

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

ALANA ZAINÉ VIEIRA DO NASCIMENTO

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM ELETROMIÓGRAFO PARA
MONITORAR SINAIS DE MÚSCULOS EXTENSORES DA MÃO**

Ilha Solteira
2023

ALANA ZAINÉ VIEIRA DO NASCIMENTO

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM ELETROMIÓGRAFO PARA
MONITORAR SINAIS DE MÚSCULOS EXTENSORES DA MÃO**

Trabalho de Graduação apresentado à
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –
Unesp como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheira Eletricista.

Prof. Dr. Aparecido Augusto de Carvalho
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

N244i Nascimento, Alana Zaine Vieira do.
Implementação de um eletromiógrafo para monitorar sinais de músculos extensores da mão / Alana Zaine Vieira Do Nascimento. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
78 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

Inclui bibliografia

1. Eletromiografia de Superfície. 2. Músculos. 3. Extensores. 4. Mão.

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

No dia dezesseis do mês de junho do ano de dois mil e vinte e três, a discente Alana Zaine Vieira do Nascimento, matriculada sob o nº 62053721, tendo como banca examinadora o seu orientador, o Prof. Dr. Aparecido Augusto de Carvalho, o Prof. Dr. Denis Rogério da Silva e o Prof. Elcio Alteris dos Santos, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado "IMPLEMENTAÇÃO DE UM ELETROMIÓGRAFO PARA MONITORAR SINAIS DE MÚSCULOS EXTENSORES DA MÃO", obtendo a nota 10 (Dez) e conceito Aprovada.

A. A. Carvalho

Prof. Dr. Aparecido Augusto de Carvalho

Alana Zaine

Alana Zaine Vieira do Nascimento

- Orientador -

- Discente -

Denis Rogério da Silva

Prof. Denis Rogério da Silva

- Membro da Banca -

Elcio Alteris dos Santos

Prof. Elcio Alteris dos Santos

- Membro da Banca -

DEDICATÓRIA

Às minhas amadas Amanda, Bernardina e Magda,
pelo apoio e incentivo em todos os dias da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, em especial a minha mãe, Magda da Cruz Vieira, à minha irmã, Amanda Zaine Vieira do Nascimento, e a minha avó, Bernardina Soares da Cruz Vieira, pela formação, pelos conselhos oferecidos, pelo suporte e auxílio nos momentos difíceis, e ao meu pai Iveraldo Nunes do Nascimento pelos conselhos e auxílio.

Ao meu professor orientador, Aparecido Augusto de Carvalho, pela oportunidade de atuar no Laboratório de Instrumentação e Engenharia Biomédica (LIEB), pelos ensinamentos, pela calma e compreensão.

Pelas orientações, dicas e apoio dos meus amigos e companheiros Beatriz, Ricieri, Valim, Julia, Jhimmy e Nico.

Aos professores Elcio, Denis, Sanches e Taoni, pelas inúmeras orientações e suporte ao laboratório de aquisição de sinais.

Pelo apoio e compreensão dos servidores lotados no Câmpus III e pela oportunidade de residir na Moradia Estudantil da UNESP de Ilha Solteira.

A Faculdade de Engenharia - Câmpus de Ilha Solteira por me proporcionar a graduação e pela infraestrutura oferecida.

*“E não pense mais em desistir
Existe um mundo que só quer te ver sorrir”
(Natiruts)*

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo a implementação de um eletromiógrafo para monitorar sinais de músculos extensores da mão. Um eletromiógrafo é um equipamento que permite a captação e visualização do sinal elétrico gerado durante uma contração muscular e, portanto, possibilita a avaliação do nível de ativação elétrica muscular, a comparação do sinal elétrico de músculos saudáveis e músculos lesionados, além de também contribuir para analisar a eficácia de tratamentos para disfunções musculares, o que evidencia sua importância para obter informações sobre o estado clínico de um indivíduo acometido por lesão muscular ocasionada por patologias ou trauma. Utilizou-se um circuito de condicionamento de sinais e um microcontrolador Arduino para a implementação do eletromiógrafo. Os exercícios de contração muscular realizados pelo voluntário e a localização dos eletrodos obedeceram a um protocolo implementado utilizando as recomendações do SENIAM (*Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles*) com o objetivo de avaliar o músculo extensor comum dos dedos e o músculo extensor longo do polegar. Para captação do sinal eletromiógrafo foi identificado o ventre muscular do músculo de interesse e, em seguida, realizou-se a tricotomia e limpeza da pele para posterior fixação dos eletrodos de superfície. Obteve-se os sinais mioelétricos do músculo extensor comum dos dedos e do músculo extensor longo do polegar durante a realização de diferentes exercícios para ativação muscular. Estes sinais foram analisados no domínio do tempo por meio de envoltório linear, e observou-se que estes possibilitam um adequado monitoramento da ativação dos músculos extensores da mão, pois fornecem uma visualização satisfatória do padrão de ativação muscular por meio da amplitude e do tônus basal muscular.

Palavras-chave: eletromiografia de superfície; músculos; extensores; mão.

ABSTRACT

This work aimed to implement an electromyograph to monitor signals from extensor muscles of the hand. An electromyograph is an equipment that allows the capture and visualization of the electrical signal generated during a muscle contraction and, therefore, allows the evaluation of the level of muscle electrical activation, the comparison of the electrical signal of healthy muscles and injured muscles. In addition, it also contributes to analyze the effectiveness of treatments for muscle dysfunctions, which highlights its importance to obtain information about the clinical status of an individual affected by muscle damage caused by pathologies or trauma. A signal conditioning circuit and an Arduino microcontroller were used to implement the electromyography. The muscle contraction exercises performed by the volunteer and the location of the electrodes obeyed a protocol implemented using the recommendations of SENIAM (Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles) in order to evaluate the common extensor muscle of the fingers and the long extensor muscle of the thumb. To capture the electromyographic signal, the muscle belly was identified and then the skin was trichotomized and cleaned for subsequent attachment of the surface electrodes. The myoelectric signals of the extensor digitorum communis muscle and the extensor pollicis longus muscle were obtained during the performance of different exercises for muscle activation. These signals were analyzed in the time domain by means of linear wrapping and it was observed that these allow an adequate monitoring of the activation of the extensor muscles of the hand, since they provide a satisfactory visualization of the muscle activation pattern through the amplitude and the basal muscle tone.

Keywords: surface electromyography; muscles; extenders; hand.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dedos e regiões das mãos	21
Figura 2 - Falanges dos dedos das mãos	22
Figura 3 - Representação dos músculos extensores da mão humana.....	27
Figura 4 - Sinal EMG com baixa razão sinal/ruído	34
Figura 5 - Sinal EMG com adequada razão sinal/ruído	34
Figura 6 - Filtros básicos	36
Figura 7 - Exemplo de sinal EMG bruto (a), retificado onda-completa (b) e envoltório linear (c).....	40
Figura 8 - Sinal EMG bruto, RMS e integrado	41
Figura 9 - Circuito de condicionamento de sinais eletromiográficos.....	52
Figura 10 - Pinagem do circuito de condicionamento de sinais eletromiográficos. ...	53
Figura 11 - Alimentação do circuito de condicionamento EMG e conexão com o Arduino Uno.....	53
Figura 12 - Algoritmo <i>Serial Plotter</i> Arduino	54
Figura 13 - Circuito eletrônico do circuito de condicionamento de sinais eletromiográficos	55
Figura 14 - Localização dos eletrodos para o músculo extensor comum dos dedos (a) e para o músculo extensor longo do polegar (b)	58
Figura 15 - Postura padronizada.....	59
Figura 16 - Execução dos exercícios 1, 2, 3 e 4 (conforme indicação) para o músculo extensor comum dos dedos.....	60
Figura 17 - Execução dos exercícios 1 e 2 (conforme indicação) para o músculo extensor longo do polegar	61
Figura 18 - Sinal EMG do MECD - Exercício 1.....	62
Figura 19 - Sinal EMG do MECD - Exercício 2.....	63
Figura 20 - Sinal EMG do MECD - Exercício 3.....	63
Figura 21 - Sinal EMG do MECD - Exercício 4.....	64
Figura 22 - Sinal EMG do MELP - Exercício 1	65
Figura 23 - Sinal EMG do MELP - Exercício 2	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média e Pico Máximo para os exercícios do MECD.....	64
Tabela 2 - Média e Pico Máximo para os exercícios do MELP	66

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Root Mean Square (RMS).....	41
Equação 2 - Função de transferência do AD8221.....	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Músculos extensores da mão humana.....	26
Quadro 2 - Trabalhos selecionados	43

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
STBD	Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação
Unesp	Universidade Estadual Paulista
EMG	Eletromiografia
LER	Lesões por esforço repetitivo
DORT	Doença osteoarticular relacionada ao trabalho
ENMG	Eletroneuromiografia
EMGs	Eletromiografia de superfície
EMGi	Eletromiografia invasiva
RMS	Root mean square
CMRR	Taxa de rejeição em modo comum
Fc	Frequência de corte
SENIAM	Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles (Projeto do Programa de Investigação e Saúde Biomédica da União Europeia)
ADC	Conversor analógico/digital
DAC	Conversor digital/analógico
IEMG	Sinal eletromiográfico integrado
CVMI	Contração voluntária máxima isométrica
MECD	Músculo extensor comum dos dedos
MELP	Músculo extensor longo do polegar
SMD	Surface mounted device

LISTA DE SÍMBOLOS

μ	Média
σ	Desvio Padrão
V	Volts

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	17
1.2	JUSTIFICATIVA.....	18
1.3	OBJETIVOS.....	19
1.3.1	Objetivo Geral.....	19
1.3.2	Objetivos Específicos.....	19
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1	Doenças das Mãos.....	20
2.2	Músculos Extensores das Mãos.....	25
2.3	Eletromiografia.....	28
2.4	Circuito de Condicionamento de Sinais Eletromiográficos.....	31
2.5	Análise do Sinal Eletromiográfico.....	38
2.6	Estado da Arte.....	43
3	METODOLOGIA.....	51
3.1	Materiais e Etapas de Montagem.....	51
3.2	Métodos e Desenvolvimento.....	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
5	CONCLUSÃO.....	70
	REFERÊNCIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Formada por 19 ossos (27 ao incluir os carpos), dezoito músculos intrínsecos começam e terminam na mão e dezoito tendões de músculos extrínsecos terminam na mão. A mão humana pode executar movimentos de forma precisa e rápida. A complexidade anatômica da mão, ao mesmo tempo, possibilita o movimento de pinçamento, que revolucionou a história humana, possibilitando o surgimento da escrita (OLIVEIRA et al., 2011).

A história mostra que os humanos evoluíram física e intelectualmente, e a utilização das mãos para diversas tarefas também evoluiu. Ainda nos dias de hoje, se mantém uma das utilizações dos nossos antepassados, pois as mãos são frequentemente utilizadas como modo de expressão corporal durante a comunicação. As mãos também se tornaram importantes para a fabricação de inúmeros objetos. Os movimentos de preensão, rotação e transladação, realizados pelas mãos, possibilitaram, juntamente com a evolução do aparelho cerebral, um aperfeiçoamento da percepção tátil e uma melhora na precisão de certos movimentos (FERREIRA, 2016).

As mãos possibilitaram inúmeras invenções e, ao serem utilizadas incessantemente em trabalhos repetitivos, acabaram desenvolvendo patologias como, por exemplo, as lesões por esforços repetitivos, que são normalmente associadas aos distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (DORT). (FERREIRA, 2011).

Patologias como síndrome do túnel do carpo, dedo em gatilho, tenossinovite de Quervain, paralisia de nervo radial, e traumas como fraturas da mão e rompimento de tendões podem prejudicar e reduzir a ação funcional das mãos, ocasionando dificuldades para abrir ou fechar as mãos devido a dores e/ou redução de força muscular, redução de sensibilidade tátil e, conseqüentemente, podem prejudicar a qualidade de vida do indivíduo.

Neste cenário, verifica-se a importância da avaliação quantitativa e precisa da atividade elétrica da atuação das unidades motoras responsáveis pelas forças exercidas pelas mãos durante contrações musculares, principalmente em casos de acidentes ou patologias que afetam ou podem vir a afetar as mãos do indivíduo.

Para pegar ou soltar objetos com as mãos é necessária a atuação dos músculos extensores extrínsecos e intrínsecos da mão. Músculos extensores extrínsecos possuem ventre muscular localizado no antebraço, por exemplo, o músculo extensor comum dos dedos e o extensor do dedo mínimo. Por outro lado, os músculos intrínsecos possuem o ventre muscular localizado na própria mão, e é devido a atuação destes músculos que é possível realizar a extensão das articulações metacarpofalangeanas e das articulações interfalangeanas dos dedos das mãos (KAPANDJI, 2000).

Um equipamento portátil para medir a força extensora da mão com boa acurácia é importante para aprimorar a metodologia de avaliação das mãos de pacientes.

Implementou-se, neste trabalho de graduação, um eletromiógrafo para monitorar os sinais elétricos produzidos pelos músculos extensores da mão. A metodologia utilizada atendeu às recomendações do SENIAM.

Para implementação do eletromiógrafo utilizou-se um circuito de condicionamento de sinais e um microcontrolador Arduino. O sinal de EMG obtido processado por meio de envoltório linear, possibilitou analisar o padrão de atividade elétrica muscular de músculos extensores da mão.

1.2 JUSTIFICATIVA

Doenças da mão e punho possuem variadas causas, entretanto a dor nas mãos da maioria dos pacientes normalmente está relacionada a doenças reumatológicas, traumas, infecções, problemas hormonais e até tumores. O aparecimento das dores e patologias nas mãos é frequentemente decorrente de traumas por série de movimentos repetitivos. Traumas recorrentes por esforço repetitivo são denominadas lesões por esforço repetitivo (LER), que atualmente estão relacionadas ao uso exagerado de *smartphones* ou tempo exorbitante de uso de notebooks e/ou jogos eletrônicos. Porém, quando os esforços repetitivos estão associados à atividades laborais, a doença é denominada de osteoarticular relacionada ao trabalho (DORT) (KERTZMAN, 2022).

Neste cenário, verifica-se a importância do diagnóstico precoce para indicar a causa dos sintomas e, deste modo, orientar para a realização do tratamento mais pertinente e satisfatório (BRASIL, 2000).

