número de canais EMG. _____	26

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CNN	<i>Convolutional neural network</i>
DBN	<i>Deep belief network</i>
EMG	Eletromiografia
HDsEMG	Eletromiografia de Superfície de Alta Densidade
LDA	<i>Linear discriminant analysis</i>
sEMG	Eletromiografia de Superfície
WoS	<i>Web of Science</i>
PRISMA	Itens Preferenciais para Relatórios de Revisão Sistemática e Meta-análise
MT	<i>Medial Trapezius</i>
BIC	<i>Biceps Brachii</i>
TRI	<i>Triceps Brachii</i>
ANC	<i>Anconeus</i>
BCR	<i>Brachioradialis</i>
PT	<i>Pronator Teres</i>
PM	<i>Pectoralis Major</i>
UPT	<i>Upper Trapezius</i>
PQ	<i>Pronator Quadratus</i>
FDP	<i>Flexor Digitorum Profundus</i>
FPL	<i>Flexor Policis Longus</i>
FDS	<i>Flexor Digitorum Superficialis</i>
FCU	<i>Flexor Carpi Ulnaris</i>
PL	<i>Palmaris Longus</i>
FCR	<i>Flexor Carpi Radialis</i>
EI	<i>Extensor Indicis</i>
EPL	<i>Extensor Policis Longus</i>
EPB	<i>Extensor Policis Brevis</i>
APL	<i>Abductor Policis Longus</i>
ECRL	<i>Extensor Carpi Radialis Longus</i>
ECRB	<i>Extensor Carpi Radialis Brevis</i>
ECU	<i>Extensor Carpi Ulnaris</i>
ED	<i>Extensor Digitorum</i>

EDM	<i>Extensor Digiti Minimi</i>
EDC	<i>Extensor Digitorum Communis</i>
BR	<i>Brachialis</i>
FC	<i>Fossa Cubit</i>
AC	<i>Acromion</i>

## **Sumário**

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivo.....	16
1.2 Estrutura do Trabalho .....	16
2 METODOLOGIA .....	17
2.1 Análise exploratória .....	17
2.2 Busca nas bases de dados.....	17
2.3 Critérios de inclusão e exclusão .....	18
2.4 Extração de dados.....	22
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	23
4 CONCLUSÃO .....	27
REFERÊNCIAS .....	28
APÊNDICE – Formulários de Extração de Dados .....	32

## 1 INTRODUÇÃO

A ausência total ou parcial do membro superior ocorre devido à diversas causas, desde a má formação congênita até traumas ou doenças cardiovasculares. As próteses de membro superior contribuem para proporcionar independência para os indivíduos amputados, auxiliando na realização de atividades do cotidiano e também em atividades profissionais. (Bionicenter, 2020)

Há vários níveis de amputação nos membros superiores, desde a amputação do metacarpo (retirada total ou parcial da mão, na qual o pulso é deixado intacto), até a desarticulação do ombro, onde se retira todo o braço na altura do ombro. (Bionicenter, 2020)

Por meio de um complexo processo biomecânico, a contração de um músculo produz um sinal elétrico que pode ser medida de forma invasiva, utilizando agulhas, ou de forma superficial não-invasiva, utilizando eletrodos de superfície (MOURA et al., 2021)

A eletromiografia de superfície (sEMG) é a representação gráfica da atividade elétrica dos músculos esqueléticos associada a diversas ações musculares utilizando eletrodos posicionados na pele do paciente. O sinal de eletromiografia é uma combinação algébrica dos potenciais elétricos captados (MARCHETTI et al., 2006; DROST et al., 2006)

Em decorrência da necessidade de maior definição dos sinais elétricos captados, utilizando eletrodos de superfície, foi desenvolvida a eletromiografia de alta densidade (HDsEMG), capaz de captar o sinal de uma área muscular maior por meio de matrizes de eletrodos posicionados na pele, aumentando significativamente a detecção de atividade elétrica em uma unidade motora. A captação do sinal de eletromiografia utilizando HDsEMG demanda instrumentação relativamente sofisticada e análise criteriosa do sinal de eletromiografia (DROST et al., 2006; MERLETTI et al., 2020), como a utilização de amplificadores com maior número de canais EMG disponíveis, além da correta disposição das malhas de eletrodos de acordo com o músculo que deseja avaliar. Sendo assim, a forma como o sinal EMG é coletado possui grande influência no processo de classificação da ação muscular.

Neste trabalho, foi realizada uma revisão sistemática para definir o estado da arte no que diz respeito às arquiteturas de hardware utilizadas em eletromiografia de alta densidade, aplicada em próteses de membros superiores.

As revisões sistemáticas desempenham um papel fundamental em todas as áreas da ciência. Profissionais e pesquisadores se utilizam desses tipos de estudo principalmente para que se mantenham atualizados em relação ao progresso de novas tecnologias em suas áreas, servindo muitas vezes como o ponto de partida para o desenvolvimento de novos estudos ou novas práticas clínicas (ROTHER, 2007)

A revisão sistemática consiste em um estudo que possui como objetivo reunir e analisar de forma estatística as informações sobre um tema em comum publicadas por variados autores, com a finalidade de responder à uma pergunta chave que direciona a revisão sistemática. Neste trabalho, busca-se responder à seguinte pergunta: *Quais são os hardwares utilizados atualmente nos estudos relacionados à eletromiografia de alta densidade aplicada em membros superiores?*

Existem atualmente no mercado opções de hardware aliadas a softwares avançados capazes de medir com alta precisão os mais diversos parâmetros relacionados ao movimento muscular, com a utilização de dinamômetros e sensores de pressão para determinação da força e precisão, e acelerômetros para determinação da velocidade e cadência da ação muscular.

A abordagem adotada nesta revisão sistemática consiste em avaliar os modelos, fabricantes de equipamentos e configurações utilizadas nos artigos selecionados e relacioná-los com as técnicas de aquisição, classificação e controle utilizadas em seus respectivos estudos para determinar a relação e o grau de influência dos hardwares utilizados com os resultados obtidos nos artigos selecionados para este trabalho de revisão sistemática.

Neste estudo foi possível observar dominância dos fabricantes *OT Bioelettronica* e *TMS International* no que diz respeito aos amplificadores utilizados em estudos de HDsEMG do membro superior. Além disso, foi possível observar uma tendência para métodos de aquisição utilizando sistemas cada vez mais compactos, como chips amplificadores de transmissão *wireless* para interfaces computacionais de classificação em tempo real.



## **1.1 Objetivo**

Analisar e identificar as arquiteturas de hardware utilizadas nos estudos dos últimos doze anos envolvendo eletromiografia de superfície de alta densidade aplicada em músculos dos membros superiores.

## **1.2 Estrutura do Trabalho**

Este trabalho apresenta 4 capítulos.

No capítulo 1, foram expostos a introdução, o objetivo e as contribuições do trabalho. No capítulo 2, serão apresentados a metodologia do trabalho, separada em 4 partes: Análise Exploratória, Busca nas Bases de Dados, Critérios de Inclusão e Exclusão e Extração de dados. No capítulo 3, serão apresentados os resultados e discussões do trabalho. E, por fim, no capítulo 4, serão apresentadas as conclusões e trabalhos futuros.

## 2 METODOLOGIA

Neste trabalho foram analisados documentos unicamente do tipo artigos. A seleção dos artigos para esta revisão sistemática foi realizada de acordo com as diretrizes dos Itens Preferenciais para Relatórios de Revisão Sistemática e Meta-análise (PRISMA).

O método PRISMA, criado em 2005 consiste em uma sequência de tarefas que devem ser realizadas para selecionar de forma criteriosa os trabalhos a serem incluídos na revisão sistemática, seguido de um fluxograma de quatro etapas, apresentado na Figura 2 (“Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA”, 2015).

### 2.1 Análise exploratória

Devido ao número de documentos encontrados, gratuidade de acesso, alcance de citações e compatibilidade com a posterior ferramenta de análises, as bases de dados escolhidas foram Web of Science e SCOPUS. Para realização da revisão sistemática, a seguir, serão apresentadas as maneiras de se prosseguir, a partir de estratégia definida de busca e aquisição de artigos nas bases escolhidas para extração e análise dos dados.

### 2.2 Busca nas bases de dados

Nesta revisão foram incluídos artigos com foco em HDsEMG aplicada às próteses de membros superiores. Para isso utilizou-se das palavras-chave “eletromiography”, “high density” e “upper limbs”. Com o acesso das bases SCOPUS e WoS sendo direcionadas via Portal da Capes (CAPES, 2021), foi possível obter o total de 65 artigos por meio da pesquisa avançada, realizada pela última vez no dia 04 de janeiro de 2022. Para isso, foram utilizados operadores booleanos “AND” e “OR” para encontrar artigos no intervalo de 2010 a 2022 em ambas as bases de dados.

Na base de dados SCOPUS foi realizada a seguinte pesquisa: *“(TITLE-ABS-KEY (“electromyograp\*”) OR TITLE-ABS-KEY (“sEMG”)) AND TITLE-ABS-KEY (“high density”) AND TITLE-ABS-KEY (“upper limbs”) AND (LIMIT-TO*

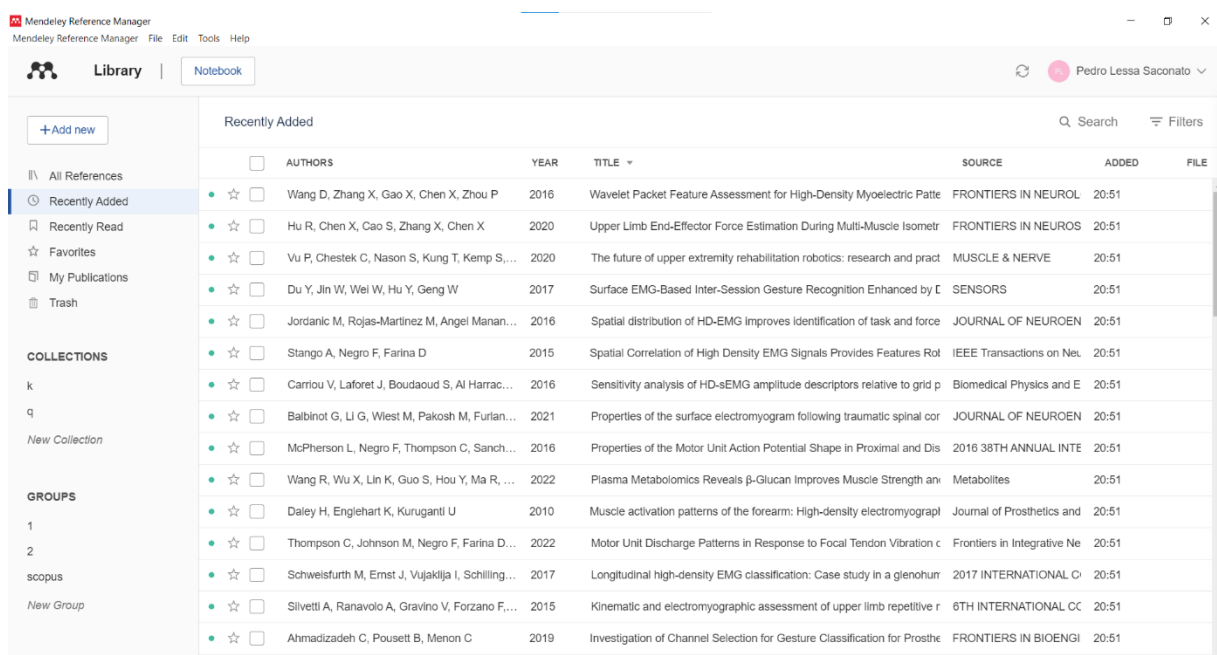
(DOCTYPE,"ar")) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR,2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2015) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2014) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2013) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2012) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2011) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2010)) “.