O diagnóstico normalmente requer uma avaliação multidisciplinar. Um equipamento para medir a força extensora da mão pode ser de grande valia para aprimorar a metodologia de avaliação das mãos de pacientes. Neste sentido, um equipamento que monitore os sinais de eletromiografia (EMG) dos músculos extensores da mão, poderá contribuir para aprimorar o diagnóstico sem utilizar métodos invasivos, uma vez que, para captar sinais de EMG, somente são necessários eletrodos posicionados sobre a pele do paciente.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo deste Trabalho de Graduação é a implementação de um eletromiógrafo para monitorar sinais elétricos de músculos extensores da mão.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Revisão sobre eletromiografia e eletromiógrafos;
- Aprofundamento sobre circuitos de condicionamento de sinais de eletromiografia;
- Implementação de um eletromiógrafo utilizando um circuito de condicionamento de sinais e um microcontrolador Arduino;
- Captação de sinais elétricos dos músculos extensores das mãos utilizando eletrodos comerciais, posicionados sobre a pele do paciente;
- Avaliar a eficácia dos resultados obtidos com o eletromiógrafo implementado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Doenças das Mãos

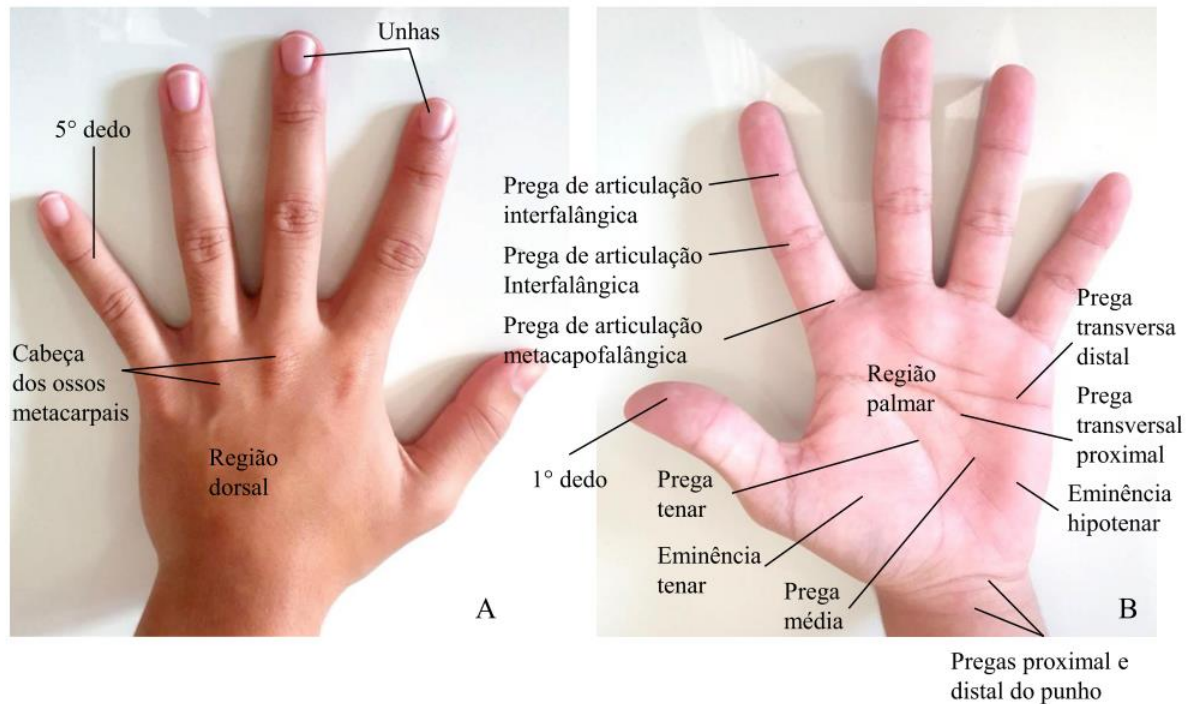
Utiliza-se as mãos todos os dias para inúmeras atividades, desde segurar talheres, lavar o rosto, colocar um sapato, até acariciar ou cumprimentar alguém. As mãos possibilitam que os humanos conheçam e explorem o mundo. Porém, apesar de cruciais no dia a dia, a preocupação com as mãos só surge quando começam as dores ou limitações nos movimentos, tais como dificuldades para segurar copos ou escrever. Estrutura única e complexa no corpo humano, a mão permite o manuseio de diversos objetos. Utilizando as mãos, pode-se pegar, mover, alterar, levantar e apertar qualquer material, e tudo isso só é possível devido a um conjunto de estruturas que permitem o correto funcionamento da mão. É neste sentido que se verifica que alterações que surgirem em qualquer uma das estruturas que compõem a mão, podem tanto afetar diretamente a capacidade do indivíduo de manusear objetos quanto causar dores incapacitantes.

A mesma importância que é dada aos órgãos, deve ser dada às mãos, pois igualmente as mãos estão passíveis de transtornos e complicações de movimentos, alterando o funcionamento correto das mãos. O primeiro sintoma de problemas nas mãos e em suas estruturas é a dor, que pode ser acompanhada de dificuldade de mobilidade do punho ou dedos, dificuldade de manusear objetos ou até deformidades ou modificações na pele. Identificar as limitações que a dor causa e tratá-las o mais breve possível evita o agravamento da patologia, visto que a falta de tratamento correto pode levar o paciente a perder a total função das mãos.

Para uma boa compreensão sobre os fatores que ocasionam doenças nas mãos é importante entender como são denominadas as regiões das mãos e quais são elas.

Mão é tudo aquilo que se encontra após o punho até as pontas dos dedos, a mão possui cinco dedos, denominados como polegar, indicador, dedo médio, anelar e dedo mínimo, designados numericamente por primeiro, segundo, terceiro, quarto e quinto dedo respectivamente. A mão possui a região dorsal e a região palmar, sendo que a palma da mão é a região à qual os dedos se articulam possibilitando o movimento de segurar objetos. A estrutura citada se liga ao punho, que contém diversas articulações e separa mão de antebraço, como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Dedos e regiões das mãos

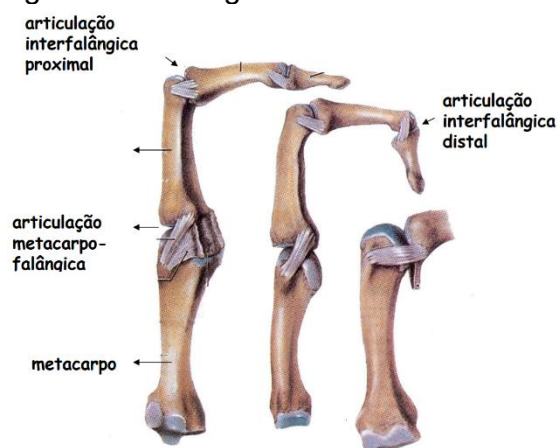


Fonte: Nascimento Junior (2020)

Algumas doenças, que frequentemente provocam dificuldades aos pacientes, são decorrentes de problemas nas articulações das mãos.

As articulações metacarpofalângicas são as articulações entre os dedos e a palma das mãos e, as articulações interfalângicas são as articulações entre os diferentes segmentos articulados dos dedos, tais como podem ser vistas na Figura 2 a seguir. Saber como são denominadas essas articulações possibilita a classificação e determinação de diferentes doenças que acometem as mãos.

Figura 2 - Falanges dos dedos das mãos



Fonte: Miyabara (2015)

Exemplos de doenças que acometem as mãos, e normalmente causam dores são: a artrite reumatoide, que possui prevalência no Brasil variando entre 0,2% e 1% (COSTA et al., 2014), a osteoartrite que acomete cerca de 6,3% da população adulta do Brasil (ROCHA, 2022), a síndrome do túnel do carpo que possui prevalência de 4% a 5% da população mundial (CAVALCANTE; NASCIMENTO, 2020), as lesões por esforço repetitivo (LER) e as doenças osteoarticulares relacionadas ao trabalho (DORT), sendo que, de acordo com o estudo Saúde Brasil 2018, a quantidade de registros de LER e DORT cresceram 184% entre 2016 e 2017 (BRASIL, 2019).

A síndrome do túnel do carpo é muito comum e ocorre devido às inflamações nos tendões flexores, que atravessam o túnel do carpo. Essas inflamações são comuns em pessoas que trabalham desempenhando atividades repetitivas, tais como digitação, corte de carne em frigorífico, dirigir caminhão e tocar instrumentos musicais.

Os movimentos repetitivos ocasionam tensionamento e inflamação dos tendões, inflamação essa que leva a um inchaço e expansão dos tendões. Essa expansão é a responsável por comprimir o nervo mediano. A compressão da circulação sanguínea sobre o nervo mediano, por sua vez, diminui a velocidade do estímulo elétrico no nervo, o que gera formigamento na palma da mão e dificuldade de realizar movimentos devido a perda de força de flexão. Portanto, um paciente com síndrome do túnel do carpo normalmente tem dificuldades para segurar objetos. Se não for feito o tratamento e o nervo sofrer compressão continuamente, pode ocorrer uma alteração de sensibilidade permanente nos dedos.

A osteoartrite, popularmente conhecida como artrose é uma doença degenerativa das articulações sinoviais que leva ao aparecimento de dores e de deformações articulares. A osteoartrite é a doença articular mais comum do mundo, com uma prevalência estimada de 240 milhões de pessoas acometidas, além de ser responsável por 7,5% de todos os afastamentos do trabalho, de acordo com os dados da Previdência Social no Brasil, devido principalmente à dores nas mãos (SOCIEDADE BRASILEIRA DE REUMATOLOGIA, 2022).

Apesar de inúmeros casos de osteoartrite se apresentarem nas mãos, esta doença também se manifesta em outras regiões. É comum, por exemplo, pacientes apresentarem osteoartrite no joelho ou coluna.

A osteoartrite ocorre devido a deterioração do componente articular cartilaginoso do osso e das estruturas em torno do mesmo e, portanto, a maioria das pessoas acometidas por esta doença são pessoas idosas. Se não tratada, a osteoartrite pode levar a dores mais severas, nódulos nas articulações e fraqueza.

Apresentar dores nas mãos em repouso é um dos principais sintomas das artrites e principal distinção entre as artroses. Nas artroses a dor acontece ao movimentar a mão, enquanto nas artrites as dores surgem entre manhã e a noite após longos períodos de repouso das mãos. As artrites não atingem somente as mãos, são doenças autoimunes caracterizadas por uma inflamação do tecido sinovial de múltiplas articulações e que ocasionam deterioração da junta. Esse processo de inflamação apresenta-se por meio de inchaços, dificuldade de movimentar os dedos devido a rigidez, sensação de que as mãos estão mais quentes que o restante do corpo, pelo esforço incomum para mover as juntas das mãos e pelas deformidades nas mãos (GOELDNER et al., 2011).

Dores e dificuldades de movimentar as mãos também podem surgir devido a lesões nas partes moles da mão, sendo as partes moles, os tendões, ligamentos e músculos. É comum que estas sejam lesionadas devido à realização de esforços repetitivos, comuns em ambientes de trabalho. O esforço repetitivo do movimento dos polegares pode resultar em uma inflamação dos tendões, que se manifesta por dores e/ou inchaço. Esta lesão nas partes moles é denominada tenossinovite de Quervain e é muito comum entre praticantes de diversas modalidades esportivas (URIBE, 2010).

A paralisia radial ou paralisia do nervo radial acomete os músculos extensores do punho e dos dedos. Esta paralisia possui diversas causas, entretanto as mais comuns são a isquemia e a anóxia. A mão do indivíduo acometido pela paralisia radial

passa a ter uma postura de “mão caída” e o indivíduo passa a ter muita dificuldade para realizar movimentos de extensão (KAPANDJI, 2000; CAMPANHOLI, 2021).

Além de todas as doenças anteriormente citadas, o que também pode ocasionar doenças nas mãos são as lesões traumáticas que acontecem devido a incidentes, tais como pancadas, cortes ou quedas, por exemplo. Ao ocorrer um incidente as mãos podem vir a sofrer lesões como entorses, luxações, fraturas ou contusões.

Para diagnosticar a doença que acomete o paciente com dores nas mãos, o primeiro exame realizado é o exame clínico. Durante uma consulta o médico realiza o exame clínico coletando informações sobre o histórico de saúde do paciente e sobre possíveis lesões que este tenha sofrido. Além disso, o médico também irá examinar fisicamente as mãos para verificar dificuldades de movimento, inchaços ou deformidades. O exame clínico tem como objetivo coletar sintomas e indícios de doenças para auxiliar o diagnóstico e é composto por duas etapas, a anamnese e o exame físico.

De acordo com Boraks (2013), durante a etapa de anamnese são identificados os sintomas por meio do relato sincero do paciente de acordo com uma ordem cronológica de manifestação dos sintomas. Além disso deve-se coletar informações acerca da duração dos sintomas, do histórico pessoal de doenças, do histórico familiar de doenças, vícios, hábitos de comportamento e antecedentes mórbidos pessoais. Após a anamnese realiza-se o exame físico. Durante esta etapa deve-se verificar em todas as regiões anatômicas a existência de alterações clínicas relacionadas com as observações que o paciente trouxe durante a anamnese. Portanto, durante o exame físico os sinais sobre a queixa do paciente são exclusivamente identificados pelos órgãos dos sentidos e pela *expertise* do examinador.

De acordo com Franken e Franken (2013), conforme a histórica clínica, 85% dos casos são diagnosticados através do exame físico. É neste sentido que, não identificada a doença ou não cessada as queixas do paciente, após um primeiro tratamento proposto de acordo com o exame clínico, o médico pode recorrer aos exames complementares para aprimorar o diagnóstico ou então, para contribuir com a orientação terapêutica e na escolha da medicação.

Se necessário exames complementares, o médico poderá requisitar exames laboratoriais, exames de imagem ou exames específicos. Os exames laboratoriais são os exames de sangue, e por existirem doenças reumatológicas que dão indícios no

sangue, tal como a artrite reumatoide, torna-se importante a realização de exames laboratoriais para constatar ou eliminar possíveis causas para as queixas do paciente, entretanto, apesar das doenças reumatológicas apresentarem indícios nos exames de sangue, inúmeras outras doenças que acometem as mãos não ocasionarão alterações nos exames de sangue, verificando assim a necessidade de realizar outros tipos de exames (SOCIEDADE BRASILEIRA DE REUMATOLOGIA, 2002).

Exames também muito utilizados no diagnóstico de doenças que acometem as mãos são os exames de imagem. Popularmente chamados de raio-X, os exames radiográficos convencionais podem por si só indicar distúrbios nos ossos ou articulações, entretanto, para maior precisão no diagnóstico, outros exames de imagem tais como, ressonância magnética e ultrassonografia poderão ser realizadas para se poder verificar o estado do tecido nas proximidades das articulações (SILVA; GIOSTRI, 2021).

Em situações em que o quadro do paciente exige uma avaliação minuciosa, outros exames específicos podem ser solicitados pelo médico, tais como a eletromiografia (EMG) e a eletroneuromiografia (ENMG).

O exame de eletromiografia possibilita examinar a atividade elétrica do músculo esquelético (SILVA, 2010), e o exame de eletroneuromiografia possibilita examinar, por meio de estimulação nervosa, a velocidade de condução do nervo periférico, por ser a junção da neuro condução e eletromiografia (OLIVEIRA, 2009).

A partir do exame de eletromiografia é possível identificar, por exemplo, a síndrome do túnel do carpo (OLIVEIRA, 2009), o que evidencia a importância deste exame para avaliar os músculos das mãos e corroborar com diagnósticos, orientações terapêuticas, escolhas de medicamentos ou até mesmo para avaliar a necessidade de procedimentos cirúrgicos (SANTANA, 2020).

2.2 Músculos Extensores das Mãos

O sistema muscular é muito importante para a sustentação do corpo, pois são os músculos que proporcionam estabilidade para as mais diversas posições, além de possibilitarem a movimentação dos fluídos corporais e a própria movimentação do ser humano (FILHO; PEREIRA, 2015).

Os músculos são classificados com vários critérios, alguns destes são: origem, inserção e ação.

Origem é o local onde o músculo está fixado servindo de base para realizar a sua ação. Inserção é o ponto que será movimentado, o ponto onde a ação do músculo poderá ser constatada. A classificação de ação por sua vez diz respeito ao movimento que será provocado pela força exercida pelo músculo. Quando classificado de acordo com a ação, o músculo pode ser flexor, extensor, adutor, abductor, supinador, rotador e pronador (FILHO; PEREIRA, 2015).

Para que as mãos possam realizar movimentos de extensão é necessário a atuação de conjuntos musculares. Os músculos extensores intrínsecos e os músculos extensores extrínsecos possibilitam os diversos movimentos de extensão das mãos e dos dedos. O extensores intrínsecos são assim denominados por apresentarem origem e inserção na própria mão, enquanto os extensores extrínsecos apresentam origem no antebraço e no cotovelo (FRANCISCO et al., 2007).

A extensão das articulações metacarpofalangeanas e interfalangeanas é realizada pelos músculos extensores extrínsecos, enquanto a extensão das articulações interfalangeanas é realizada pelos músculos extensores intrínsecos (FRANCISCO et al., 2007).

Na Quadro 1 são apresentados os músculos extensores inerentes ao movimento da mão humana e suas respectivas funções motoras.

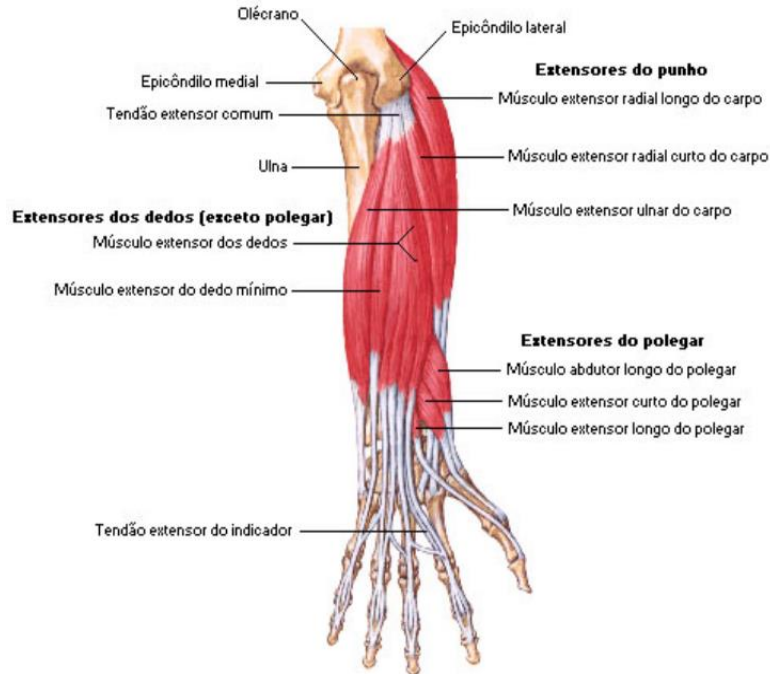
Quadro 1 - Músculos extensores da mão humana

Músculo	Função
Extensor comum dos dedos	Extensão das articulações do metacarpo, extensão dos dedos (2º ao 5º dedo), extensão do punho
Extensor próprio do indicador	Extensão das articulações do metacarpo, extensão do indicador, extensão do punho
Extensor próprio do 5º dedo (dedo mínimo)	Extensão das articulações do metacarpo, extensão do dedo mínimo, extensão e desvio ulnar do punho
Extensor longo do polegar	Extensão da falange distal do polegar, extensão com desvio radial do punho
Extensor curto do polegar	Extensão e desvio radial do polegar
Extensor radial longo do carpo	Extensão e desvio radial do punho
Extensor radial curto do carpo	Extensão e desvio radial do punho
Extensor ulnar do carpo	Extensão e desvio ulnar do punho

Fonte: Adaptado de Xavier (2016).

Na Figura 3 é apresentada uma ilustração dos músculos extensores das mãos.

Figura 3 - Representação dos músculos extensores da mão humana



Fonte: Adaptado de Filho e Pereira (2015, p. 118)

Força muscular é a capacidade de gerar tensão nos músculos esqueléticos. Pode ser mensurada de acordo com a escala de Oxford em Grau 5, Grau 4, Grau 3, Grau 2, Grau 1 ou Grau 0.

A produção da força muscular depende de fatores morfológicos e de fatores neurais, portanto, o tipo e comprimento da fibra muscular e o recrutamento das unidades motoras são exemplos de fatores que interferem no nível de produção de força muscular. Segundo Platonov (2008) a força muscular é a capacidade que o músculo possui de superar ou opor-se a uma determinada resistência.

A força muscular é indispensável para que um indivíduo tenha autonomia em suas atividades diárias. Como visto, a produção de força muscular depende de fatores morfológicos e neurológicos. Neste sentido, possíveis alterações morfológicas musculares podem afetar diretamente a capacidade física de um indivíduo reduzindo sua força muscular e ocasionando dificuldade em realizar atividades cotidianas simples.

2.3 Eletromiografia

De acordo com Resende et al. (2011, p. 293) a “eletromiografia é definida como o registro extracelular da atividade bioelétrica gerada pelas fibras musculares.” A eletromiografia possibilita a aquisição e processamento do sinal elétrico produzido nas fibras musculares durante a atividade muscular. Esta técnica é importante para averiguar quais músculos são empregados em um movimento específico, qual o nível de ativação muscular, qual a intensidade e duração da solicitação muscular, e para obter conclusões sobre fadiga muscular (JUNIOR, 2012).

Para que o movimento de extensão dos dedos da mão aconteça é necessária a ação conjunta de vários músculos da mão, entre eles estão o músculo extensor comum dos dedos e os interósseos (KAPANDJI, 2000).

Assim como a força flexora é necessária para pegar objetos com as mãos, a força de extensão é necessária para poder soltar os objetos, para abrir a mão para pegar um objeto e para manuseá-los, de diferentes formas. Neste sentido, torna-se significativa a avaliação dos músculos extensores da mão para auxiliar nos diagnósticos e tratamentos de doenças que acometem estes músculos. Essa avaliação pode ser feita utilizando a eletromiografia.

A eletromiografia invasiva (EMGi), eletromiografia intramuscular ou também chamada de “eletromiografia de agulha”, utiliza eletrodos concêntricos de agulhas ou de fio que são inseridos no ventre muscular para captar a atividade elétrica de músculos profundos, de somente algumas unidades motoras ou de um músculo específico, de forma isolada. Apesar de conseguir captar sinais mais isolados, a utilização das agulhas torna o exame incômodo ao paciente. Além disso, alguns riscos existentes são: a contaminação biológica em caso de esterilização incorreta e a possível quebra de eletrodos de fio fino dentro do músculo. Dificuldades encontradas são: a baixa reprodutibilidade e a possível propagação de espasticidade do músculo devido a dor provocada (BELO et al., 2016).

A eletromiografia de superfície (EMGs) utiliza eletrodos de superfície posicionados sobre a musculatura que se deseja mensurar a atividade elétrica. Geralmente, captará a atividade elétrica de algumas unidades motoras de forma simultânea. Por utilizar eletrodos de superfície a EMGs é uma técnica não invasiva

que não gera incômodos aos pacientes. Entretanto, não possibilita a avaliação de músculos de forma isolada ou de músculos profundos (LUIZ, 2015).

Os eletrodos mais comumente utilizados são os passivos. Este tipo de eletrodo é simples e não possui amplificador acoplado, por sua vez os eletrodos ativos com amplificador diferencial possuem a vantagem de redução de ruídos no sinal.

Para a captação do sinal na EMGs são utilizados os eletrodos de superfície bipolares que usam três pontos de detecção, dois pontos são fixados na superfície da pele no local do músculo que se deseja avaliar e o terceiro é utilizado como eletrodo de referência, chamado também de eletrodo-terra, que deve ser fixado em uma espícula óssea, que deve ser um ponto do corpo do paciente onde a atividade elétrica muscular seja próxima a zero.

Ao fixar os eletrodos de superfície na pele, deve-se fazê-lo com atenção, pois um posicionamento incorreto dos eletrodos pode ocasionar *cross-talking* ao captar o sinal de músculos vizinhos ao de interesse. Portanto, a recomendação da literatura é de que os eletrodos sejam posicionados entre o ponto motor e a junção miotendinosa de forma que os dois eletrodos estejam situados obrigatoriamente sobre as mesmas fibras musculares (LUIZ, 2015).

A EMGs é amplamente utilizada por diversos profissionais que estudam o movimento humano, por possibilitar a avaliação de diferentes músculos e por oferecer informações de relevância clínica, pois captando a atividade elétrica dos músculos é possível estabelecer uma correlação entre a quantidade de unidades ativadas e a força muscular, além de se tornar possível a avaliação da eficiência de terapias de recuperação funcional, utilizadas para o tratamento de diversas doenças.

As avaliações musculares por meio da EMGs ainda demandam padronização. Mesmo assim, são utilizadas em pesquisas científicas por exibirem reprodutibilidade e confiabilidade apropriadas (RESENDE et al., 2011).

Em um estudo sobre o uso da EMGs como medida de desfecho da fisioterapia em crianças com paralisia cerebral Schmidt, Gerzson, Almeida (2020, p. 2) afirmam que:

[...] o sinal eletromiográfico se torna uma ferramenta útil para analisar o desfecho de tratamentos fisioterapêuticos, porque proporciona um fácil acesso aos processos fisiológicos que fazem com que o músculo gere força, produza movimentos e realize inúmeras funções que nos permitam fazer inferências relevantes quanto à biomecânica dos movimentos humanos.

Em seu artigo, Schmidt, Gerzson, Almeida (2020, p. 2) declaram que existe uma frequente dificuldade em mensurar a eficácia de intervenções fisioterapêuticas devido à escassez metodológica dos estudos em fisioterapia.

Com base nisso, sugere-se a utilização da EMGs como método quantitativo para analisar disfunções neuromusculares, visto que, segundo Schmidt, Gerzson, Almeida (2020, p. 2) “através do sinal eletromiográfico é possível estudar a resposta aos exercícios terapêuticos comumente utilizados na reabilitação no que se refere ao início e término da atividade, tipo de contração muscular e a posição articular.”

Em seu estudo Luiz (2015) utiliza a EMGs para avaliar possíveis alterações musculares em indivíduos que sofreram lesões nervosas periféricas. A EMGs foi utilizada para verificar a atividade elétrica em RMS (*Root Mean Square*), a frequência média e a frequência mediana dos músculos extensor radial do carpo e extensor ulnar do carpo durante o movimento de extensão do punho.

Ainda segundo Luiz (2015), para a diagnóstico de lesão nervosa, são comumente utilizados diversos métodos tais como a goniometria, a dinamometria e o exame clínico. Tais métodos podem depender da competência do profissional e do retorno subjetivo do paciente.

Assim sendo, a utilização da eletromiografia durante o diagnóstico e tratamento pode trazer maior precisão para a avaliação e corroborar com adequações no procedimento terapêutico.

Os três principais usos da eletromiografia na biomecânica atualmente são: para a indicação do início da ativação muscular, para expressar a relação do sinal eletromiográfico com a força efetuada e para analisar os processos de fadiga muscular. É comum a utilização do sinal eletromiográfico para indicar o início da ativação muscular, pois por meio do sinal registrado se torna possível verificar a sequência de temporização de um ou mais músculos que são ativados durante a realização de um movimento (SCHMIDT; GERZSON; ALMEIDA, 2020).

Os profissionais de fisioterapia utilizam em suas clínicas o eletromiógrafo para captar e registrar o sinal elétrico produzido pelos músculos, em um gráfico em função do tempo. O sinal eletromiográfico pode ser utilizado durante o diagnóstico fisioterapêutico e até mesmo para avaliar a evolução clínica do paciente no decorrer de um determinado tratamento. Por ser um sinal biológico a tensão captada é muito pequena na ordem de microvolts ou milivolts, tornando-se necessária a utilização de um amplificador para ser possível uma melhor visualização do sinal. Como a

oleosidade da pele pode interferir no sinal eletromiográfico é importante que antes da fixação dos eletrodos seja feita a profilaxia da pele utilizando álcool e algodão, além disso, caso existam muitos pelos na região o ideal é retirá-los (PEREIRA, 2022).

A eletromiografia é amplamente utilizada por diversos profissionais que estudam os movimentos humanos e a reabilitação muscular de indivíduos acometidos por patologias ou traumas. Alguns profissionais são, por exemplo, médicos, fisioterapeutas, biólogos, terapeutas ocupacionais, engenheiros eletricitistas, engenheiros mecânicos e profissionais das Ciências da Reabilitação (ZACHARIAS, 2017; BRORSSON et al., 2014; PETTEN e ÁVILA, 2010; SOUZA et al., 2017; MORENO, 2021)

2.4 Circuito de Condicionamento de Sinais Eletromiográficos

O sinal eletromiográfico ou mioelétrico é uma representação gráfica dos potenciais de ação detectados pelos eletrodos, no momento da realização de uma contração muscular. Os eletrodos têm a capacidade de captar o somatório de diversos potenciais de ação de unidade motora que são provenientes de estímulos sequenciais do sistema nervoso.

Interferências no sinal mioelétrico podem ser ocasionadas pelas diferentes características anatômicas, musculares, fisiológicas e pelos instrumentos empregados. São considerados fatores intrínsecos de interferência no sinal mioelétrico, o diâmetro das fibras musculares, a quantidade de fibras musculares, a quantidade de unidades motoras ativas e suas taxas de disparo, a distância entre o músculo e a pele e as fibras musculares ativas, a velocidade de condução do músculo, o fluxo sanguíneo no músculo, entre outras características fisiológicas.

Alguns fatores extrínsecos que comumente causam interferências são o local onde os eletrodos são fixados, o tipo de eletrodo, o software do equipamento utilizado, e características e limpeza da pele (LUIZ, 2015).

Ao analisar o sinal eletromiográfico no domínio do tempo (RMS), pode-se verificar a atividade muscular enquanto é realizada uma contração. Este tipo de análise possibilita comparar os variados padrões de contração e realizar conclusões sobre os parâmetros relacionados com a amplitude do sinal.

A análise do sinal EMG do domínio da frequência, seja frequência média ou frequência mediana, por sua vez, viabiliza a análise do conteúdo espectral do sinal e,

a partir destes dados, pode-se inferir considerações sobre a velocidade de condução das fibras musculares e fadiga muscular, por exemplo (LUIZ, 2015).

O eletromiógrafo comercial, utilizado em clínicas de fisioterapia, normalmente é conectado a um computador que possui um software específico para o equipamento e que possibilita a visualização correta do sinal mioelétrico.

O sinal EMG captado inicialmente pelo equipamento é um sinal analógico, ou seja, um sinal contínuo no tempo. Em seguida, o eletromiógrafo faz a conversão deste sinal analógico para um sinal digital, que é um sinal discreto no tempo e amplitude, tornando possível o processamento do sinal eletromiográfico pelo computador.

A qualidade do sinal eletromiográfico depende de alguns parâmetros. Os principais parâmetros para projetar um circuito de condicionamento de sinais eletromiográficos são: as características do eletrodo de superfície, a frequência de amostragem, os amplificadores, a filtragem e a conversão analógica/digital (MARCHETTI; DUARTE, 2006).

Para definir a frequência de amostragem do sinal utiliza-se o teorema de Nyquist. Este teorema afirma que somente utilizando uma frequência de amostragem de, no mínimo, o dobro da frequência do sinal que se deseja amostrar, consegue-se uma reprodução digital coerente do sinal analógico.

Para amostragem de um sinal EMGs deve ser utilizada uma frequência de amostragem ≥ 1000 Hz, visto que o sinal EMGs pode possuir frequências de 10 Hz até 500 Hz, sendo frequências entre 50 Hz e 150 Hz presentes em maior quantidade e, portanto, são as de maior relevância (FREITAS, 2018).

Deve-se ter atenção na escolha dos eletrodos para a realização da eletromiografia, pois estes são o meio de conexão entre o corpo e o sistema de aquisição. Cada tipo de aquisição irá requerer um determinado eletrodo. Para EMG existem os eletrodos de fio fino, os de agulha e os superficiais, e que devem ser escolhidos de acordo com a finalidade da aquisição do sinal EMG.