Enquanto na base WoS foi inserido o seguinte texto na janela de busca avançada: “(TS=(("EMG") OR ("electromyograp\*")) AND TS=("high density")) AND (TS=(("upper limb\$") OR ("limb\$, upper") OR ("upper extremit\*") OR ("extremit\*, upper") ) )”.

### 2.3 Critérios de inclusão e exclusão

Após a etapa de busca de artigos, o próximo passo foi realizado com o auxílio do software Mendeley (ELSEVIER, 2022) apresentado na Figura 1, disponibilizado pela própria plataforma Elsevier (Elsevier, Amsterdã, Países Baixos) que possibilita fácil visualização da existência de artigos repetidos, que resultou na exclusão de 15 artigos duplicados.

Figura 1. Apresentação do software Mendeley.



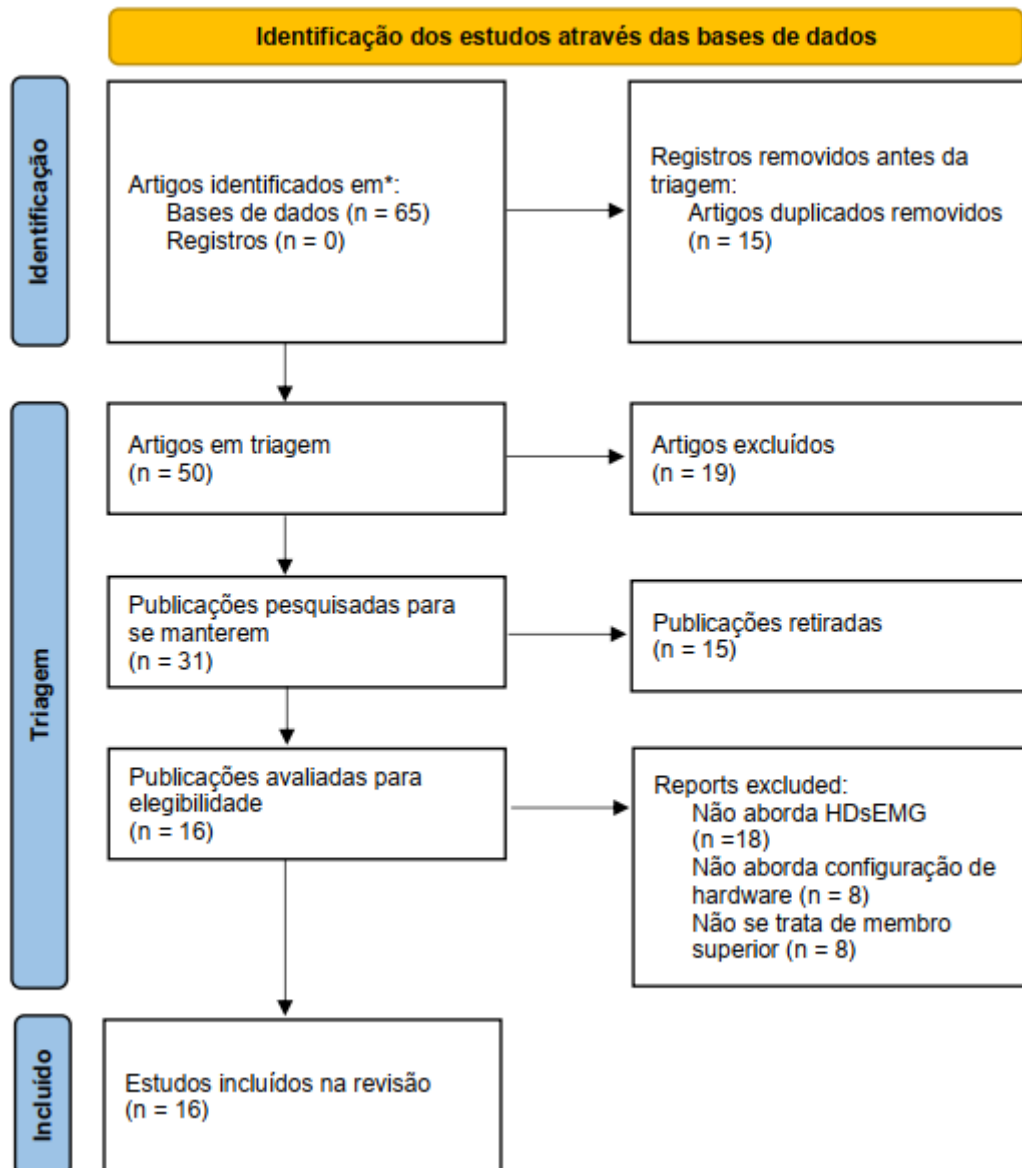
Fonte: Elaboração do próprio autor.

O próximo filtro de elegibilidade foi a realização de uma triagem que se deu pela leitura de todos títulos e resumos dos artigos disponibilizados nas pesquisas, selecionando-os de acordo com a relevância em relação ao tema deste trabalho. Nesta etapa foram excluídos os artigos em que seus estudos não abordavam membros superiores ou HDsEMG, resultando na retirada de 19 artigos, restando assim 31 artigos no total.

Em seguida, foram lidos os textos completos de todos os artigos selecionados anteriormente e então aplicados os critérios de inclusão e exclusão, como por exemplo, a presença das especificações do hardware utilizado para o desenvolvimento do respectivo artigo. Neste processo, foi identificado um total de 15 artigos que não seriam relevantes para esta pesquisa e foram excluídos da seleção.

Desta forma, a revisão sistemática foi feita a partir das informações contidas nos 16 artigos que passaram por todos os filtros de elegibilidade. As Tabelas 1 e 2 relacionam todos os artigos e suas razões de inclusão e exclusão.

Figura 2. Fluxograma PRISMA



Fonte: PRISMA.

Tabela 1. Critérios de Inclusão e exclusão.

<b>Nº</b>	<b>Critérios de Inclusão</b>	<b>Critérios de Exclusão</b>
(1)	Trabalhos sobre HDsEMG	Trabalhos que não utilizam HDsEMG
(2)	Trabalhos que abordam a região do membro superior	Trabalhos que não abordam a região do membro superior
(3)		Estudos que não avaliam configurações de hardware

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 2. Aplicação dos critérios de inclusão e exclusão nos artigos encontrados.

<b>Artigo</b>	<b>Autores</b>	<b>Critérios de inclusão atendidos</b>	<b>Critérios de exclusão atendidos</b>	<b>Status</b>
[1]	VU et al.	(2)	(1)	Excluído
[2]	GAFFNEY et al.		(2)	Excluído
[3]	GSTOETTNER et al.		(1), (2)	Excluído
[4]	ZHAO et al.		(1)	Excluído
[5]	HASSAN et al.	(1), (2)	(2)	Excluído
[6]	KISIEL-SAJEWICZ et al.	(1), (2)		Incluído
[7]	RADMAND et al.	(2)	(1)	Excluído
[8]	ROJAS-MARTÍNEZ et al.	(1), (2)		Incluído
[9]	JORDANIC et al.	(1), (2)		Incluído
[10]	WANG et al.	(1), (2)		Incluído
[11]	MARTÍNEZ et al.	(1), (2)		Incluído
[12]	KIM et al.	(1)	(2)	Excluído
[13]	JABER et al.	(1), (2)		Incluído
[14]	DU et al.	(1), (2)		Incluído
[15]	ARANCETA-GARZA et al.	(1), (2)		Incluído
[16]	TAM et al.	(1), (2)		Incluído
[17]	MARTÍNEZ et al.	(1), (2)		Incluído
[18]	HU et al.	(1), (2)		Incluído
[19]	OLSSON et al.	(1), (2)		Incluído
[20]	JORDANIC et al.	(1), (2)		Incluído
[21]	ROJAS-MARTÍNEZ et al.	(1), (2)		Incluído
[22]	ISLAM et al.	(2)	(1)	Excluído
[23]	AHMADIZADEH et al.	(2)	(1)	Excluído

[24]	WANG et al.		(1), (2), (3)	Excluído
[25]	THOMPSON et al.	(1)	(2)	Excluído
[26]	PARK et al.		(1), (2)	Excluído
[27]	CHUNG et al.		(1), (2)	Excluído
[28]	CHUNG et al.		(1), (2)	Excluído
[29]	CARRIOU et al.	(1), (2)		Incluído
[30]	OFORI et al.		(1), (2)	Excluído
[31]	DALEY et al.	(1), (2)		Incluído

Fonte: Elaboração do próprio autor.

## 2.4 Extração de dados

O processo de extração de dados deve ser feito cuidadosamente para evitar a perda de informações que podem influenciar de forma direta nos resultados da revisão sistemática.

A partir do Apêndice I, são mostrados os formulários de extração de dados relevantes para este trabalho, preenchidos individualmente por artigo.

A partir da compilação geral dos dados, foi possível quantificar informações importantes para a definição do estado da arte das arquiteturas de hardware utilizadas em HDsEMG para membros superiores.

Não houve foco em profundas análises de recursos computacionais de classificação de movimentos nessa revisão sistemática. No entanto, serão citados os métodos de classificação ao longo do trabalho para fins de contextualização. Os dados avaliados neste estudo foram focados nos equipamentos utilizados atualmente para a aquisição do sinal de sEMG, com o intuito de visualizar a atual tecnologia disponível nesta área de pesquisa.