Para a aquisição de EMGs são recomendados os eletrodos superficiais Ag-AgCL que possuem uma superfície adesiva de gel condutor, pois este tipo de eletrodo tem como característica uma transição estável com proporcional baixo ruído. Eletrodos de superfície bipolares são muito utilizados em pesquisas relacionadas a exercícios de contração muscular voluntária por possuírem alta Taxa de Rejeição de Modo Comum (CMRR) e, portanto, conseguem extinguir o alto ruído das linhas de força devido a utilização de amplificação diferencial. Existem também eletrodos

superficiais ativos e passivos. Eletrodos superficiais passivos não possuem amplificação, enquanto eletrodos superficiais ativos possuem amplificação. A escolha entre eletrodo passivo ou ativo deve ser feita de acordo com a identificação dos possíveis ruídos que possam interferir no sinal (MARCHETTI; DUARTE, 2006).

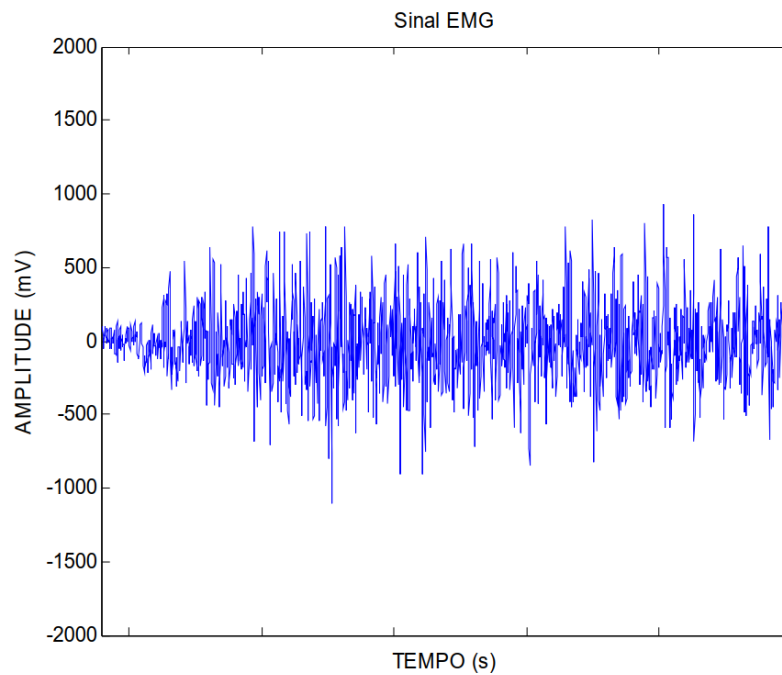
Os aspectos geométricos do eletrodo de superfície utilizado também devem ser levados em consideração para a aquisição do sinal EMG. Uma das características principais relacionadas à geometria é a distância entre as superfícies de detecção, que é a distância entre os centros das regiões condutivas dos eletrodos, a chamada distância intereletrodos. Em um estudo, a distância intereletrodos deve ser fixada para todos os testes, visto que uma variação nesta distância pode modificar o comprimento de banda para altas frequências e alterar a amplitude do sinal. O Consórcio Europeu Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles recomenda que a distância intereletrodos seja de 20 mm (TANK et. al, 2009).

O tamanho e o formato dos eletrodos de superfície podem também interferir na aquisição do sinal, pois o tamanho da superfície do eletrodo interfere diretamente na amplitude do sinal e no ruído que surge entre pele e eletrodo de superfície. Seria o ideal utilizar um eletrodo grande o bastante para conseguir a maior amplitude do sinal e o menor ruído, entretanto no caso de eletrodos de superfície a área de detecção deve ser de um tamanho que impeça a captação do sinal de músculos próximos ao de interesse (MARCHETTI; DUARTE, 2006).

O sinal EMG é um sinal bioelétrico de baixa amplitude, portanto, para realizar processamento e análise é necessário realizar a amplificação do sinal. Para diminuir os ruídos é indicada a utilização de detecção bipolar, porém este método só funcionará se o ruído detectado por ambos os eletrodos for idêntico. Para verificar a qualidade do sinal EMG pode-se realizar uma mensuração qualitativa da relação sinal/ruído. Uma baixa relação sinal/ruído significa que há muito ruído no sinal.

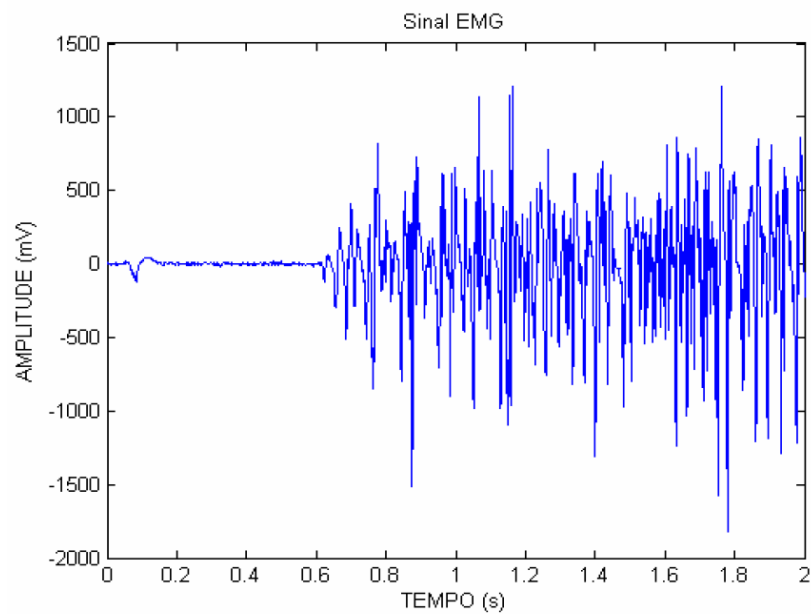
Na Figura 4 pode-se ver um sinal EMG com baixa relação sinal/ruído, enquanto na Figura 5 verifica-se um sinal com relação sinal/ruído adequada.

Figura 4 - Sinal EMG com baixa razão sinal/ruído



Fonte: Adaptado de (MARCHETTI; DUARTE, 2006)

Figura 5 - Sinal EMG com adequada razão sinal/ruído



Fonte: Adaptado de (MARCHETTI; DUARTE, 2006)

As amplitudes de sinais bioelétricos podem variar entre 1 μ V e 100 mV e são acometidos por interferências ocasionadas pela contração musculares de músculos

vizinhos, interferências de 60 Hz devido a influência da rede elétrica, pela impedância da pele, dentre outras.

Pode-se afirmar que o sinal bioelétrico captado é formado pelo sinal bioelétrico do músculo almejado, pelo sinal bioelétrico dos músculos vizinhos ao de interesse, pelo sinal de interferência da interface eletrodo-pele, pelo sinal gerado pela interferência da rede elétrica e por outros sinais ruidosos (XAVIER, 2016).

Uma característica muito importante do circuito de amplificação é o ganho utilizado. O ganho se refere ao quanto o sinal EMG será amplificado.

Além disso os amplificadores operam frequências delimitadas. A região de frequências de operação de um amplificador é intitulada de largura de banda. A largura de banda delimitará o intervalo de frequências dos sinais que serão amplificados e o intervalo de frequências que serão eliminados. Para ajustar o valor de largura de banda, considera-se um valor um pouco acima do sinal desejado (DE LUCA et al., 2006).

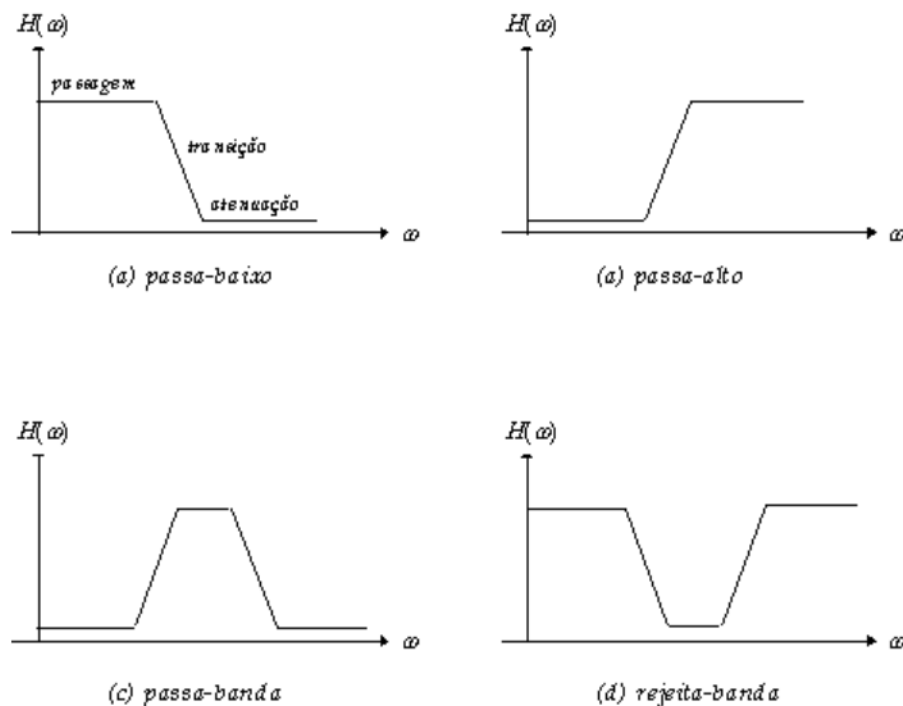
A taxa de rejeição de modo comum (CMRR) faz referência à capacidade do amplificador diferencial de suprimir o sinal de modo comum. Na EMGs o sinal de modo comum é o sinal que é captado em ambos os eletrodos, normalmente durante a EMGs. Os sinais de modo comum são as interferências provenientes dos músculos vizinhos, rede elétrica, batimentos cardíacos, entre outros. A CMRR é um importante parâmetro quando se projeta um circuito de amplificação, visto que quanto maior a CMRR, melhor será a supressão do sinal de modo comum. Para suprimir ruídos elétricos pode ser utilizada uma CMRR de 90 dB (32.000 vezes) (DE LUCA et al., 2006).

A filtragem do sinal eletromiográfico é essencial para reduzir as variações de frequência, uma vez que estes podem permitir ou atenuar a passagem de determinadas frequências ou intervalo de frequências. Os filtros conseguem separar ou restaurar o sinal. Se o sinal possuir ruídos e interferências, a utilização de um filtro pode facilitar a separação do sinal original. Se o sinal tiver sofrido quaisquer distorções, pode-se utilizar filtros para restaurá-lo. Existem filtros analógicos e digitais. Os filtros analógicos têm preços mais acessíveis dos que os digitais e são formados por resistores, indutores e capacitores. Por sua vez, os filtros digitais apesar de um pouco mais caros conseguem atingir desempenhos muito mais satisfatórios (MARCHETTI; DUARTE, 2006).

Ao se projetar um circuito de condicionamento para sinais eletromiográficos os filtros utilizados são de extrema relevância para se obter um sinal de saída coerente. Um eletromiógrafo pode utilizar quatro tipo de filtros: filtro passa-alta, filtro passa-baixa, filtro rejeita banda e filtro passa-banda. A diferença entre os filtros está nas frequências que serão atenuadas.

O filtro passa-alta atenua a zero todas as frequências abaixo da frequência de corte (F_c) escolhida. O filtro passa-baixa, por sua vez, atenua a zero todas as frequências acima da F_c escolhida. O filtro rejeita-faixa atenua as frequências em um determinado intervalo. Neste filtro as frequências maiores que F_{c1} e menores que F_{c2} serão atenuadas a zero. Por outro lado, o filtro passa-faixa permite a passagem de sinais com frequências em um determinado intervalo. O filtro passa-faixa ideal irá atenuar a zero as frequências menores que F_{c1} e maiores do que F_{c2} . Na Figura 6 pode-se verificar os quatro tipos básicos de filtros.

Figura 6 - Filtros básicos



Fonte: Adaptado de Dias (1999)

Para projetar um filtro adequado para o sinal EMG, é importante analisar e identificar todos os sinais que serão captados pelos eletrodos de superfície, desde o sinal de interesse, até as interferências e os possíveis ruídos para que, deste modo,

seja possível identificar o limite de variação de frequências dos sinais e assim definir as frequências de corte para cada filtro utilizado (DE LUCA et al., 2006).

Outra característica importante dos filtros é o comprimento de banda de transição. A este respeito, Marchetti e Duarte (2006, p. 13) explanam acerca da relação entre comprimento de banda e ordem do filtro:

A ordem do filtro define o rigor do mesmo, que é caracterizado pela sua banda de transição. O filtro de primeira ordem atenua bandas de transição com valores de sinal de entrada de 20 dB/década (para cada alteração de dez vezes dos valores de frequência). Portanto, este filtro pode reduzir a amplitude do sinal de entrada em 1/10 para cada década de aumento de frequências. [...] Um filtro de segunda ordem atenua 40 dB/década ou 12 dB/oitava. Geralmente, o filtro analógico de segunda ordem é composto de dois filtros de primeira ordem em série.

A utilização de filtros analógicos e/ou digitais é de extrema importância para a eletromiografia, visto que o condicionamento do sinal, de acordo com Marchetti e Duarte (2006, p. 13), se refere “à modificação do sinal para a proposta de facilitar sua interação com outros componentes, circuitos e sistemas”, portanto os filtros são indispensáveis para atenuar ruídos e adequar o sinal para realização de análises.

Filtros analógicos especiais, tais como os filtros Butterworth, Chebyshev e Cauer são frequentemente utilizados em projetos de circuitos de condicionamento do sinal EMG.

Dentre os três citados, o filtro Butterworth é o mais comumente utilizado por possuir resposta em frequência sem *ripple* ou ondulações na banda passante e por possuir resposta em frequência quase nula na banda rejeitada. Devido a essas características, o filtro Butterworth se torna muito eficiente em situações em que é necessário manter a linearidade da amplitude na banda passante. Por possuir tais características o filtro Butterworth é o mais recomendado ao se projetar um circuito de condicionamento para sinais de EMG.

Os filtros Chebyshev e Cauer, também chamados de filtros Equiripple, tem como vantagem possuírem banda de transição rápida comparada a outros filtros e como desvantagem o fato de apresentarem ripple na banda passante (HIGUTI, 2022).

De Luca et al. (2006) recomendam que para um circuito de condicionamento de sinal EMG seja utilizado um filtro passa-banda com $F_{c1} = 20$ Hz e $F_{c2} = 450$ Hz.

Por sua vez, o SENIAM (2023) recomenda que, ao utilizar filtros analógicos, utilize-se filtro passa-baixa com F_c de 500 Hz para atenuação de ruídos, um filtro passa-alta com F_c menor que 10 Hz para realizar análise espectral e um filtro passa-

faixa com F_c entre 10 Hz e 20 Hz para o projeto de um circuito de condicionamento de sinal EMG (MARCHETTI; DUARTE, 2006).

A conversão analógica/digital é imprescindível ao se projetar um circuito de condicionamento de sinais EMG pelo fato de que o sinal captado é um sinal analógico contínuo no tempo. Para poder registrar e analisar sinais EMG em computadores é necessário realizar a conversão analógica/digital e digital/analógica.

O Microcontrolador ATMEGA328P do Arduino possui entradas analógicas, um conversor analógico/digital (ADC) e um digital/analógico (DAC). Portanto, pode ler, processar e armazenar sinal analógicos.