A eletromiografia de alta densidade é realizada a partir da aquisição de um alto número de sinais de EMG, sendo assim, torna-se necessária a necessidade de equipamentos capazes de captar, amplificar e filtrar esses sinais para que seja viável a utilização deste método de forma prática e confiável. Juntamente aos amplificadores, também deve-se avaliar quais configurações de eletrodos apresentam resultados melhores na classificação de sinais EMG para verificar a viabilidade de possíveis avanços neste aspecto.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O HDsEMG é baseado na aquisição de um alto número de sinais sEMG sobre uma área específica do corpo. Os artigos incluídos neste estudo de revisão sistemática utilizam-se de variados métodos de classificação de movimento a partir dos mapas HDsEMG gerados pelos múltiplos sinais coletados. Esses sinais são medidos através de arranjos de eletrodos dispostos sobre a pele do paciente, passando por amplificadores antes de serem avaliados pela interface computacional utilizada.

Em 2010 já se estudava a aplicação de métodos de reconhecimento de padrão de ativação muscular através de HDsEMG em pacientes com amputação transradial (DALEY et al., 2010). Neste estudo, para a obtenção dos sinais sEMG dos 12 indivíduos avaliados, foi utilizado o amplificador EMG REFA-128 (TMS International, REFA, Oldenzaal, Países Baixos), um aparelho estacionário que apresenta 128 canais monopolares de sEMG com frequência de amostragem de 2kHz. No entanto, o estudo utilizou um máximo de 64 canais de sEMG posicionados ao longo do antebraço dos indivíduos saudáveis para compor o HDsEMG, formando uma matriz de 8 linhas por 8 colunas ao redor do antebraço. Nos pacientes amputados foram posicionados menor número de eletrodos. O estudo utiliza a acurácia como métrica de avaliação, atingindo valores médios de 66.39% nos indivíduos amputados e entre 75.41% e 91.88% em indivíduos saudáveis.

Posteriormente, seguem estudos em que são discutidas a dependência da amplitude do sinal EMG com relação a distância entre o eletrodo e a região de ativação muscular. No estudo são utilizadas 3 unidades de outro modelo de amplificador HDsEMG de 128 canais (EMG-USB- 128 canais, OT Bioelettronica, Turin, Itália), sendo utilizados de forma síncrona para gravar 350 canais de EMG simultâneos nas regiões do braço e antebraço, auxiliados pela utilização de circuito DRL que visa diminuir a interferência eletromagnética externa (ROJAS-MARTÍNEZ et al., 2012). Configuração muito similar é utilizada para avaliar identificação de ação e de força nas mesmas regiões, onde no estudo é apontado que a impedância entre a pele e os eletrodos varia ao longo do tempo devido à fatores como o secamento do gel condutor e suor do indivíduo (JORDANIC et al., 2016).

Arranjos e disposições da matriz de eletrodos também são investigados, e é publicado um estudo (CARRIOU et al., 2017) que tenta avaliar a variação da classificação de movimentos ao alterar parâmetros relacionados ao arranjo e



posição dos eletrodos entre aquisição bipolar, monopolar ou arranjos laplacianos. Observa-se que o desalinhamento da malha de eletrodos com a posição das fibras musculares de interesse apresenta maior influência negativa nos sinais HDsEMG adquiridos do que o aumento da distância lateral entre os eletrodos. (CARRIOU, et al., 2017).

Em estudos subsequentes, pode-se observar que apesar da variação dos modelos de amplificadores EMG utilizados, há a predominância dos dois fabricantes (OT Bioelettronica, Turin, Itália) e (TMS International, Oldenzaal, Países Baixos). Na Tabela 3 estão listados os modelos de amplificador utilizados em cada artigo estudado neste trabalho.

Tabela 3. Informações de Hardware

Artigo	Ano	Hardware EMG	Fabricante	Nº de Canais	Taxa de Amostragem (Hz)	Faixa de Frequência (Hz)
[6]	2020	EMG-USB2	OT Bioelettronica	64	2048	10-900
[8]	2020	EMG-USB	OT Bioelettronica	128	2048	10-750
[9]	2017	EMG-USB	OT Bioelettronica	128	2048	10-750
[10]	2016	REFA-EMG	TMS International	-	2000	20-500
[11]	2016	EMG-USB	OT Bioelettronica	128	2048	-
[13]	2022	EMG-USB	OT Bioelettronica	128	1000	30-380
[14]	2017	"Wearable"	Outro	32	1000	20-380
[15]	2019	EMG-USB2	OT Bioelettronica	128	2048	3-900
[16]	2021	"Wearable"	Outro	32	1000	-
[17]	2020	EMG-USB2+	OT Bioelettronica	192	10240	10-4400
[18]	2020	NI	-	32	1000	20-500
[19]	2019	Quattrocento	OT Bioelettronica	400	2048	10-900
[20]	2016	EMG-USB	OT Bioelettronica	128	2048	10-750
[21]	2012	EMG-USB	OT Bioelettronica	128	2048	10-750
[29]	2017	NI	Outro	-	-	-
[31]	2010	REFA-128	TMS International	128	2000	-

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A partir da Tabela 3 é possível observar que equipamentos da OT Bioelettronica se encontram em dez artigos incluídos nesta revisão (62,5%). Dois estudos (12,5%) apresentam amplificadores da TMS International [10] e [31]. Enquanto outros quatro estudos (25%) apresentam componentes de hardware de desenvolvimento próprio [14], [16], [18] e [29]. Os dispositivos “Wearable” evidenciados na Tabela 3 referem-se a uma configuração vestível, na qual o amplificador EMG encontra-se acoplado à malha de eletrodos e as leituras HDsEMG são enviadas à plataforma computacional sem a utilização de fios condutores e alimentados através de bateria [14], [16].

A quantidade de eletrodos utilizados varia conforme a região do membro superior estudada. Em estudos focados apenas em músculos do antebraço a quantidade de canais EMG utilizados varia entre 32 e 128, enquanto em estudos que abordam também regiões superiores do braço, como bíceps, tríceps e trapézio, torna-se necessária a utilização de mais matrizes de eletrodos e, conseqüentemente, maior número de canais variando de 192 a 354 canais (Tabela 5).

A utilização de gel condutor entre o eletrodo e a pele é mencionado em quatro artigos [9], [14], [19] e [21]. A distância entre eletrodos foi mencionada em 12 artigos [6], [8], [9], [11], [14], [15], [17], [18], [19], [20], [21] e [31], sendo a distância de 10 mm apontada em oito artigos, seguido de 8 mm em dois artigos, 2 cm em um artigo e distância de 7,5 mm na horizontal por 10,05 mm na vertical em também um artigo (Tabela 4).

Tabela 4. Configurações de eletrodos.

Artigo	Ano	Quantidade	Configuração	Modelo	Gel Condutor	Distância
[6]	2020	65/45	5x13;5x9	<i>ELSCH0064LS</i>	NI	8mm
[8]	2020	354	2(8x15) +6x19	NI	NI	10mm
[9]	2017	354	2(8x15) +6x19	NI	Sim	10mm
[10]	2016	89	NI	NI	NI	NI
[11]	2016	228	NI	NI	NI	10mm
[13]	2022	128	8x16	NI	NI	NI
[14]	2017	128	8(8x2)	NI	Sim	7,5mm;10.05mm
[15]	2019	128	2(13x5)	<i>ELSCH064R3S</i>	NI	8mm
[16]	2021	32	4x8	NI	Não	NI
[17]	2020	192	3(8x8)	<i>ELSCH064NM3</i>	NI	10mm
[18]	2020	128	4(4x8)	NI	NI	10mm

[19]	2019	128	2(8x8)	<i>ELSCH064NM3</i>	Sim	10mm
[20]	2016	240	2(6x12) +6x16	NI	NI	10mm
[21]	2012	354	2(8x15) +6x19	NI	Sim	10mm
[29]	2016	-	-	-	-	-
[31]	2010	64	8x8	NI	NI	2cm

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 5. Relação entre região e número de canais EMG.

Artigo	Ano	Quantidade	Local ou Músculo
[6]	2020	65/45	MT
[8]	2020	354	BIC, TRI, ANC, BCR, PT
[9]	2017	354	BIC, TRI, ANC, BCR, PT
[10]	2016	89	Braço e Antebraço
[11]	2016	228	BIC, TRI, PM, UPT
[13]	2022	128	Antebraço
[14]	2017	128	Antebraço
[15]	2019	128	ANC, BCR, PQ, FDP, FPL, FDS, FCU, PL, FCR, EI, EPL, EPB, APL, ECRL, ECRB, ECU, ED, EDM
[16]	2021	32	Antebraço
[17]	2020	192	BIC
[18]	2020	128	BIC, TRI, BR, BCR, EDC
[19]	2019	128	EDC, FDP
[20]	2016	240	BIC, TRI, AC, FC
[21]	2012	354	BIC, TRI, BCR, ANC, PT
[29]	2016	-	Antebraço
[31]	2010	64	Antebraço

Fonte: Elaboração do próprio autor.

## 4 CONCLUSÃO

Os estudos analisados no período de 2010 a 2022 mostram um padrão com relação aos amplificadores e configurações de matriz de eletrodos utilizados. Os fabricantes *OT Bioelettronica* e *TMS International* são escolhas da grande maioria dos autores dos artigos estudados. Nota-se a preferência no uso de amplificadores de 64 a 128 canais para aquisição dos mapas HDsEMG, com a utilização de mais de um amplificador sincronizado no caso da necessidade de obtenção de maior número de sinais EMG.

Grande parte dos estudos relata interferências externas na aquisição do sinal, como mudança indesejada na posição dos eletrodos, interferência eletromagnética da rede elétrica e movimentação dos condutores que conectam os eletrodos ao amplificador. No entanto, não é notada variação significativa na qualidade do mapa HDsEMG com relação a distância entre cada eletrodo posicionado na pele.

Mais recentemente começam a aparecer soluções que contribuem para atingir a viabilidade no uso cotidiano de próteses do membro superior utilizando HDsEMG (DU, Y et al., 2017; TAM, S et al., 2021), como a utilização do amplificador em forma de chip acoplado à matriz de eletrodos posicionada no membro do indivíduo, transmitindo os sinais de eletromiografia de forma sem fio.

De forma geral, os artigos selecionados não se aprofundavam nas configurações de hardware, sendo focados quase que exclusivamente em análises de classificação computacional de movimentos. Para estudos subsequentes sugere-se expandir a busca bibliográfica para mais regiões do corpo, maior número de bases de dados e alternativas de seleção de palavras-chave.