A amostragem e quantização são processos importantes para a conversão analógica/digital e definem a quantidade de informação que um sinal digital consegue armazenar.

É através da amostragem que o sinal digital é construído a partir do sinal analógico original. Durante a amostragem são armazenadas amostras do sinal analógico durante um determinado período e com uma determinada frequência e, para obter um sinal digital minimamente coerente e funcional com o sinal analógico é necessário aplicar o Teorema de Nyquist e utilizar uma frequência amostragem de no mínimo duas vezes maior que a frequência do sinal analógico. Frequências de amostragem que não obedecerem ao Teorema de Nyquist gerarão o fenômeno Aliasing. Neste fenômeno a replicação dos espectros resultará em uma sobreposição de espectros, impossibilitando a recuperação do sinal por amostragem (HIGUTI, 2022).

Durante o processo de quantização, o ADC atribui valores discretos de amplitude para sinais que originalmente são capazes de possuir amplitude com infinitos valores. Em computadores, a quantização utiliza os dígitos binários (bits). Cada ADC possui um número fixo de bits e é este número de bits que define a resolução do ADC. Neste sentido, a escolha do conversor analógico/digital deverá ser realizada após a análise do ganho do sistema e a tensão máxima de saída (INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, 2010).

2.5 Análise do Sinal Eletromiográfico

A análise do sinal eletromiográfico pode ser feita de inúmeras formas, cada uma com uma finalidade específica de interpretação dos dados obtidos, entretanto as

principais características analisadas são as informações de frequência e amplitude do sinal eletromiográfico. Neste trabalho foi analisado o sinal EMG no domínio do tempo por meio do envoltório linear, método de processamento que será melhor explicado a seguir.

A análise no domínio temporal representa o sinal no tempo com sua respectiva amplitude, ou seja, cada amostra informa o que está acontecendo naquele específico instante de tempo e com qual amplitude. O sinal EMG bruto no domínio temporal apresenta componentes de tensão positivas e negativas com amplitudes entre $100\mu\text{V}$ e 2mV . No sinal eletromiográfico a amplitude do sinal indica a magnitude da atividade muscular (ROBERTSON et al, 2004).

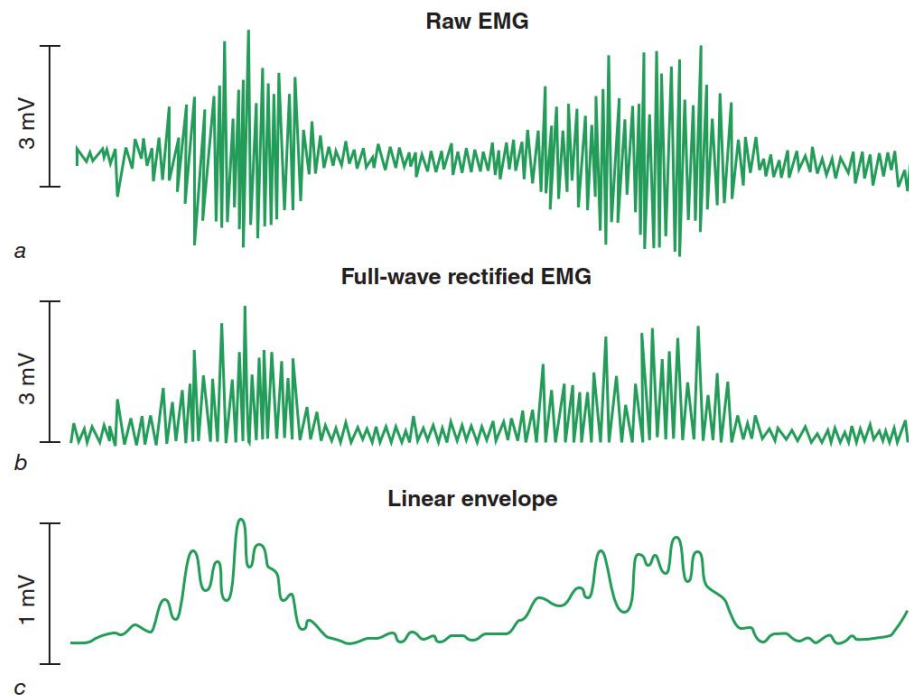
O sinal eletromiográfico obtido no domínio do tempo pode ser processado de diversas maneiras. Os principais tipos de processamento de sinal EMG no domínio temporal são a retificação, a integração, o envoltório linear e o RMS (DE LUCA, 1997).

A retificação é um processo que irá transformar um sinal que possui componentes de tensão positiva e negativa em um sinal com apenas componentes de tensão positiva. Na retificação de meia onda as componentes de tensão negativa do sinal bruto são removidas, enquanto na retificação de onda completa as componentes de tensão negativa são invertidas e, portanto, se tornam positivas. Em outras palavras é como se as componentes de tensão negativas fossem “rebatidas” (SEDRA; SMITH, 2007). Na Figura 7 pode-se verificar um exemplo de sinal EMG que passou por retificação de onda completa.

Após a retificação pode-se utilizar um filtro passa-baixa para suavizar o sinal. O filtro passa-baixa atuará eliminando sinais com comportamento oscilatório de alta frequência, o que causa um alisamento do sinal e permite que a observação da amplitude do sinal eletromiográfico seja facilitada.

Este processamento é chamado de envelope ou envoltório linear e é comumente aplicado em situações em que se deseja analisar o nível de atividade elétrica muscular através da amplitude do sinal eletromiográfico. O envoltório linear é um processamento que utiliza filtro digital tipo FIR, que apresenta resposta ao impulso com duração finita, ou seja, uma média móvel, as frequências de corte devem ser estabelecidas de acordo com o objetivo da análise, entretanto frequências de corte entre 3 Hz e 50 Hz apresentam resultado satisfatório. (ROBERTSON et al, 2004). Na Figura 7 é possível observar um sinal EMG processado por envoltório linear.

Figura 7 - Exemplo de sinal EMG bruto (a), retificado onda-completa (b) e envoltório linear (c)



Fonte: Adaptado de (ROBERTSON et al, 2004)

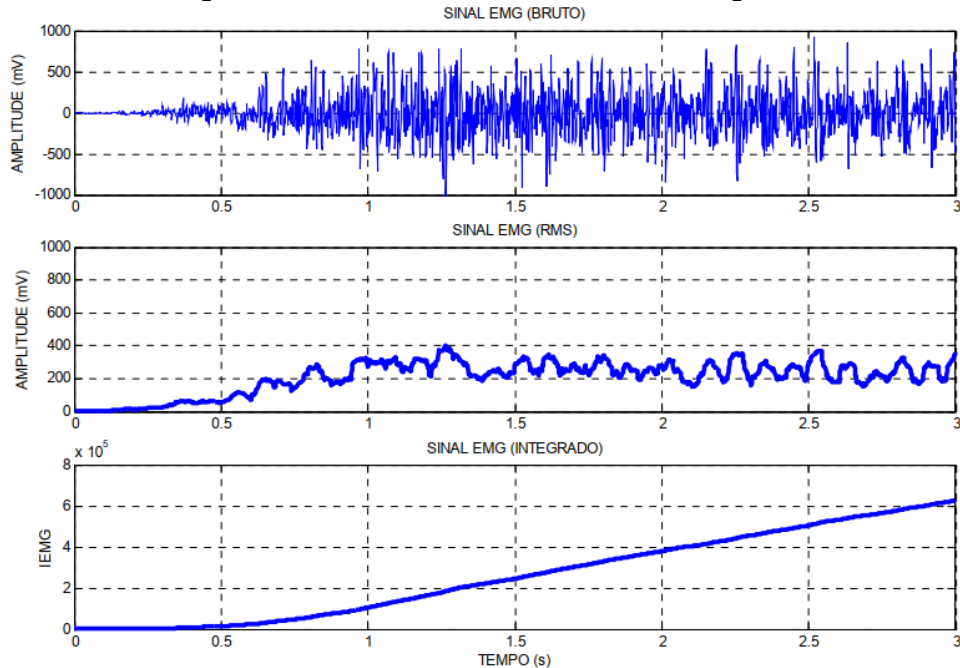
A integração do sinal EMG também pode ser realizada durante o processamento. O sinal eletromiográfico integrado (IEMG) é o sinal EMG após passar por um circuito eletrônico ou algoritmo computacional integrador. O circuito eletrônico integrador faz uma soma infinitesimal do sinal num intervalo de tempo determinado. O IEMG (Figura 8) apresenta alguns problemas, visto que ruídos e o próprio processo de retificação podem ocasionar distorções no sinal (MARCHETTI; DUARTE, 2006).

Outra técnica de processamento do sinal EMG, comumente utilizada, é a RMS. Para obter o sinal RMS utiliza-se a Equação (1) aplicada ao sinal bruto. Além disso, para ser possível analisar o sinal EMG RMS (Figura 8), no tempo, pode ser utilizado o RMS móvel com janelas sobrepostas, onde a janela no tempo é arrastada e sobreposta por toda a extensão do sinal possibilitando uma continuidade do cálculo RMS (DE LUCA, 1997).

Equação 1 - Root Mean Square (RMS)

$$RMS[EMG(t)] = \left[\frac{1}{T} \int_t^{t+T} EMG^2(t) dt \right]^{1/2} \quad (1)$$

Figura 8 - Sinal EMG bruto, RMS e integrado



Fonte: Adaptado de (MARCHETTI; DUARTE, 2006)

Foi mencionado anteriormente que o sinal EMG pode ser acometido por diversos tipos de interferências, desde interferências intrínsecas tais como diâmetro das fibras musculares e velocidade de condução do músculo, até interferências extrínsecas tais como distância dos eletrodos e condições do ambiente.

Devido a essa grande quantidade de possíveis interferências, torna-se imprescindível que, para uma avaliação de sinais eletromiográficos oriundos de vários pacientes, ou de diferentes músculos ou diferentes medições, seja utilizada uma técnica de normalização de dados.

As técnicas de normalização possibilitam que os valores absolutos de amplitude obtidos através de uma medição sejam convertidos em valores proporcionais a um valor de amplitude máximo que será estabelecido como 100%. A normalização é uma ótima técnica para obter uma análise mais pertinente dos dados, entretanto se não houver uma correta padronização de posição e esforços de ativação muscular os resultados podem ser afetados por estas interferências (SILVA JUNIOR,

2013). Existem inúmeras técnicas de normalização para análise de sinais eletromiográficos. A seguir serão mencionadas as técnicas mais utilizadas em pesquisas e teses.

A técnica de normalização por Contração Voluntária Máxima Isométrica (CVMI) usa o maior valor obtido de uma contração muscular isométrica máxima como valor de referência, sendo que cada músculo analisado terá o seu próprio valor de CVMI de referência (WINTER, 2009).

De acordo com Burden e Bartlett (1999), a técnica de normalização por Pico Máximo do Sinal EMG utiliza o valor de pico do sinal EMG obtido de um movimento ou de um ciclo de movimentos como valor de referência, ou seja, o valor de pico encontrado será definido como 100%. Por outro lado, a técnica de normalização por Valor Médio do Sinal EMG usa o valor médio do sinal EMG, obtido da contração, como valor de referência (valor que será definido como 100%).

Outra técnica também utilizada é a técnica de normalização por Valor Fixo do Sinal EMG que, de acordo com Marchetti e Duarte (2006), utiliza o valor de uma contração submáxima ou contração isométrica submáxima como valor de referência para normalização.

Outro método para obter informações do sinal eletromiográfico é a análise no domínio de frequências. Utilizando a Transformada de Fourier é possível obter o espectro de frequências do sinal. Através da análise do sinal EMG no domínio de frequências pode-se inferir conclusões sobre a taxa de disparo das unidades motoras e a forma dos potenciais de ação (MARCHETTI; DUARTE, 2006).

2.6 Estado da Arte

Para a pesquisa de estado da arte deste trabalho de graduação foram utilizadas as seguintes palavras-chave: electromyography, extensor muscles, hand. As pesquisas foram realizadas nos sites: Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Acadêmico, Science Direct, Periódico CAPES, World Wide Science e outros.

O Quadro 2 apresenta trabalhos relevantes encontrados na pesquisa, os quais utilizam o sinal eletromiográfico para análise de músculos extensores da mão através da eletromiografia de superfície.

Quadro 2 - Trabalhos selecionados

(continua)

Autor (Ano)	Nome (PT)	Músculo Analisado	Metodologia
Zacharias et al. (2017)	Análise eletromiográfica de flexores e extensores de punho em sujeitos com osteoartrite de mão	FUC: flexor ulnar do carpo FSD: flexor superficial dos dedos EXT: extensores do punho	Utilização do eletromiógrafo Trigno™ Wireless System (Delsys Inc., Boston, EUA) para avaliação da magnitude da ativação dos músculos do punho durante a realização de duas atividades manuais.
Brorsson et al. (2014)	Diferenças na atividade muscular durante tarefas de destreza manual entre mulheres com artrite e um grupo de referência saudável	EDC: músculo extensor comum dos dedos FCR: músculo flexor radial do carpo	Utilização do sistema Biomonitor ME6000 de 8 canais (Mega Electronics Ltd., Kuopio, Finlândia) para avaliação do sinal EMG dos músculos da mão dominante durante a execução de quatro exercícios manuais e quatro tarefas diárias.
Xu et al. (2015)	Recrutamento e coordenação muscular após terapia de movimento induzido por restrição com estimulação elétrica em crianças com paralisia cerebral hemiplégica: um estudo controlado randomizado	Extensores radial do carpo e extensores dos dedos do membro superior envolvido	Utilização do sistema de análise EMGs Flexcomp Infiniti para avaliar flexores e extensores do punho dos indivíduos ao segurar um peixe-pau cilíndrico com força máxima. Cada teste durou 10 segundos seguidos de 10 segundos de descanso, três vezes seguidas.

Fonte: Elaboração do próprio autor

Quadro 2 - Trabalhos seleccionados

(continua)

Autor (Ano)	Nome (PT)	Músculo Analisado	Metodologia
Kinali e Üçsular (2018)	Detecção de sintomas precoces de transtornos traumáticos cumulativos entre mães de crianças deficientes: um estudo piloto	Músculo extensor do punho (músculo extensor radial longo do carpo, músculo extensor radial curto do carpo, músculo extensor ulnar do carpo)	Utilização do eletromiógrafo BIOPAC (Biopac Systems, CA, EUA) para analisar os músculos extensores do punho, a força de preensão manual dominante foi medida simultaneamente com o dinamômetro de mão do mesmo aparelho.
Kimura et al. (2022)	Atividade aumentada dos músculos extensores do antebraço induzida por estimulação vibratória da palma da mão em indivíduos com hemiplegia subaguda pós-AVE	ECD: extensor comum dos dedos Músculos extensores do antebraço FSD: flexor superficial dos dedos	Utilização do sistema dedicado EMG Multi Analysis Programe MaP1038L (Nihonsanteku Co., Ltd., Osaka, Japão; frequência de amostragem 2048 Hz) para registrar o sinal EMGs dos músculos extensores e flexores do antebraço durante a aplicação de estimulação vibratória na palma da mão.
Petten e Ávila (2010)	Efeito do uso de órtese de punho na ativação da musculatura flexora e extensora do punho	Músculos flexores e extensores do punho	Utilização de Testes Funcional da Mão de Jebsen-Taylor e de Força de Preensão (dinamômetro Jamar®), sendo que os testes foram realizados apenas com a mão dominante, de forma simultânea. foi coletado sinal EMGs nos grupos musculares flexores e extensores do antebraço.
Souza et al. (2017)	Fadiga dos músculos extensores do punho diminui a força de preensão palmar	ERC: extensor radial do carpo EUC: extensor ulnar do carpo FD: flexor superficial dos dedos	Utilização da dinamometria e EMGs para avaliar os efeitos de um protocolo de fadiga dos músculos extensores de punho na força de preensão e da pinça lateral.
Yoon, An e Yoo (2008)	Efeitos de uma tala de extensão do punho na força muscular e nas atividades dos músculos do antebraço: comparação entre as instruções de uso diurno e noturno	FCU: flexor ulnar do carpo ECR: extensor radial do carpo	Medição da força da mão do flexor e extensor do punho e a força de preensão utilizando PowerTracky e Dynatron, de forma simultânea obteve-se o sinal EMGs dos flexores e extensores do punho.