Apesar disso, nesta revisão sistemática fica evidente a possibilidade de estudos posteriores onde configurações de hardware cada vez mais compactas, aliadas à processos de filtragem digital, classificadores de alto desempenho e controladores articulados nos aproximariam da possibilidade de confecção de próteses viáveis para uso cotidiano com controle de gestos intuitivos e cada vez mais naturais.

## REFERÊNCIAS

- [1] VU, P. P. et al. The future of upper extremity rehabilitation robotics: research and practice. *Muscle & Nerve*, v. 61, n. 6, p. 708–718, 15 maio 2020.
- [2] GAFFNEY, B. M.; MALUF, K. S.; DAVIDSON, B. S. Evaluation of Novel EMG Biofeedback for Postural Correction During Computer Use. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, v. 41, n. 2, p. 181–189, 30 dez. 2015.
- [3] GSTOETTNER, C. et al. Feasibility of a Wireless Implantable Multi-electrode System for High-bandwidth Prosthetic Interfacing: Animal and Cadaver Study. *Clinical Orthopaedics & Related Research*, v. 480, n. 6, p. 1191–1204, 23 fev. 2022.
- [4] ZHAO, M. et al. Assessing Neurokinematic and Neuromuscular Connectivity During Walking Using Mobile Brain-Body Imaging. *Frontiers in Neuroscience*, v. 16, 3 jun. 2022.
- [5] HASSAN, A. S. et al. Estimates of persistent inward currents are reduced in upper limb motor units of older adults. *The Journal of Physiology*, v. 599, n. 21, p. 4865–4882, 30 set. 2021.
- [6] KISIEL-SAJEWICZ, K. et al. High-density surface electromyography maps after computer-aided training in individual with congenital transverse deficiency: a case study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, v. 21, n. 1, 15 out. 2020.
- [7] RADMAND, A.; SCHEME, E.; ENGLEHART, K. High-density force myography: A possible alternative for upper-limb prosthetic control. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, v. 53, n. 4, p. 443–456, 2016.
- [8] ROJAS-MARTÍNEZ, M. et al. High-density surface electromyography signals during isometric contractions of elbow muscles of healthy humans. *Scientific Data*, v. 7, n. 1, 16 nov. 2020.
- [9] JORDANIĆ, M. et al. A Novel Spatial Feature for the Identification of Motor Tasks Using High-Density Electromyography. *Sensors*, v. 17, n. 7, p. 1597, 8 jul. 2017.
- [10] WANG, D. et al. Wavelet Packet Feature Assessment for High-Density Myoelectric Pattern Recognition and Channel Selection toward Stroke Rehabilitation. *Frontiers in Neurology*, v. 7, 21 nov. 2016.
- [11] MARTÍNEZ, M. R. - et al. Identificación de Tareas Isométricas y Dinámicas del Miembro Superior Basada en EMG de Alta Densidad. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, v. 14, n. 4, p. 406–411, out. 2017.
- [12] KIM, E. H. et al. Differences in estimated persistent inward currents between ankle flexors and extensors in humans. *Journal of Neurophysiology*, v. 124, n. 2, p. 525–535, 1 ago. 2020.
- [13] JABER, H. A. et al. Incremental Adaptive Gesture Classifier for Upper Limb Prostheses. *IEEE Sensors Journal*, v. 22, n. 14, p. 14273–14283, 15 jul. 2022.

- [14] DU, Y. et al. Surface EMG-Based Inter-Session Gesture Recognition Enhanced by Deep Domain Adaptation. *Sensors*, v. 17, n. 3, p. 458, 24 fev. 2017.
- [15] ARANCETA-GARZA, A.; CONWAY, B. A. Differentiating Variations in Thumb Position From Recordings of the Surface Electromyogram in Adults Performing Static Grips, a Proof of Concept Study. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, v. 7, 22 maio 2019.
- [16] TAM, S. et al. Intuitive real-time control strategy for high-density myoelectric hand prosthesis using deep and transfer learning. *Scientific Reports*, v. 11, n. 1, 28 maio 2021.
- [17] MARTINEZ, I. J. R. et al. Grasp force estimation from the transient EMG using high-density surface recordings. *Journal of Neural Engineering*, v. 17, n. 1, p. 016052, 12 fev. 2020.
- [18] HU, R. et al. Upper Limb End-Effector Force Estimation During Multi-Muscle Isometric Contraction Tasks Using HD-sEMG and Deep Belief Network. *Frontiers in Neuroscience*, v. 14, 7 maio 2020.
- [19] OLSSON, A. E. et al. Extraction of Multi-Labelled Movement Information from the Raw HD-sEMG Image with Time-Domain Depth. *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, 10 maio 2019.
- [20] JORDANIC, M. et al. Spatial distribution of HD-EMG improves identification of task and force in patients with incomplete spinal cord injury. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, v. 13, n. 1, 29 abr. 2016.
- [21] ROJAS-MARTÍNEZ, M.; MAÑANAS, M. A.; ALONSO, J. F. High-density surface EMG maps from upper-arm and forearm muscles. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, v. 9, n. 1, p. 85, 2012.
- [22] ISLAM, MD. J. et al. Forearm Orientation and Muscle Force Invariant Feature Selection Method for Myoelectric Pattern Recognition. *IEEE Access*, v. 10, p. 46442–46471, 2022.
- [23] AHMADIZADEH, C.; POUSETT, B.; MENON, C. Investigation of Channel Selection for Gesture Classification for Prosthesis Control Using Force Myography: A Case Study. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, v. 7, 10 dez. 2019.
- [24] WANG, R. et al. Plasma Metabolomics Reveals  $\beta$ -Glucan Improves Muscle Strength and Exercise Capacity in Athletes. *Metabolites*, v. 12, n. 10, p. 988, 18 out. 2022.
- [25] THOMPSON, C. K. et al. Motor Unit Discharge Patterns in Response to Focal Tendon Vibration of the Lower Limb in Cats and Humans. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, v. 16, 26 abr. 2022.
- [26] PARK, S. Y.; PARK, C. H. Diagnosis of Muscle Fatigue Using Surface Electromyography and Analysis of Associated Factors in Type 2 Diabetic Patients

with Neuropathy: A Preliminary Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 18, n. 18, p. 9635, 13 set. 2021.

[27] CHUNG, J. W. et al. Beta-band oscillations in the supplementary motor cortex are modulated by levodopa and associated with functional activity in the basal ganglia. *NeuroImage: Clinical*, v. 19, p. 559–571, 1 jan. 2018.

[28] CHUNG, J. W. et al. Beta-band activity and connectivity in sensorimotor and parietal cortex are important for accurate motor performance. *NeuroImage*, v. 144, p. 164–173, jan. 2017.

[29] CARRIOU, V. et al. Sensitivity analysis of HD-sEMG amplitude descriptors relative to grid parameter variations of a cylindrical multilayered muscle model. *Biomedical Physics & Engineering Express*, v. 2, n. 6, p. 064001, 7 dez. 2016.

[30] OFORI, E.; COOMBES, S. A.; VAILLANCOURT, D. E. 3D Cortical electrophysiology of ballistic upper limb movement in humans. *NeuroImage*, v. 115, p. 30–41, jul. 2015.

[31] DALEY, H.; ENGLEHART, K.; KURUGANTI, U. Muscle Activation Patterns of the Forearm: High-Density Electromyography Data of Normally Limbed and Transradial Amputee Subjects. *JPO Journal of Prosthetics and Orthotics*, v. 22, n. 4, p. 244–251, out. 2010.

[32] TAM, S., BOUKADOUM, M., CAMPEAU-LECOURS, A. & Gosselin, B. A fully embedded adaptive real-time hand gesture classifier leveraging hd-semg and deep learning. *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.* 14, 232–243 (2020).

[33] Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 24, n. 2, p. 335–342, jun. 2015.

[34] BIONICENTER. Tipos de amputações: Causas e Níveis de Amputação. Bionicenter, 2020. Disponível em: <<https://bionicenter.com.br/tipos-de-amputacoes-causas-e-niveis-de-amputacao/>>. Acesso em 18 de agosto de 2021.

[35] MOURA, B.; KATCIPIS, L.; SOUZA, W. Eletromiografia. Laboratório de Biomecânica, do Centro de Desportos, da Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <[https://biomec.paginas.ufsc.br/?page\\_id=171](https://biomec.paginas.ufsc.br/?page_id=171)>. Acesso em 18 de agosto de 2021.

[36] MARCHETTI, P. H.; DUARTE, M. Instrumentação em Eletromiografia. Laboratório de Biofísica, Escola de Educação Física e Esporte, da Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, p. 29. 2006.

[37] DROST, G; STEGEMAN, D. F.; van ENGELLEN, B. G. M.; ZWARTS, M. J. Clinical Applications of high-density surface EMG: A systematic review. Department of Clinical Neurophysiology and Neuromuscular Centre Nijmegen, Radboud University Nijmegen Medical Centre. Holanda. p.60. 2006.

[38] LIBERATI, A. et al. 2009. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: Explanation and elaboration. *J. Clin. Epidemiol.* 62 (10), e1–e34.

[39] MILOSZ, B. R.; SOUZA, C. C.; KUHL, M. C. Mini curso: Iniciação à Pesquisa. Paraná-SP. 2017. Disponível em < <https://www3.unicentro.br/lmqqa/wp-content/uploads/sites/22/2017/11/Minicurso-LMQQA-2017-final.pdf>>. Acesso em 18 de agosto de 2021.

[40] MOHER, D. ET AL. 2009. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097

[41] Basmajian, J. V. e C. J. De Luca. *Muscles alive: their functions revealed by electromyography*: Williams & Wilkins. 1985

[42] MERLETTI, R.; CERONE, G. Tutorial. surface emg detection, conditioning and pre-processing: best practices. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, v. 54, p. 102440, 2020



## APÊNDICE – Formulários de Extração de Dados

### Formulário de Extração de Dados [6]

**Nome do Artigo:** *“High-density surface electromyography maps after computer-aided training in individual with congenital transverse deficiency: a case study.”*

**Autores:** Katarzyna Kisiel-Sajewicz, Jarosław Marusiak, Mónica Rojas-Martínez, Damian Janecki, Sławomir Chomiak, Łukasz Kamiński, Joanna Mencil, Miguel Ángel Mañanas, Artur Jaskólski & Anna Jaskólska

**Data de Publicação:** 15 de outubro de 2020

**Veículo de Publicação:** *BMC Musculoskeletal Disorders*

**Abstract:** *“The aim of this study was to determine whether computer-aided training (CAT) of motor tasks would increase muscle activity and change its spatial distribution in a patient with a bilateral upper-limb congenital transverse deficiency. We believe that our study makes a significant contribution to the literature because it demonstrates the usefulness of CAT in promoting the neuromuscular adaptation in people with congenital limb deficiencies and altered body image.”*

**Resumo:** Neste artigo é realizado um estudo de caso de um paciente com deficiência transversal congênita bilateral dos membros superiores, no qual é submetido a um treinamento de ação motora auxiliado por realidade virtual (CAT) por 12 semanas para observar o aumento de atividade muscular e distribuição espacial do sinal EMG no músculo estudado. Neste artigo o autor afirma que o treinamento contínuo de imaginar a ação a ser executada aumenta a distribuição espacial, além de observar um aumento na média de intensidade dos mapas de EMG e máxima força.

**Hipóteses avaliadas:** Determinar se o treinamento de ações motoras em conjunto com a interface computacional é capaz de aumentar a atividade muscular e a distribuição espacial de atividade EMG em um paciente já nascido sem os membros.

**Amplificador utilizado:** EMG-USB2 64-channel device (OT Bioelettronica, Torino, Italy) com frequência de 2048 Hz, 3-dB largura de banda de 10–900 Hz, e 2000 ganhos programáveis.

**Configuração da matriz de eletrodos:** Arranjo de 5x13 (OTbioLab ELSCHO064LS) no paciente de controle. Arranjo de 5x9 no paciente estudado. Distância de 8mm entre os eletrodos em ambos os casos.

### Formulário de Extração de Dados [8]

**Nome do Artigo:** *“High-density surface electromyography signals during isometric contractions of elbow muscles of healthy humans.”*

**Autores:** Mónica Rojas-Martínez, Leidy Yanet Serna, Mislav Jordanic, Hamid Reza Marateb, Roberto Merletti & Miguel Ángel Mañanas

**Data de Publicação:** 16 de novembro de 2020.

**Veículo de Publicação:** *Scientific Data*

**Abstract:** *“This paper presents a dataset of high-density surface EMG signals (HD-sEMG) designed to study patterns of sEMG spatial distribution over upper limb muscles during voluntary isometric contractions. Twelve healthy subjects performed four different isometric tasks at different effort levels associated with movements of the forearm. Three 2-D electrode arrays were used for recording the myoelectric activity from five upper limb muscles: biceps brachii, triceps brachii, anconeus, brachioradialis, and pronator teres. Technical validation comprised a signals quality assessment from outlier detection algorithms based on supervised and non-supervised classification methods. About 6% of the total number of signals were identified as “bad” channels demonstrating the high quality of the recordings. In addition, spatial and intensity features of HD-sEMG maps for identification of effort type and level, have been formulated in the framework of this database, demonstrating better performance than the traditional time-domain features. The presented database can be used for pattern recognition and MUAP identification among other uses.”*

**Resumo:** Os autores apresentam e descrevem uma base de dados de sinais HDsEMG contendo contrações isométricas de músculos do braço e antebraço. Os autores tiveram o objetivo de estudar a distribuição espacial do sinal EMG em músculos do membro superior durante variadas ações motoras. Neste estudo os autores sugerem que a base de dados apresentada pode ser utilizada para auxiliar no reconhecimento de ações isométricas do membro superior. É apontado, também, que com a utilização de recursos computacionais baseados em distribuição espacial e intensidade do sinal HDsEMG, foi possível obter melhores resultados de classificação do que métodos tradicionais utilizados anteriormente.

**Amplificador utilizado:** Três amplificadores EMG-USB-128 canais (OT Bioelettronica, Torino, Itália) com frequência de 2048Hz, 3dB largura de banda 10-750Hz, CMRR >90dB, e impedância de entrada >300MΩ a 50Hz.

**Configuração da matriz de eletrodos:** Foram utilizadas três matrizes de eletrodos para aquisição de sinal monopolar de HDsEMG. O espaçamento entre os eletrodos foi de 10mm.

**Comentários adicionais:** Sinais EMG com precisão de 95% e sensibilidade de 93%. Autor aponta que a falta de praticidade para examinar a impedância entre pele e eletrodo pode resultar em sinais de baixa qualidade. Também aponta que movimento do cabo e da pele são recorrentes mesmo em condições isométricas,

podendo prejudicar a coleta do sinal EMG. Autor cita utilização de circuito DRL para mitigar interferências na faixa de 50Hz.

### **Formulário de Extração de Dados [9]**

**Nome do Artigo:** “A Novel Spatial Feature for the Identification of Motor Tasks Using High-Density Electromyography.”

**Autores:** Mislav Jordanić, Mónica Rojas-Martínez, Miguel Angel Mañanas, Joan Francesc Alonso, Hamid Reza Marateb.

**Data de Publicação:** 8 de julho de 2017.

**Veículo de Publicação:** *Sensors*.

**Abstract:** “*Estimation of neuromuscular intention using electromyography (EMG) and pattern recognition is still an open problem. One of the reasons is that the pattern-recognition approach is greatly influenced by temporal changes in electromyograms caused by the variations in the conductivity of the skin and/or electrodes, or physiological changes such as muscle fatigue. This paper proposes novel features for task identification extracted from the high-density electromyographic signal (HD-EMG) by applying the mean shift channel selection algorithm evaluated using a simple and fast classifier-linear discriminant analysis. HD-EMG was recorded from eight subjects during four upper-limb isometric motor tasks (flexion/extension, supination/pronation of the forearm) at three different levels of effort. Task and effort level identification showed very high classification rates in all cases. This new feature performed remarkably well particularly in the identification at very low effort levels. This could be a step towards the natural control in everyday applications where a subject could use low levels of effort to achieve motor tasks. Furthermore, it ensures reliable identification even in the presence of myoelectric fatigue and showed robustness to temporal changes in EMG, which could make it suitable in long-term applications.*”

**Resumo:** O artigo relata a dificuldade em estimar a intenção motora utilizando sinais EMG e reconhecimento de padrões devido às influências nos sinais causadas pelas variações de condutividade da pele e eletrodos, bem como mudanças fisiológicas. O artigo relata boa performance de identificação de tarefas motoras com baixos níveis de esforço.

**Hipóteses avaliadas:** Novas formas de identificação de ações motoras utilizando HDsEMG.

**Amplificador utilizado:** Três amplificadores EMG-USB-128 canais (OT Bioelettronica, Torino, Itália) com frequência de 2048Hz, 3dB largura de banda 10-750Hz, CMRR >90dB, e impedância de entrada >300MΩ a 50Hz.

**Configuração da matriz de eletrodos:** Dois arranjos 8x15 e um de 6x17 a 19. Foi aplicado gel condutor.

### Formulário de Extração de Dados [10]

**Nome do Artigo:** *“Wavelet Packet Feature Assessment for High-Density Myoelectric Pattern Recognition and Channel Selection toward Stroke Rehabilitation.”*

**Autores:** Dongqing Wang, Xu Zhang, Xiaoping Gao, Xiang Chen, Ping Zhou.

**Data de Publicação:** 21 de novembro de 2016.

**Veículo de Publicação:** *Frontiers in Neurology.*

**Abstract:** *“This study presents wavelet packet feature assessment of neural control information in paretic upper limb muscles of stroke survivors for myoelectric pattern recognition, taking advantage of high-resolution time–frequency representations of surface electromyogram (EMG) signals. On this basis, a novel channel selection method was developed by combining the Fisher’s class separability index and the sequential feedforward selection analyses, in order to determine a small number of appropriate EMG channels from original high-density EMG electrode array. The advantages of the wavelet packet features and the channel selection analyses were further illustrated by comparing with previous conventional approaches, in terms of classification performance when identifying 20 functional arm/hand movements implemented by 12 stroke survivors. This study offers a practical approach including paretic EMG feature extraction and channel selection that enables active myoelectric control of multiple degrees of freedom with paretic muscles. All these efforts will facilitate upper limb dexterity restoration and improved stroke rehabilitation.”*

**Resumo:** Neste artigo é apresentado novo recurso para reconhecimento de padrão do sinal mioelétrico em músculos do membro superior em sobreviventes de derrames utilizando HDsEMG. O método é baseado na seleção do menor número necessário de canais EMG para classificação da ação motora em relação à matriz de eletrodos inicial.

**Hipóteses avaliadas:** Verificar se a utilização de um menor número de canais sEMG a partir do arranjo total de eletrodos garante eficiente informação sobre controle neural mioelétrico em pacientes paréticos.

**Amplificador utilizado:** Refa EMG (TMS International BV, Netherlands) com faixa de frequência de banda entre 20 e 500 Hz. Os múltiplos canais EMG foram adquiridos em uma frequência de amostragem de 2kHz por canal.

**Configuração da matriz de eletrodos:** Foram utilizados 89 eletrodos monopolares transformados em 46 eletrodos bipolares. Essa configuração é defendida pelo autor devido à sua maior relevância clínica e maior performance apresentada em classificações mioelétricas.

### Formulário de Extração de Dados [11]

**Nome do Artigo:** *“Identificación de Tareas Isométricas y Dinámicas del Miembro Superior Basada en EMG de Alta Densidad.”*

**Autores:** Mónica Rojas-Martínez, Joan F. Alonso, Mislav Jordanic, Sergio Romero, Miguel A. Mañanas.

**Data de Publicação:** 03 de outubro de 2016.

**Veículo de Publicação:** *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI.*

**Abstract:** *“La identificación de tareas y estimación del movimiento voluntario basados en electromiografía (EMG) constituyen un problema conocido que involucra diferentes áreas en sistemas expertos, particularmente la de reconocimiento de patrones, con muchas aplicaciones posibles en dispositivos de asistencia y rehabilitación. La información que proporciona puede resultar útil para el control de exoesqueletos o brazos robóticos utilizados en terapias activas. La tecnología emergente de electromiografía de alta densidad (HD-EMG) abre nuevas posibilidades para extraer información neural y ya ha sido reportado que la distribución espacial de mapas de intensidad HD-EMG es una característica valiosa en la identificación de tareas isométricas (contracciones que no producen cambio en la longitud del músculo). Este estudio explora la utilización de la distribución espacial de la actividad mioeléctrica y lleva a cabo identificación de tareas durante ejercicios dinámicos a diferentes velocidades que son mucho más cercanos a los que se utilizan habitualmente en las terapias de rehabilitación. Con este objetivo, se registraron señales HD-EMG en un grupo de sujetos sanos durante la realización de un conjunto de tareas isométricas y dinámicas del miembro superior. Los resultados indican que la distribución espacial es una característica muy útil en la identificación, no solo de contracciones isométricas sino también de contracciones dinámicas, mejorando la eficiencia y naturalidad del control de dispositivos de rehabilitación para que se adapte mejor al usuario.”*

**Resumo:** O artigo apresenta métodos de identificação de tarefas isométricas e dinâmicas referentes ao membro superior utilizando sinais de HDsEMG. A conclusão do estudo aponta que a avaliação da intensidade do sinal em escala logarítmica levando em conta o centro de gravidade dos mapas de ativação muscular apresenta melhores resultados de classificação.