Fonte: Elaboração do próprio autor

Quadro 2 - Trabalhos selecionados

(continua)

Autor (Ano)	Nome (PT)	Músculo Analisado	Metodologia
Silva (2016)	Caracterização de três testes funcionais do membro superior: Contribuições da eletromiografia para a terapia ocupacional	TFS: músculos trapézio fibras superiores DFA: deltóide fibras anteriores DFP: deltóide fibras posteriores PM: peitoral maior BB: bíceps TB: tríceps braquial ERC: extensor radial curto do carpo FSD: flexor superficial dos dedos	Utilização do eletromiógrafo MioTool - 400® (Miotec Equipamentos Biométricos S.A, RS, Brasil) e realização de Testes Funcionais Padronizados.
Moreno (2021)	Estudo e desenvolvimento de uma prótese de mão mioelétrica	ERC: extensor radial do carpo FUC: flexor ulnar do carpo FSD: flexor superficial dos dedos	Foi utilizado circuito de aquisição do sinal próprio montado em laboratório para identificar o sinal EMGs dos músculos de interesse.
Monsabert et al. (2020)	Modelagem das relações força-comprimento-ativação dos músculos extensores do punho e dedos	ECR: extensor radial do carpo EDC: extensor comum dos dedos	Utilização de ergômetro especialmente adaptado para a mão (Bio2M, Compiègne, França) e <i>biofeedback</i> EMGs.
Vinstrup (2017)	Exercícios de fortalecimento da mão em pacientes com AVC crônico: avaliação dose-resposta usando eletromiografia	FDS: músculo flexor superficial dos dedos ED: extensor dos dedos	Utilização de eletromiógrafo de superfície bipolar (Neuroline 720 01-K (Medicotest A/S, Ølstykke, Dinamarca) com uma distância entre eletrodos de 2 cm.
Severijns et al. (2016)	Fatigabilidade motora após exercícios de preensão palmar de baixa intensidade em pessoas com esclerose múltipla	ERLC: extensor radial longo do carpo ERCC: extensor radial curto do carpo FRC: flexor radial do carpo (Cram et al., 1998)	Utilização de dinamômetro de mão digital E-link (Elink, Biometrics Ltd, Newport, UK) e eletromiógrafo Trigno wireless system (Delsys Inc, Natick, MA, USA).
Tossini et al. (2019)	Comprometimento da ativação elétrica dos músculos flexores e extensores do punho durante atividades de preensão e funcionais no estágio inicial da osteoartrite da mão: um estudo transversal	FSD: flexor superficial dos dedos FCU: flexor ulnar do carpo EXT: extensores	Utilização de dinamômetro hidráulico manual JAMAR (Hydraulic Hand Dynamometer e ModelPC-5030J1, Fred Sammons, Inc, Burr Ridge, IL) e eletromiógrafo Trigno Wireless Sensor (sensor Trigno EMG, Delsys Inc, Boston, MA).

Fonte: Elaboração do próprio autor

Quadro 2: Trabalhos selecionados

(conclusão)

Autor (Ano)	Nome (PT)	Músculo Analisado	Metodologia
Jitaree e Phukpattaranont (2019)	Classificação de força usando eletromiografia de superfície de vários comprimentos de objetos e posturas de punho	AP: adutor do polegar APB: abdutor curto do polegar FDI: primeiro interósseo dorsal FPL: flexor longo do polegar EPL: extensor longo do polegar	Utilização do eletromiógrafo MP150 (BIOPAC system) e de quatro classificadores de força, incluindo LDA, Naïve Bayes (NB), random forest, e k-nearest neighbor (KNN).
Chen et al. (2007)	Reconhecimento de vários gestos manuais com base no sinal EMG de superfície	EI: extensor do indicador ECP: extensor curto do polegar ELP: extensor longo do polegar ALP: abdutor longo do polegar EDM: extensor do dedo mínimo ECD: extensor comum dos dedos EUC: extensor ulnar do carpo	Utilização do eletromiógrafo DELSYS BAGNOLI-2 EMG.
Chen e Wang (2012)	Reconhecimento de padrões de gestos numéricos com base em um sistema EMG de superfície sem fio	ECP: extensor curto do polegar ECD: extensor comum dos dedos FPDM: flexor profundo dos dedos para o dedo mínimo FSD: flexor superficial dos dedos	Utilização de sistema EMGs composto por INA333 (Texas Instruments, Inc., Dallas, TX), conversor analógico digital TelosB mote (Crossbow, Inc., Milpitas, CA) com utilização de unidade de transmissão sem fio. Utilizada uma plataforma de software baseada em Java em um computador.
Didomenico e Nussbaum (2008)	Estimativa das forças exercidas pelos dedos usando eletromiografia de superfície padronizada do antebraço	EUC: extensor ulnar do carpo ECD: extensor comum dos dedos FRC: flexor radial do carpo FUC: flexor ulnar do carpo e palmar longo FPL: flexor palmar longo	Utilização de transdutor de força strain gauge para determinar a força exercida pelos dedos em cada exercício e eletromiógrafo de superfície.

Fonte: Elaboração do próprio autor

Em seu estudo, Zacharias et al. (2017) utilizaram a EMGs para analisar músculos flexores e extensores de punho em sujeitos com osteoartrite de mão, comparando o sinal EMG destes sujeitos com o sinal EMG de sujeitos saudáveis. A EMGs neste estudo foi utilizada com o objetivo de mensurar a magnitude de ativação dos músculos extensores e flexores do punho. A avaliação da magnitude da ativação

dos músculos do punho foi feita enquanto o voluntário escrevia a palavra “paralelepípedo” e ao cortar um papel com tesoura utilizando o eletromiógrafo Trigno™ Wireless System com frequência de amostragem de 1200 Hz e três eletrodos de superfície.

Os músculos analisados foram o flexor ulnar do carpo, flexor superficial dos dedos e extensor radial longo e curto do carpo. Antes de posicionar os eletrodos da superfície foi realizada a tricotomia e limpeza da pele com álcool 70° INPM.

Neste estudo a análise dos dados provenientes da EMGs não foi suficiente para mensurar diferença estatística na média de atividade elétrica dos músculos flexores e extensores do punho que foram avaliados.

Essa inconclusão por parte dos dados da EMGs foi justificada pelos autores como possivelmente decorrente do fato de que os voluntários, com diagnóstico médico de osteoartrite de mão, estarem nos graus iniciais da doença e, portanto, ainda não haviam tido comprometimento da atividade muscular.

Apesar de tal inconclusão, Zacharias et al. (2017) observou que os músculos extensores tiveram maior atividade elétrica do que os outros músculos analisados em ambos os grupos de voluntários (sujeitos com osteoartrite de mão e sujeitos saudáveis), o que indica que nos graus iniciais da osteoartrite de mão a ativação muscular dos músculos extensores não foi afetada.

Brorsson et al. (2014) em seu artigo de pesquisa sobre diferenças na atividade muscular durante a realização de tarefas manuais entre mulheres com artrite reumatoide e mulheres saudáveis, utilizou a EMGs para analisar a ativação muscular do músculo extensor comum dos dedos e do músculo flexor radial do carpo. O procedimento para avaliar a ativação muscular utilizando a EMGs foi feito durante a realização de atividades manuais do dia a dia e os eletrodos foram fixados na mão dominante. Para a EMGs foi feita a limpeza da pele com álcool etílico, em seguida foram fixados três eletrodos de superfície descartáveis de Ag/AgCl, dois sobre o ventre muscular do músculo de interesse e alinhados com a direção das fibras musculares, o terceiro eletrodo foi utilizado como eletrodo de referência e foi fixado sobre a ulna.

Utilizou-se o eletromiógrafo ME6000 8-channel Biomonitor (Mega Electronics Ltd., Kuopio, Finland) com frequência de amostragem de 1000 Hz e a obtenção de medidas teve padronização quanto à posição sentada, quanto as instruções verbais e

encorajamento, quanto ao tipo de exercício, e todas as medidas foram realizadas pelo mesmo avaliador.

Brorsson et al. (2014) concluíram que o grupo de voluntárias mulheres com artrite reumatoide apresentam maior grau de ativação do músculo extensor comum dos dedos e do músculo flexor radial do carpo, durante a realização de atividades manuais diárias, do que o grupo de mulheres saudáveis, o que significa que pessoas com artrite reumatoide têm força de extensão dos dedos prejudicada.

A importância do estudo de Brorsson et al. (2014) se dá pelo fato de haver pouca informação sobre as consequências da artrite reumatoide para a ativação dos músculos extensores e flexores da mão. Além disso os dados sobre a ativação muscular podem ser indicadores de quais exercícios podem ser mais ou menos eficazes para recompor a força muscular destes pacientes.

Neste estudo Brorsson et al. (2014) inferiram que a artrite reumatoide parece afetar igualmente os músculos extensores e flexores do punho, e recomendou que os exercícios para tratamento preparem para a execução de tarefas manuais do dia a dia e que incluam a força extensora do punho.

Xu et al. (2015) utilizou a EMGs para investigar mudanças no recrutamento e coordenação muscular em crianças com paralisia cerebral hemiplégica com disfunção da mão após três distintas terapias: Terapia de Movimento Induzido por Constrição, Terapia de Movimento Induzido por Constrição com eletroestimulação e terapia ocupacional tradicional. O tratamento de eletroestimulação foi aplicado nos músculos extensores do punho da mão com disfunção. Para avaliar os resultados das terapias, as crianças foram submetidas a avaliações clínicas e de EMGs no início do tratamento, 2 semanas após o tratamento, 2 e 6 meses após o tratamento. Por meio da EMGs foram registrados os valores RMS dos sinais de EMGs, o EMG integrado (iEMG) e a taxa de cocontração. De acordo com Xu et al. (2015, p. 5, tradução nossa):

O RMS aborda a quantificação do sinal EMG de superfície elevando os dados ao quadrado, somando os quadrados, dividindo a soma pelo número de observações e, finalmente, obtendo a raiz quadrada. A iEMG reflete a descarga total das unidades motoras envolvidas no movimento e a descarga de cada unidade durante um determinado tempo. A taxa de cocontração pode refletir a coordenação e ativação de grupos musculares agonistas e antagonistas.

Para o procedimento de EMGs foi utilizado o sistema Flexcomp Infinity utilizando eletrodos de superfície fixados nos músculos flexores e extensores do punho. Para obter o sinal, as crianças seguraram com força máxima um peixe

cilíndrico de madeira durante 10 segundos, em seguida descansavam por 10 segundos. Esse procedimento foi realizado três vezes seguidas.

Xu et al. (2015) concluíram a partir dos resultados da EMGs RMS que a Terapia de Movimento Induzido por Constrição com eletroestimulação apresenta uma maior taxa de melhora dos extensores do punho e um melhor resultado de recrutamento e da coordenação muscular em crianças com paralisia cerebral hemiplégica e que “os resultados também sugerem que a EMGs é um método eficaz na avaliação da função manual em crianças com paralisia cerebral hemiplégica” (XU et al., 2015, p. 5, tradução nossa).

Kinali e Üçsular (2018) utilizaram a EMGs em um estudo piloto para desenvolver um método para diagnosticar sintomas precoces de transtornos traumáticos cumulativos entre mães de crianças com deficiência. O estudo foi realizado com 20 voluntárias, sendo 10 mães de crianças saudáveis e 10 mães de crianças com paralisia cerebral, todas foram submetidas a EMGs durante contração isométrica máxima através do ponto motor do músculo extensor do punho utilizando o eletromiógrafo BIOPAC (Biopac Systems, Santa Barbara, CA, EUA) com dois eletrodos de superfície de Ag-Cl fixados sobre o músculo extensor do punho com cerca de 0,5 cm de distância entre si, e um eletrodo de referência fixado no processo estilóide ulnar.

As voluntárias também tiveram a força de preensão manual dominante medida simultaneamente com o dinamômetro de mão do próprio eletromiógrafo BIOPAC. O registro de EMGs e medição com dinamômetro foram repetidos 3 vezes e utilizou-se uma posição padronizada onde as voluntárias apresentavam “0° de flexão de ombro, 0° de abdução de ombro, 90° de flexão de cotovelo e com o antebraço na linha média na posição sentada, durante 5 segundos de preensão máxima” (KINALI; ÜÇSULAR, 2018, p. 197, tradução nossa).

O tratamento dos dados da EMGs foi realizado no software MATLAB no qual foi obtido a raiz quadrada média, ou seja, o sinal EMGs RMS. Os resultados demonstraram haver diferenças consideráveis e, comparando-se os dados obtidos com a EMGs e com dinamômetro do grupo de mães de crianças saudáveis com o grupo de mães de crianças com deficiência, observou-se que as mães de crianças com deficiência apresentaram valores menores de força de preensão palmar média e de potencial elétrico dos músculos extensores do punho (obtido pela EMGs), segundo Kinali e Üçsular (2018, p. 197, tradução nossa):

Para as medidas eletromiográficas, o valor médio do sinal eletromiográfico obtido dos pontos motores dos músculos extensores do punho de mães de crianças saudáveis foi de $0,31 \pm 0,08$ mV e a média da força de preensão manual bruta foi de $28,5 \pm 2,08$ kg. A média da força bruta de preensão manual das mães das crianças em reabilitação foi calculada em $7,0 \pm 1,1$ kg e o valor médio do sinal eletromiográfico dos pontos motores dos músculos extensores foi de $0,17 \pm 0,02$ mV.

A conclusão de Kinali e Üçsular (2018) foi de que os dados demonstraram diferença estatisticamente significativa e, que os valores menores de potencial elétrico dos músculos extensores do punho e força de preensão manual apresentados pelas mães de crianças com deficiência indicam sinais precoces de transtornos traumáticos cumulativos e região do punho mais danificada do que a das mães de crianças saudáveis.

Sobre a utilização de EMGs e dinamômetro afirmou-se que:

Até onde sabe-se, não há relatos nacionais e internacionais publicados sobre o potencial elétrico e a força dos músculos estriados em associação com problemas de saúde física em mães de deficientes. Neste estudo piloto, os resultados mostram que as mães de crianças dependentes em termos de transferência e atividades diárias podem ter redução da ativação muscular do punho e força de preensão manual. (KINALI e ÜÇSULAR, 2018, p. 199, tradução nossa).

Kinali e Üçsular (2018) utilizaram o próprio dinamômetro de mão do aparelho de eletromiografia BIOPAC (Biopac Systems, Santa Barbara, CA, EUA) para obter a força bruta de preensão manual dominante de forma simultânea à obtenção do sinal EMG.

Na metodologia, a posição de medição padronizada foi de 0° de flexão de ombro, 0° de abdução de ombro, 90° de flexão de cotovelo, antebraço na linha média na posição sentada, com cinco segundos de preensão máxima.