**Hipóteses avaliadas:** Verificar se a utilização de um menor número de canais sEMG a partir do arranjo total de eletrodos garante eficiente informação sobre controle neural mioelétrico em pacientes paréticos.

**Amplificador utilizado:** Dois amplificadores EMG de 128 canais (EMG-USB, OT-Bioelettronica, Turín, Italia) com taxa de amostragem de 2048 Hz.

**Configuração da matriz de eletrodos:** Foram utilizados um total de 228 canais de EMG. Foram utilizadas 4 matrizes de eletrodos banhados em prata com distância de 10mm entre eles.

### Formulário de Extração de Dados [13]

**Nome do Artigo:** *“Incremental Adaptive Gesture Classifier for Upper Limb Prostheses.”*

**Autores:** Hanadi A. Jaber, Mofeed T. Rashid, Hisham Mahmood, Luigi Fortuna

**Data de Publicação:** 07 de junho de 2022.

**Veículo de Publicação:** *IEEE Sensors Journal.*

**Abstract:** *“Myoelectric pattern recognition is widely used to control upper limb prostheses. However, the non-stationary characteristics of electromyography (EMG) signals, caused by physiological changes (e.g. muscle fatigue) or non-physiological changes (e.g. the electrode- skin impedance), hinder the use of prostheses and deteriorate the performance of the myoelectric control system. In this paper, a set of robust features is proposed to be integrated with adaptive learning techniques in order to improve the myoelectric performance. Four types of features are proposed, namely the H, HI, AI, and AIH features. The H features correspond to the histogram-oriented gradient (HOG) algorithm of the High-Density surface Electromyography map (HD-sEMG map). On the other hand, the HI features are generated by combining the H features and the intensity feature that is evaluated from the HD-sEMG map. AI is the intensity features calculated from the segmented HD-sEMG maps constructed in the individual channel. Finally, AIH features are obtained by combining the H features and AI features. Offline and online adaptive tests are conducted to evaluate the proposed features. The results show that employing the proposed AI features with an adaptive classifier improves the classification accuracy from 91.58% to 97.2% in online classification setups. Results also show that the AI features are more robust against noise than TD features. The average classification accuracy is reduced by 0.7% when additive White Gaussian noise is applied, in comparison to 5.8% reduction in accuracy when TD features is used. The results confirm the robustness of the proposed features extracted from the HD-sEMG map.”*

**Resumo:** O trabalho aborda novos métodos de classificação em tempo real utilizando recursos espaciais em conjunto com os dados HDsEMG.

**Hipóteses avaliadas:** -

**Amplificador utilizado:** Amplificador EMG de 128 canais (EMG-USB, OT-Bioelettronica, Turín, Italia) filtro de banda de passagem 20–380 Hz, com taxa de amostragem de 1kHz.

**Configuração da matriz de eletrodos:** Arranjo de 8x16.

### Formulário de Extração de Dados [14]

**Nome do Artigo:** *“Surface EMG-Based Inter-Session Gesture Recognition Enhanced by Deep Domain Adaptation.”*

**Autores:** Yu Du, Wenguang Jin, Wentao Wei, Yu Hu, Weidong Geng.

**Data de Publicação:** 24 de fevereiro de 2017.

**Veículo de Publicação:** *Sensors*.

**Abstract:** *“High-density surface electromyography (HD-sEMG) is to record muscles’ electrical activity from a restricted area of the skin by using two dimensional arrays of closely spaced electrodes. This technique allows the analysis and modelling of sEMG signals in both the temporal and spatial domains, leading to new possibilities for studying next-generation muscle-computer interfaces (MCIs). sEMG-based gesture recognition has usually been investigated in an intra-session scenario, and the absence of a standard benchmark database limits the use of HD-sEMG in real-world MCI. To address these problems, we present a benchmark database of HD-sEMG recordings of hand gestures performed by 23 participants, based on an 8 × 16 electrode array, and propose a deep-learning-based domain adaptation framework to enhance sEMG-based inter-session gesture recognition. Experiments on NinaPro, CSL-HDEMG and our CapgMyo dataset validate that our approach outperforms state-of-the-arts methods on intra-session and effectively improved inter-session gesture recognition.”*

**Resumo:** O estudo avalia os resultados de classificação de gestos motores utilizando-se de uma ferramenta deep-learning. O artigo aponta que este método supera o estado da arte no quesito de reconhecimento de gestos utilizando bases de dados previamente adquiridas de 23 participantes, não necessariamente aplicadas ao mesmo paciente.

**Hipóteses avaliadas:** Utilização de método deep-learning para melhor reconhecimento de padrões mioelétricos em sessões diferentes de aquisição do sinal.

**Amplificador utilizado:** Foram utilizados 8 módulos de aquisição vestíveis. Os sinais sEMG foram filtrados na faixa de 20-380Hz com taxa de amostragem de 1kHz. Os sinais são encapsulados em um controlador ARM e enviados para o computador via WIFI. O dispositivo é alimentado por uma bateria de lítio recarregável.

**Configuração da matriz de eletrodos:** Cada modulo de aquisição conta com uma matriz de eletrodos de 8x2. Cada eletrodo possui diâmetro de 3mm, distanciados de 7.5mm horizontalmente e 10.05mm verticalmente. Todos os eletrodos foram dispostos com o uso de gel condutor.

### **Formulário de Extração de Dados [15]**

**Nome do Artigo:** *“Differentiating Variations in Thumb Position From Recordings of the Surface Electromyogram in Adults Performing Static Grips, a Proof of Concept Study.”*

**Autores:** Alejandra Aranceta-Garza, Bernard Arthur Conway

**Data de Publicação:** 22 de maio de 2019.

**Veículo de Publicação:** *Sensors*.

**Abstract:** *“Hand gesture and grip formations are produced by the muscle synergies arising between extrinsic and intrinsic hand muscles and many functional hand movements involve repositioning of the thumb relative to other digits. In this study we explored whether changes in thumb posture in able-body volunteers can be identified and classified from the modulation of forearm muscle surface-electromyography (sEMG) alone without reference to activity from the intrinsic musculature. In this proof-of-concept study, our goal was to determine if there is scope to develop prosthetic hand control systems that may incorporate myoelectric thumb-position control. Healthy volunteers performed a controlled-isometric grip task with their thumb held in four different opposing-postures. Grip force during task performance was maintained at 30% maximal-voluntary-force and sEMG signals from the forearm were recorded using 2D high-density sEMG (HD-sEMG arrays). Correlations between sEMG amplitude and root-mean squared estimates with variation in thumb-position were investigated using principal-component analysis and self-organizing feature maps. Results demonstrate that forearm muscle sEMG patterns possess classifiable parameters that correlate with variations in static thumb position (accuracy of  $88.25 \pm 0.5\%$  anterior;  $91.25 \pm 2.5\%$  posterior musculature of the forearm sites). Of importance, this suggests that in transradial amputees, despite the loss of access to the intrinsic muscles that control thumb action, an acceptable level of control over a thumb component within myoelectric devices may be achievable. Accordingly, further work exploring the potential to provide myoelectric control over the thumb within a prosthetic hand is warranted.”*

**Resumo:** O estudo avalia a relação de estimativas sEMG com a variação da posição do polegar. O estudo aponta que os padrões sEMG do antebraço possui parâmetros que se relacionam com a posição do polegar. O artigo também sugere que pacientes amputados que perderam o acesso aos músculos que controlam a ação do polegar podem atingir um nível de controle utilizando essas variáveis futuramente.

**Hipóteses avaliadas:** Determinar a possibilidade de se desenvolver sistemas de controle de próteses que incorporem sinais mioelétricos de controle da posição do polegar.

**Amplificador utilizado:** Foi utilizado um amplificador de 128 canais (EMG-USB2, OT-Bioelettronica, Itália). Os sinais foram obtidos com uma taxa de amostragem de 2048 Hz, com ganho fixo de 1000 V/V e filtrado para a faixa de 3-900 Hz. Também foi aplicado um filtro “zero-phase notch” para remover interferências de 50 Hz e seus harmônicos.

**Configuração da matriz de eletrodos:** Foram utilizadas duas matrizes de eletrodos simultaneamente com configuração 13x5 com 8mm de distância entre os eletrodos.



(ELSCH064R3S, OT-Bioelettronica, Italia). Os eletrodos foram posicionados utilizando blocos adesivos especializados (KITAD064, OT-Bioelettronica, Italy)

### **Formulário de Extração de Dados [16]**

**Nome do Artigo:** *“Intuitive real-time control strategy for high-density myoelectric hand prosthesis using deep and transfer learning. Scientific Reports”*

**Autores:** Simon Tam, Mounir Boukadoum, Alexandre Campeau-Lecours, Benoit Gosselin

**Data de Publicação:** 28 de maio de 2021.

**Veículo de Publicação:** *Scientific Reports.*

**Abstract:** *“Myoelectric hand prostheses offer a way for upper-limb amputees to recover gesture and prehensile abilities to ease rehabilitation and daily life activities. However, studies with prosthesis users found that a lack of intuitiveness and ease-of-use in the human-machine control interface are among the main driving factors in the low user acceptance of these devices. This paper proposes a highly intuitive, responsive and reliable real-time myoelectric hand prosthesis control strategy with an emphasis on the demonstration and report of real-time evaluation metrics. The presented solution leverages surface high-density electromyography (HD-EMG) and a convolutional neural network (CNN) to adapt itself to each unique user and his/her specific voluntary muscle contraction patterns. Furthermore, a transfer learning approach is presented to drastically reduce the training time and allow for easy installation and calibration processes. The CNN-based gesture recognition system was evaluated in real-time with a group of 12 able-bodied users. A real-time test for 6 classes/grip modes resulted in mean and median positive predictive values (PPV) of 93.43% and 100%, respectively. Each gesture state is instantly accessible from any other state, with no mode switching required for increased responsiveness and natural seamless control. The system is able to output a correct prediction within less than 116 ms latency. 100% PPV has been attained in many trials and is realistically achievable consistently with user practice and/or employing a thresholded majority vote inference. Using transfer learning, these results are achievable after a sensor installation, data recording and network training/fine-tuning routine taking less than 10 min to complete, a reduction of 89.4% in the setup time of the traditional, non-transfer learning approach.”*

**Resumo:** Utilização de HDsEMG em conjunto com uma CNN para melhorar a identificação de padrões específicos de contração de músculo de cada usuário. Baseados na métrica de valores preditivos positivos médios e medianos (PPV), o estudo apresentou resultados que variam de 93.43% a 100%, com tempos estimados de previsão em torno de 116 ms. O artigo aponta avanço quanto ao tempo necessário de treinamento para atingir graus satisfatórios de previsão de movimento.

**Hipóteses avaliadas:** Apresentar novo método de classificação de tarefas motoras em próteses do membro superior.

**Amplificador utilizado:** Dispositivo vestível composto de um arranjo de 32 eletrodos, uma unidade computacional embutida e uma bateria. Taxa de amostragem de 1kHz.

**Configuração da matriz de eletrodos:** 4x8.

### Formulário de Extração de Dados [17]

**Nome do Artigo:** “Grasp force estimation from the transient EMG using high-density surface recordings”

**Autores:** Itzel Jared Rodriguez Martinez, Andrea Mannini, Francesco Clemente<sup>1,2</sup>, Angelo Maria Sabatini, Christian Cipriani.

**Data de Publicação:** 12 de fevereiro de 2020.

**Veículo de Publicação:** *Journal of Neural Engineering*.

**Abstract:** “Objective. Understanding the neurophysiological signals underlying voluntary motor control and decoding them for prosthesis control are among the major challenges in applied neuroscience and bioengineering. Usually, information from the electrical activity of residual forearm muscles (i.e. the electromyogram, EMG) is used to control different functions of a prosthesis. Noteworthy, forearm EMG patterns at the onset of a contraction (transient phase) have shown to contain predictive information about upcoming grasps. However, decoding this information for the estimation of grasp force (GF) was so far overlooked. Approach. High density-EMG signals (192 channels) were recorded from twelve participants performing a pick-and-lift task. The final GF was estimated offline using linear regressors, with four subsets of channels and ten features obtained using three channels-features selection methods. Two different evaluation metrics (absolute error and R<sup>2</sup>), complemented with statistical analysis, were used to select the optimal configuration of the parameters. Different windows of data starting at the GF onset were compared to determine the time at which the GF can be ascertained from the EMG signals. Main results. The prediction accuracy improved by increasing the window length from the moment of the onset and kept improving until the steady state at which a plateau of performances was reached. With our methodology, estimations of the GF through 16 EMG channels reached an absolute error of 2.52% the maximum voluntary force using only transient information and 1.99% with the first 500 ms of data following the onset. Significance. The final GF estimation from transient EMG was comparable to the one obtained using steady state data, confirming our hypothesis that the transient phase contains information about the final GF. This result paves the way to fast online myoelectric controllers capable of decoding grasp strength from the very early portion of the EMG signal.”.

**Resumo:** O artigo avalia a estimação de força a partir de sinais de HDsEMG. Sinais foram convertidos em sinais bipolares em uma configuração 7x8. Os sinais HDsEMG

foram utilizados para adquirir a maior quantidade possíveis de sinais, no entanto, os autores sugerem métodos de redução da configuração para diminuir a complexidade do processo.

**Hipóteses avaliadas:** Apresentar método de detecção de força de aperto em um objeto a partir da análise de sinais EMG transitórios.

**Amplificador utilizado:** Amplificador de 192 canais EMG-USB2+, (OT Bioelettronica, Turin, Italia). Taxa de amostragem de 10240 Hz, filtro de banda de passagem 10 - 4.4 kHz.

**Configuração da matriz de eletrodos:** Três matrizes de 64 eletrodos dispostos em configuração 8x8 distanciados em 10mm.

### Formulário de Extração de Dados [18]

**Nome do Artigo:** *“Upper Limb End-Effector Force Estimation During Multi-Muscle Isometric Contraction Tasks Using HD-sEMG and Deep Belief Network”*

**Autores:** Ruochen Hu, Xiang Chen\*, Shuai Cao, Xu Zhang, Xun Chen

**Data de Publicação:** 7 de maio de 2020.

**Veículo de Publicação:** *Frontiers in Neuroscience.*

**Abstract:** *“In this study, research was carried out on the end-effector force estimation of two representative multi-muscle contraction tasks: elbow flexion and palm-pressing. The aim was to ascertain whether an individual muscle or a combination of muscles is more suitable for the end-effector force estimation. High-density surface electromyography (HD-sEMG) signals were collected from four primary muscle areas of the upper arm and forearm: the biceps brachii (BB), brachialis (BR), triceps brachii (TB), brachioradialis (BRD), and extensor digitorum communis (EDC). The wrist pulling and palm-pressing forces were measured in elbow flexion and palm-pressing tasks, respectively. The deep belief network (DBN) was adopted to establish the relation between HD-sEMG and the measured force. The representative signals of the four primary areas, which were considered as the input signal of the force estimation model, were extracted by HD-sEMG using the principle component analysis (PCA) algorithm, and fed separately or together into the DBN. An index termed mean impact value (MIV) was proposed to describe the priority of different muscle groups for estimating the end-effector force. The experimental results demonstrated that, in multi-muscle isometric contraction tasks, the dominant muscles with the highest activation degree could track variations in the end-effector force more effectively, and are more suitable than a combination of muscles. The main contributions of this research are as follows: (1) To fuse the activation information from different muscles effectively, DBN was adopted to establish the relationship between HD-sEMG and the generated force, and achieved highly accurate force estimation. (2) Based on the well-trained DBN force estimation model, an index termed MIV was presented to evaluate the priority of muscles for estimating the generated force.”*

**Resumo:** O estudo avalia a utilização de HDsEMG para estimativa da força de ativação muscular. Foram executadas ações isométricas, com matrizes de eletrodos cobrindo a região do antebraço e braço. O estudo visa unir as informações de ativação muscular de diferentes músculos utilizando DBN (Deep Belief Network) para estabelecer a relação entre o HDsEMG e a força gerada, atingindo elevados graus de acurácia na estimação da força.

**Hipóteses avaliadas:** Verificar se a estimação de força pode ser realizada a partir de sinais combinados de músculos diferentes.

**Amplificador utilizado:** Modelo não informado. Sinais filtrados entre 20-500 Hz. O sEMG foi obtido com a taxa de 1 kHz e foi utilizado um conversor analógico-digital de 16 bits.

**Configuração da matriz de eletrodos:** Quatro matrizes contendo 32 eletrodos cada dispostos em 4x8, com 3mm de diâmetro e distância de 10mm entre eles.

### **Formulário de Extração de Dados [19]**

**Nome do Artigo:** *“Extraction of Multi-Labelled Movement Information from the Raw HD-sEMG Image with Time-Domain Depth”*

**Autores:** Alexander E. Olsson, Paulina Sager, Elin Andersson, Anders Björkman, Nebojša Malešević & Christian Antfolk

**Data de Publicação:** 10 de maio de 2019.

**Veículo de Publicação:** *Scientific Reports.*

**Abstract:** *“In contemporary muscle-computer interfaces for upper limb prosthetics there is often a trade-off between control robustness and range of executable movements. As a very low movement error rate is necessary in practical applications, this often results in a quite severe limitation of controllability; a problem growing ever more salient as the mechanical sophistication of multifunctional myoelectric prostheses continues to improve. A possible remedy for this could come from the use of multi-label machine learning methods, where complex movements can be expressed as the superposition of several simpler movements. Here, we investigate this claim by applying a multi-labeled classification scheme in the form of a deep convolutional neural network (CNN) to high density surface electromyography (HD-sEMG) recordings. We use 16 independent labels to model the movements of the hand and forearm state, representing its major degrees of freedom. By training the neural network on 16 × 8 sEMG image sequences 24 samples long with a sampling rate of 2048 Hz to detect these labels, we achieved a mean exact match rate of 78.7% and a mean Hamming loss of 2.9% across 14 healthy test subjects. With this, we demonstrate the feasibility of highly versatile and responsive sEMG control interfaces without loss of accuracy.”*

**Resumo:** O artigo parte da dificuldade no aumento de possibilidades de classificação de movimentos dos métodos tradicionais, apontando a limitação da versatilidade dos classificadores com relação à precisão de identificação do movimento. O estudo utiliza HDsEMG para sugerir novo método de classificação utilizando CNN. O método consiste em separar movimentos complexos em pequenas tarefas para que o classificador avalie o movimento de forma mais natural sem perder a precisão. Para o grupo de movimentos abordado, foi possível atingir 78.7% de taxa de correspondência média e uma perda média de Hamming de 2.9%.

**Hipóteses avaliadas:** Utilizar inteligência artificial para classificar movimentos mais complexos dividindo-os em movimentos mais simples.

**Amplificador utilizado:** Quattrocento (OT Bioelettronica, Turin, Itália) com esquema de medidas bipolares, frequência de amostragem de 2048 Hz e filtro analógico de banda de passagem a 10-900 Hz.

**Configuração da matriz de eletrodos:** Dois arranjos 8x8 com distância de 10mm entre eletrodos (ELSCH064NM3, OT Bioelettronica, Turin, Italia). Utiliza-se de gel condutor.

### **Formulário de Extração de Dados [20]**

**Nome do Artigo:** *“Spatial distribution of HD-EMG improves identification of task and force in patients with incomplete spinal cord injury”*

**Autores:** Mislav Jordanic, Mónica Rojas-Martínez, Miguel Angel Mañanas, Joan Francesc Alonso

**Data de Publicação:** 29 de abril de 2016.

**Veículo de Publicação:** *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*

**Abstract:** *“Recent studies show that spatial distribution of High Density surface EMG maps (HD-EMG) improves the identification of tasks and their corresponding contraction levels. However, in patients with incomplete spinal cord injury (iSCI), some nerves that control muscles are damaged, leaving some muscle parts without an innervation. Therefore, HD-EMG maps in patients with iSCI are affected by the injury and they can be different for every patient. The objective of this study is to investigate the spatial distribution of intensity in HD-EMG recordings to distinguish co-activation patterns for different tasks and effort levels in patients with iSCI. These patterns are evaluated to be used for extraction of motion intention.”*

**Resumo:** O estudo utiliza classificador LDA para determinar a existência de padrões de intensidade e distribuição espacial em indivíduos com lesão na medula espinal, analisando movimentos isométricos com 3 matrizes de eletrodos

posicionadas no braço e antebraço, conectadas a dois amplificadores sincronizados. O artigo conclui a evidência de certos padrões de ativação muscular nos indivíduos, com acurácia de 98.8%.