Como conclusão, os autores Kinali e Üçsular (2018) mencionam a importância de se levar em consideração dados sobre potencial elétrico e força dos músculos estriados para a prevenção e detecção precoce de distúrbios musculoesqueléticos, que podem acometer mães de crianças com deficiência, além de sugerirem a utilização de fisioterapia preventiva e reabilitação como forma de prevenção.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada neste trabalho de graduação, o que envolve a descrição do circuito eletrônico utilizado, as etapas de montagem do eletromiógrafo e o procedimento para captação de sinais dos músculos extensores da mão.

3.1 Materiais e Etapas de Montagem

Os seguintes materiais foram utilizados neste trabalho de graduação:

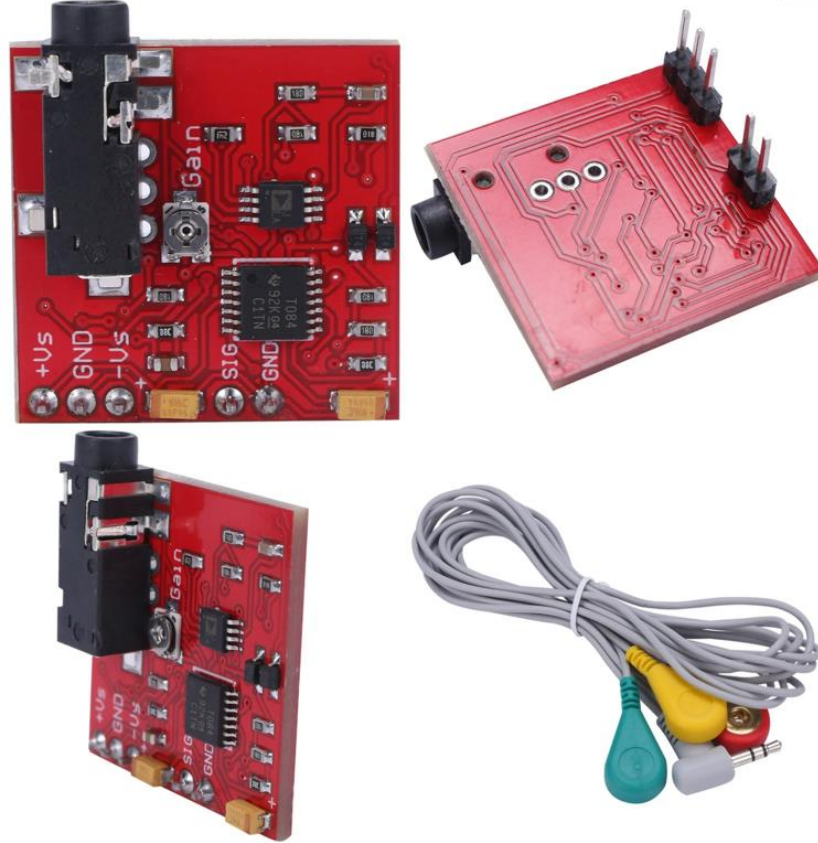
- Eletrodos de superfície;
- Cabo para eletrodos de superfície bipolar que usa três pontos de detecção;
- Circuito de condicionamento de sinais eletromiográficos;
- Microcontrolador Arduino Uno;
- Cabo USB para Arduino Uno;
- Protoboard;
- Cabos para protoboard;
- Fonte de corrente contínua;
- Lâmina de barbear para tricotomia;
- Álcool 70º INPM;
- Algodão;
- Caneta esferográfica;
- Notebook.

O circuito de condicionamento de sinais eletromiográficos utilizado (Figura 9) é um circuito comercial facilmente encontrado em diversos sites de venda de componentes eletrônicos e comumente utilizado na implementação de próteses ortopédicas, controles de vídeo games, robôs e até exoesqueletos.

O kit do circuito de condicionamento de sinais eletromiográficos (Figura 9) é composto por uma pequena placa com o circuito eletrônico e cabos para eletrodos de superfície bipolares que usam três pontos de detecção. O circuito de condicionamento de sinais eletromiográficos é uma placa quadrada pequena, com área de 1 polegada

x 1 polegada, além disso possui ganho ajustável através de um trimpot e conector de entrada para cabo de 3,5 mm.

Figura 9 - Circuito de condicionamento de sinais eletromiográficos.



Fonte: Adaptado de Advancer Technologies (2013)

Na Figura 10 é possível ver o esquema de pinagem do circuito de condicionamento de sinais eletromiográficos. A alimentação deste circuito é feita pelos pinos +Vs, GND e -Vs.

Neste trabalho foi utilizada uma fonte de corrente contínua fornecendo alimentação simétrica de +9V, -9V e, GND, que foram, respectivamente, conectadas aos pinos de alimentação +Vs, -Vs, e GND do circuito de condicionamento. O sinal de entrada é obtido pelo cabo para eletrodos de superfície bipolar que usa três pontos de detecção que é conectado na entrada de 3,5 mm e o sinal de saída é obtido através dos pinos SIG e GND do circuito de condicionamento de sinais.

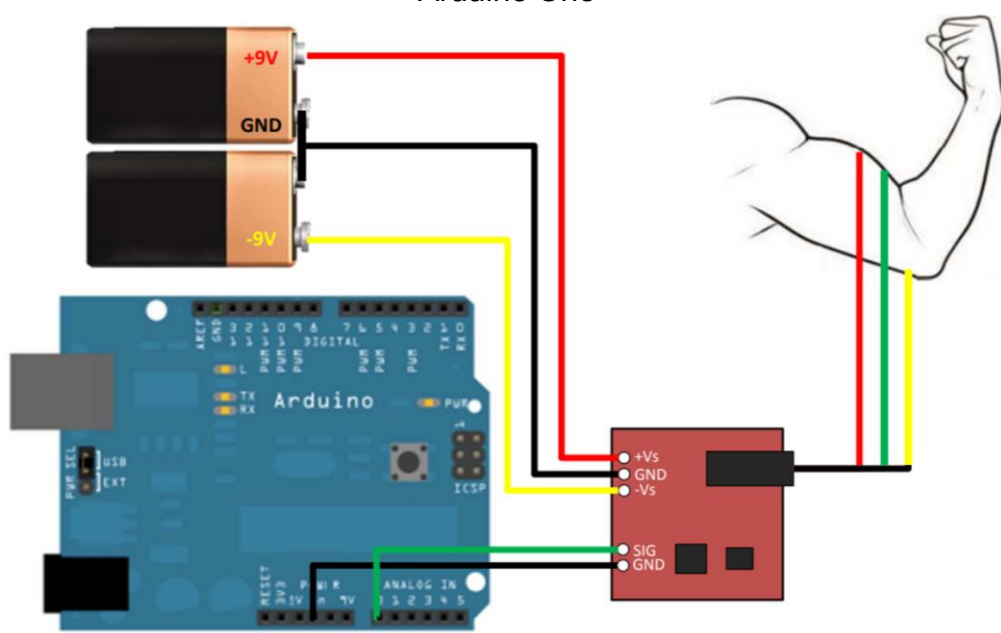
Figura 10 - Pinagem do circuito de condicionamento de sinais eletromiográficos.



Fonte: Advancer Technologies (2013)

A ligação do circuito de condicionamento de sinais eletromiográficos ao microcontrolador Arduino Uno foi feita conectando o pino SIG à porta analógica A0 do Arduino Uno e conectando o pino GND de saída do circuito de condicionamento ao pino GND do Arduino Uno, como pode ser visto no esquemático da Figura 11.

Figura 11 - Alimentação do circuito de condicionamento EMG e conexão com o Arduino Uno



Fonte: Adaptado de Advancer Technologies (2013)

O Arduino Uno foi conectado ao *notebook* através do cabo USB para Arduino Uno e no *notebook* foi utilizado o recurso Serial Plotter no software Arduino IDE para obter a visualização gráfica ao longo do tempo do sinal recebido pelo Arduino na porta analógica A0. O algoritmo utilizado pode ser visualizado na Figura 12.

Figura 12 - Algoritmo *Serial Plotter* Arduino

```

1 void setup() {
2   Serial.begin(1200); //inicializa a comunicação serial em 1200 bits por segundo
3 }
4
5 void loop() {
6
7   int voltage_steps = analogRead(A0); //lê os passos de tensão
8
9   float voltage = voltage_steps * (5/1023.0); //calcula o valor da tensão
10
11
12   Serial.println(voltage); //imprime a tensão
13
14 }

```

Fonte: Elaborado pelo autor

O circuito de condicionamento de sinais eletromiográficos é apresentado na Figura 13. O circuito pode ser dividido em blocos. O primeiro bloco é o de pré-amplificação, que é formado por uma resistência de 240 Ω e pelo amplificador de instrumentação de precisão AD8221.

Este amplificador tem o ganho definido através de um resistor $R_1 = R_G = 240 \Omega$, além disso por ser um amplificador de instrumentação apresenta elevado CMRR CC de 90 dB min para $G = 1$ e elevada impedância de entrada, o que contribui para eliminar sinais ruidosos de modo comum e lhe confere um desempenho CC de alta precisão.

A Equação 2 é a função de transferência do AD8221. Utilizando $R_G = 240 \Omega$, pode-se concluir que o ganho é de aproximadamente $G = 206,83$. Esta pré-amplificação, com ganho fixo, é necessária para previamente amplificar o sinal e tornar possível a sua filtragem (XAVIER, 2016).

Equação 2 - Função de transferência do AD8221

$$G = 1 + \frac{49,4k\Omega}{R_G} \quad (2)$$

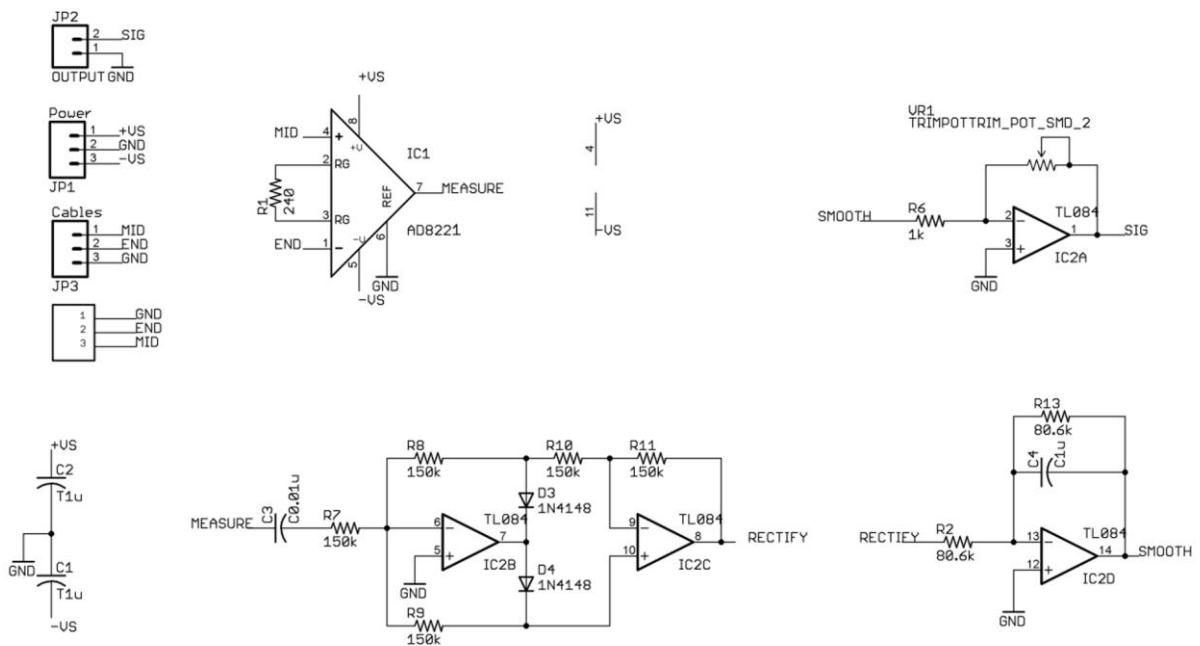
O segundo bloco do circuito consiste em um circuito retificador de onda completa composto por cinco resistores de 150 k Ω , dois diodos 1N4148, dois

amplificadores operacionais TL084 e um capacitor de $0,01 \mu\text{F}$. Esta etapa garante que o sinal de saída terá apenas sinais positivos.

O terceiro bloco do circuito consiste em um filtro ativo passa-baixas de 1ª ordem, sendo formado por dois resistores de $80,6 \text{ k}\Omega$, um capacitor de $1 \mu\text{F}$ e um amplificador operacional TL084. Filtros passa-baixas são comumente utilizados em circuitos de condicionamento de sinais mioelétricos para eliminar sinais ruidosos de alta frequência e para realizar a análise por meio de envoltório linear.

O quarta e último bloco do circuito consiste em um amplificador inversor, que é composto por um amplificador operacional TL084, um resistor de $1 \text{ k}\Omega$ e um trimpot que possibilita realizar o ajuste do ganho do amplificador.

Figura 13 - Circuito eletrônico do circuito de condicionamento de sinais eletromiográficos



Fonte: Adaptado de Advancer Technologies (2013)

3.2 Métodos e Desenvolvimento

Neste trabalho de graduação analisou-se os sinais eletromiográficos do músculo extensor comum dos dedos e do músculo extensor longo polegar.

O músculo extensor comum dos dedos atua nas extensões do 2º, 3º, 4º e 5º dedos. A origem deste músculo é no epicôndilo lateral do úmero pelo tendão extensor comum, e a inserção é por aponeurose dorsal no 2º, 3º, 4º e 5º dedo.

Neste trabalho será analisado o músculo extensor comum com foco na sua ação na articulação metacarpofalangeana que se trata da extensão do 2º, 3º, 4º e 5º dedo. Não será analisada a ação de dorso-flexão e extensão que também pode ser realizada no punho pelo músculo extensor comum dos dedos.

O músculo extensor longo do polegar atua na extensão do 1º dedo, a origem deste músculo é no quarto distal da face posterior da ulna e na membrana interóssea e, a inserção é na base da falange distal do 1º dedo. O músculo extensor longo do polegar atua como adutor na articulação carpometacarpal do polegar, na extensão com abdução da articulação do punho e na extensão da falange distal do polegar, entretanto neste estudo será apenas analisada a ação de extensão da falange distal do polegar.

De acordo com o projeto SENIAM a determinação do local de fixação do sensor deve ser feita após o paciente estar posicionado na postura inicial recomendada e padronizada, e a localização do sensor é definida pelo SENIAM (2023) como “a posição do centro de 2 eletrodos bipolares no músculo”.

O SENIAM não possui recomendação individual de localização dos eletrodos para a medição do músculo extensor comum dos dedos nem para os músculos extensores longo e curto do polegar, entretanto este recomenda que os eletrodos sejam fixados num ponto entre uma reta traçada entre os 2 marcos anatômicos (origem e inserção), que se tornam os pontos de referência. Como o SENIAM não possui recomendações individuais para os músculos de interesse deste trabalho, deve-se seguir as seguintes recomendações gerais:

Em relação à localização longitudinal do sensor no músculo, a SENIAM recomenda colocar o sensor a meio caminho da (mais) zona distal da placa motora e do tendão distal. Em relação à localização transversal do sensor no músculo, a SENIAM recomenda colocar o sensor na superfície longe da 'borda' com outras subdivisões ou músculos para que a distância geométrica do músculo a essas subdivisões e outros músculos seja maximizada. (SENIAM, 2023).

Além disso, é recomendado que os eletrodos estejam na direção das fibras musculares e ao fixar os eletrodos deve-se evitar o posicionamento sobre tendão, ponto motor e bordas do ventre.