**Hipóteses avaliadas:** Verificar a existência de co-padrões de intensidade e distribuição espacial de HDsEMG em indivíduos com lesão na medula espinal.

**Amplificador utilizado:** Dois amplificadores EMG-USB de 128 canais, taxa de amostragem de 2048 Hz, faixa de frequência 10-750 Hz. (LISiN-OT Bioelettronica, Turin, Itália).

**Configuração da matriz de eletrodos:** Duas matrizes de 6x12 e uma de 6x16. Localizadas nas regiões do antebraço e braço.

### **Formulário de Extração de Dados [21]**

**Nome do Artigo:** “*High-density surface EMG maps from upper-arm and forearm muscles*”

**Autores:** Monica Rojas-Martínez, Miguel A Mañanas, Joan F Alonso

**Data de Publicação:** 10 de dezembro de 2012

**Veículo de Publicação:** *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*

**Abstract:** “*An experimental protocol consisting of isometric contractions at three levels of effort during flexion, extension, supination and pronation at the elbow joint was designed and HD-EMG signals were recorded with 2D electrode arrays on different upper-limb muscles. Techniques for the identification and interpolation of artifacts are explained, as well as a method for the segmentation of the activation areas. In addition, variables related to the intensity and spatial distribution of the maps were obtained, as well as variables associated to signal power of traditional single bipolar recordings. Finally, statistical tests were applied in order to assess differences between information extracted from single bipolar signals or from HD-EMG maps and to analyze differences due to type of task and effort level. Significant differences were observed between EMG signal power obtained from single bipolar configuration and HD-EMG and better results regarding the identification of tasks and effort levels were obtained with the latter. Additionally, average maps for a population of 12 subjects were obtained and differences in the co-activation pattern of muscles were found not only from variables related to the intensity of the maps but also to their spatial distribution. Intensity and spatial distribution of HD-EMG maps could be useful in applications where the identification of movement intention and its strength is needed, for example in robotic-aided therapies or for devices like powered-prostheses or orthoses. Finally, additional data transformations or other features are necessary in order to improve the performance of tasks identification.*”

**Resumo:** Foram executadas ações isométricas em três níveis diferentes de esforço a fim de avaliar as diferenças entre a classificação do movimento utilizando uma configuração bipolar de dois eletrodos ou mapa HDsEMG. O estudo conclui que os

mapas HDsEMG apresentam bons resultados quanto à identificação e força do movimento a ser avaliado, indicando que o método HDsEMG é promissor para o uso em próteses do membro superior.

**Hipóteses avaliadas:** Comparação entre padrões de ativação muscular obtidos através de eletrodos bipolares com mapas de ativação HDsEMG.

**Amplificador utilizado:** Três amplificadores EMG-USB de 128 canais, taxa de amostragem de 2048 Hz, faixa de frequência 10-750 Hz (LISiN-OT Bioelettronica, Turin, Itália).

**Configuração da matriz de eletrodos:** Configuração de 2(8x15) + 6x19. Mesma configuração utilizada no estudo [9].

### Formulário de Extração de Dados [29]

**Nome do Artigo:** “*Sensitivity analysis of HD-sEMG amplitude descriptors relative to grid parameter variations of a cylindrical multilayered muscle model*”

**Autores:** Vincent Carriou, Jeremy Laforet, Sofiane Boudaoud, Mariam Al Harrach

**Data de Publicação:** 7 de dezembro de 2016

**Veículo de Publicação:** *Biomedical Physics & Engineering Express*

**Abstract:** “*The aim of this work is to perform a sensitivity analysis of a high density surface electromyogram (HD-sEMG) amplitude descriptors according to several grid parameters. This study is motivated by the fact that the electrode grid position and layout are crucial to record relevant electromyographic data. For this purpose, an analytical limb model is used, where the upper limb is modeled as a multilayered cylinder with three layers: muscle, fat tissue and skin tissue. Using this model, HD-sEMG signals are computed over the skin as a 2D surface along angular and longitudinal directions. Electrode recording is performed through a surface integration on the 2D surface according to the electrode shape. 16 simulations on 10 anatomies (350 Motor Units) with the same parameters were computed for 3 constant contraction levels: 30%, 50% and 70% of the maximal voluntary contraction. Then, a global sensitivity analysis using the elementary effect method is performed to explore the sensitivity of amplitude descriptors (average rectified value, root mean square value and high order statistics) relative to varying parameters from the electrode grid (inter-electrode distances, electrodes radius, position and rotation). From those grid definitions, monopolar, bipolar and laplacian signals are also computed to see the electrode arrangement sensitivity. The obtained results exposed a huge impact of the grid rotation on the studied criteria. They also showed that parameters specific to the electrode grid layout (inter-electrode distances) have the less impact. Moreover, they exhibited the laplacian arrangement as the most sensitive electrode arrangement to grid modifications.*”

**Resumo:** O artigo observa como a posição e configuração dos eletrodos pode influenciar nos dados coletados para a classificação do movimento. No estudo foi

utilizado um modelo em que o membro superior é tratado como um cilindro de composto de três camadas: musculo, camada de gordura e pele. Foram realizadas simulações para avaliar o impacto, e os resultados obtidos mostram que a distância entre eletrodos tem pouco impacto na aquisição dos sinais, no entanto, quando utilizado um arranjo laplaciano, a posição dos eletrodos desempenha um papel maior com relação aos dados coletados.

**Hipóteses avaliadas:** Avaliar o impacto do posicionamento e disposição dos eletrodos nos dados HDsEMG obtidos através de simulações.

**Amplificador utilizado:** Nenhum.

**Configuração da matriz de eletrodos:** Bipolar, monopolar e laplaciana.

### Formulário de Extração de Dados [29]

**Nome do Artigo:** “*Sensitivity analysis of HD-sEMG amplitude descriptors relative to grid parameter variations of a cylindrical multilayered muscle model*”

**Autores:** Vincent Carriou, Jeremy Laforet, Sofiane Boudaoud, Mariam Al Harrach

**Data de Publicação:** 7 de dezembro de 2016

**Veículo de Publicação:** *Biomedical Physics & Engineering Express*

**Abstract:** “*The aim of this work is to perform a sensitivity analysis of a high density surface electromyogram (HD-sEMG) amplitude descriptors according to several grid parameters. This study is motivated by the fact that the electrode grid position and layout are crucial to record relevant electromyographic data. For this purpose, an analytical limb model is used, where the upper limb is modeled as a multilayered cylinder with three layers: muscle, fat tissue and skin tissue. Using this model, HD-sEMG signals are computed over the skin as a 2D surface along angular and longitudinal directions. Electrode recording is performed through a surface integration on the 2D surface according to the electrode shape. 16 simulations on 10 anatomies (350 Motor Units) with the same parameters were computed for 3 constant contraction levels: 30%, 50% and 70% of the maximal voluntary contraction. Then, a global sensitivity analysis using the elementary effect method is performed to explore the sensitivity of amplitude descriptors (average rectified value, root mean square value and high order statistics) relative to varying parameters from the electrode grid (inter-electrode distances, electrodes radius, position and rotation). From those grid definitions, monopolar, bipolar and laplacian signals are also computed to see the electrode arrangement sensitivity. The obtained results exposed a huge impact of the grid rotation on the studied criteria. They also showed that parameters specific to the electrode grid layout (inter-electrode distances) have the less impact. Moreover, they exhibited the laplacian arrangement as the most sensitive electrode arrangement to grid modifications.*”

**Resumo:** O artigo observa como a posição e configuração dos eletrodos pode influenciar nos dados coletados para a classificação do movimento. No estudo foi



utilizado um modelo em que o membro superior é tratado como um cilindro de composto de três camadas: musculo, camada de gordura e pele. Foram realizadas simulações para avaliar o impacto, e os resultados obtidos mostram que a distância entre eletrodos tem pouco impacto na aquisição dos sinais, no entanto, quando utilizado um arranjo laplaciano, a posição dos eletrodos desempenha um papel maior com relação aos dados coletados.

**Hipóteses avaliadas:** Avaliar o impacto do posicionamento e disposição dos eletrodos nos dados HDsEMG obtidos através de simulações.

**Amplificador utilizado:** Nenhum.

**Configuração da matriz de eletrodos:** Bipolar, monopolar e laplaciana.

### Formulário de Extração de Dados [31]

**Nome do Artigo:** “Muscle Activation Patterns of the Forearm: High-Density Electromyography Data of Normally Limbed and Transradial Amputee Subjects”

**Autores:** Heather Daley; Kevin Englehart; Usha Kuruganti.

**Data de Publicação:** Outubro de 2010

**Veículo de Publicação:** *Journal of Prosthetics and Orthotics*

**Abstract:** “[...] Several studies have shown that normally limbed subjects are capable of producing distinguishable muscle activation patterns for different movements. These activation patterns are repeatable across a number of trials and are essential for multifunction pattern recognition–based myoelectric control. The purpose of this study was to look for distinct and repeatable muscle activation patterns (required for pattern recognition myoelectric control) using both normally limbed and amputee subjects. A HD sEMG system was used to investigate muscle activation patterns during wrist and hand motions. It was hypothesized that muscle activation patterns generated from amputee data will differ from the standardized profiles of normally limbed subjects. However, it was also hypothesized that amputee subjects will be able to elicit distinct and repeatable patterns for at least a subset of the different movements.”

**Resumo:** O artigo aponta a falta de estudos utilizando HDsEMG para identificação de movimentos em indivíduos amputados. Os resultados mostram que, mesmo que diferente de indivíduos saudáveis, pacientes com o membro amputado são capazes de produzir padrões distintos para diferentes movimentos.

**Hipóteses avaliadas:** Verificar a existência de padrões de ativação muscular em indivíduos com algum grau de amputação.

**Amplificador utilizado:** Foi utilizado um amplificador EMG REFA 128 (TMS International, REFA, Oldenzaal, Países Baixos). A comunicação entre o amplificador

e a interface computacional é feita através de um cordão de fibra óptica. Os cabos utilizados para os eletrodos são isolados para evitar interferência externa ou da própria movimentação dos cabos.

**Configuração da matriz de eletrodos:** Foram utilizados 64 eletrodos dispostos em um arranjo de 8x8 ao redor do antebraço com distância de 2 cm entre os eletrodos.