O SENIAM informa sobre a importância da padronização da distância entre eletrodos para evitar *crosstalk*, e recomenda que a distância mínima entre os centros das áreas condutoras dos dois eletrodos bipolares seja de 20 mm.

Para músculos relativamente pequenos o SENIAM recomenda que a distância entre eletrodos não deve ser maior do que $\frac{1}{4}$ do comprimento da fibra muscular para evitar erros e ruídos decorrentes de efeitos de tendão e placa motora.

O SENIAM recomenda que o tamanho da área condutora do eletrodo de superfície seja de no máximo 10 mm, ao utilizar eletrodos bipolares de superfície o tamanho da área condutora deve ser grande o suficiente para conseguir registrar um bom sinal e pequeno o suficiente para evitar *crosstalk* (interferência de músculos vizinhos), ao se realizar diferentes medições deve-se padronizar o tamanho dos eletrodos.

Com base nessas recomendações a localização ideal dos eletrodos seria conforme mostrada na Figura 14 para os músculos extensor comum dos dedos e extensor longo do polegar.

O seguinte protocolo foi utilizado para obter os sinais eletromiográficos:

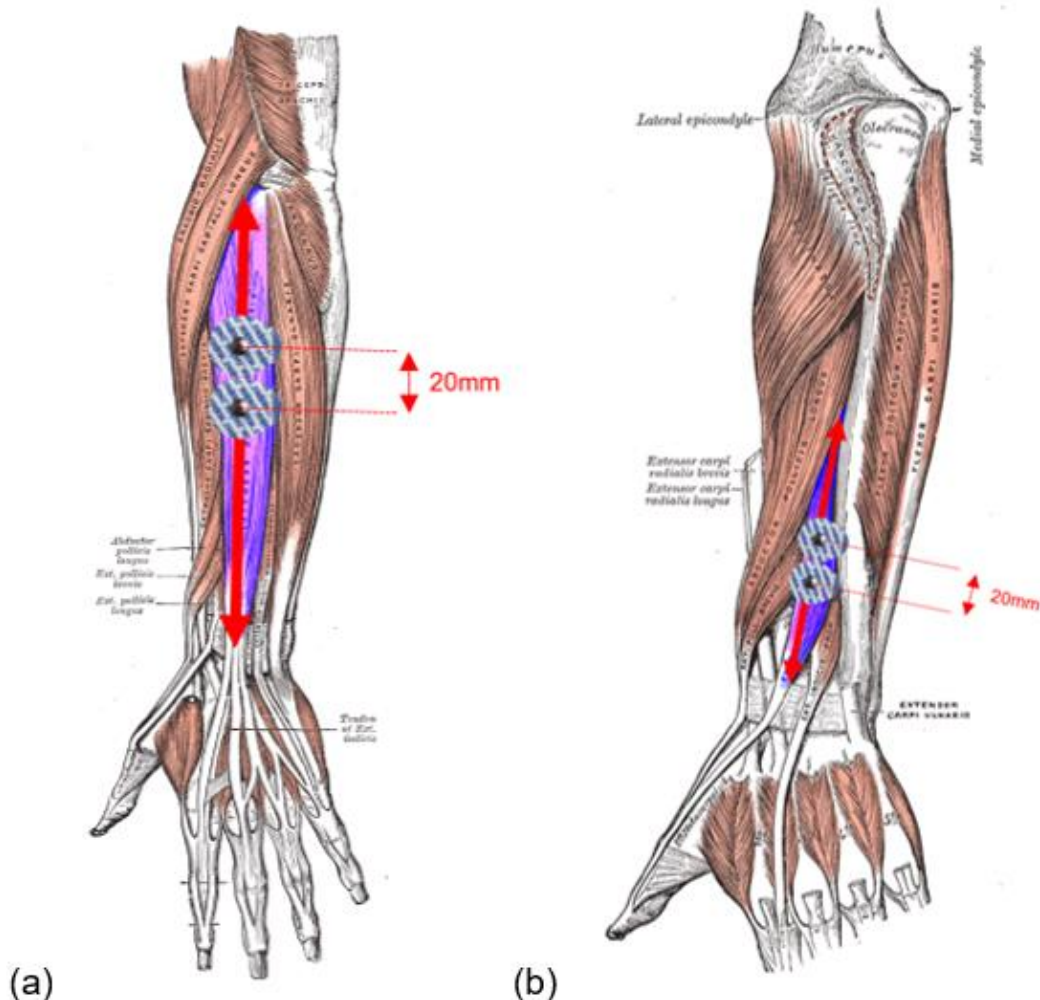
- Desligar luzes, ventiladores e demais equipamentos eletrônicos para minimizar ruídos;
- Posicionar o voluntário na postura inicial padronizada, voluntário sentado de modo confortável, com braço dominante apoiado na mesa, com 90° entre braço e antebraço e coxas paralelas ao chão com joelhos dobrados a 90° (Figura 15);
- Apalpação dos músculos do braço dominante para identificação e posterior marcação com caneta esferográfica da localização dos eletrodos;
- Tricotomia da pele com lâmina de barbear e álcool 70° INPM;
- Conexão dos eletrodos de superfície aos cabos;
- Fixação de dois eletrodos no ventre muscular e um eletrodo de referência em extremidade óssea (cotovelo), sendo que neste caso o eletrodo vermelho é fixado sobre o ventre muscular, o eletrodo verde é

fixado entre a inserção do músculo e o ventre muscular e o eletrodo amarelo é fixada na extremidade óssea do cotovelo;

- Realização de três contrações musculares, com descanso de 4 a 5 segundos entre cada uma delas;
- A cada diferente tipo de exercício para contração muscular realizou-se um descanso de 5 minutos.

Este protocolo foi elaborado utilizando as recomendações do SENIAM, os protocolos dos estudos citados no capítulo 2.6 Estado da Arte e o manual do fabricante do circuito de condicionamento de sinais.

Figura 14 - Localização dos eletrodos para o músculo extensor comum dos dedos (a) e para o músculo extensor longo do polegar (b)



Fonte: Adaptado de Gray (1918)

Figura 15 - Postura padronizada

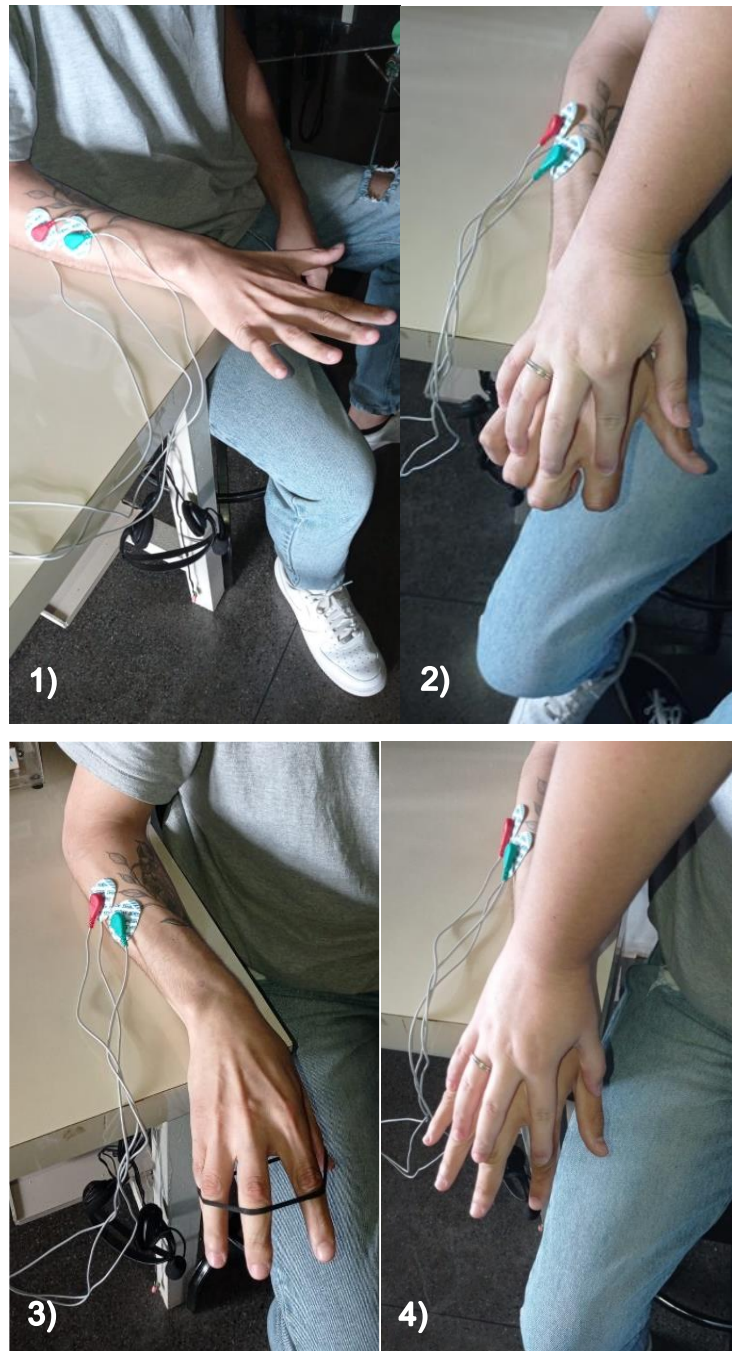


Fonte: Elaborado pelo autor

Para o músculo extensor comum dos dedos foram realizados quatro tipos/exercícios diferentes de contração muscular para observar o sinal eletromiográfico obtido. Os exercícios são descritos a seguir e podem ser visualizados na Figura 16.

- Exercício 1: Consiste em realizar a extensão dos dedos sem aplicação de resistência ao movimento e com o punho estabilizado;
- Exercício 2: Consiste na extensão das articulações metacarpofalângicas do 2° ao 5° dedo, com as articulações interfalângicas relaxadas, com o punho estabilizado e com aplicação de resistência ao movimento nas superfícies dorsais das falanges proximais;
- Exercício 3: Consiste em realizar a extensão dos dedos com aplicação de resistência de um elástico e com o punho estabilizado;
- Exercício 4: Consiste na extensão dos dedos com aplicação de resistência ao movimento nas superfícies dorsais das falanges proximais e com o punho estabilizado.

Figura 16 - Execução dos exercícios 1, 2, 3 e 4 (conforme indicação) para o músculo extensor comum dos dedos

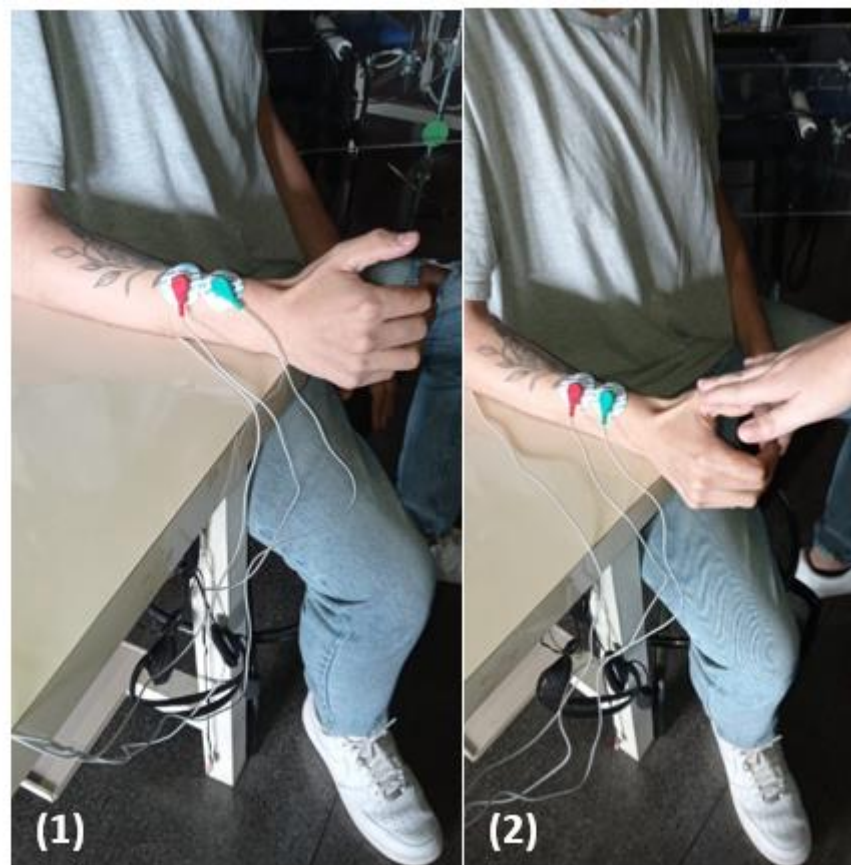


Fonte: Elaborado pelo autor

Para o músculo extensor longo do polegar foram realizados dois tipos/exercícios diferentes de contração muscular para observar o sinal eletromiográfico obtido. Os exercícios são descritos a seguir e podem ser visualizados na Figura 17.

- Exercício 1: Consiste em realizar a extensão do polegar com o punho estabilizado de modo que o polegar fique para cima e sem aplicação de resistência ao movimento;
- Exercício 2: Consiste em realizar a extensão do polegar com o punho estabilizado de modo que o polegar fique para cima e com aplicação de resistência ao movimento na falange distal do polegar (ponta do polegar).

Figura 17 - Execução dos exercícios 1 e 2 (conforme indicação) para o músculo extensor longo do polegar

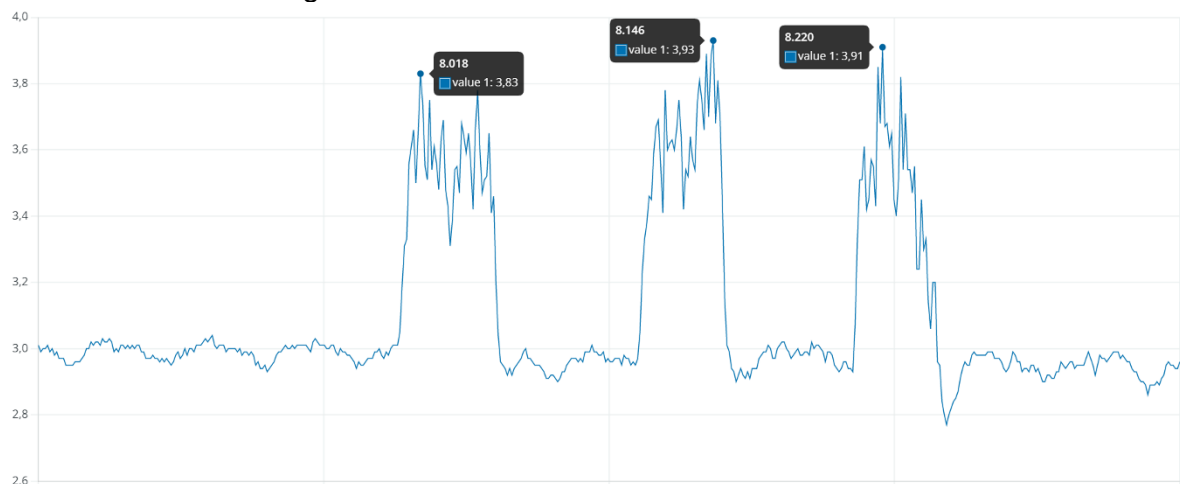


Fonte: Elaborado pelo autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 18 é apresentado o sinal eletromiográfico do músculo extensor comum dos dedos (MECD) quando foi realizado o Exercício 1, de extensão dos dedos, sem aplicação de resistência ao movimento, e com o punho estabilizado.

Figura 18 - Sinal EMG do MECD - Exercício 1

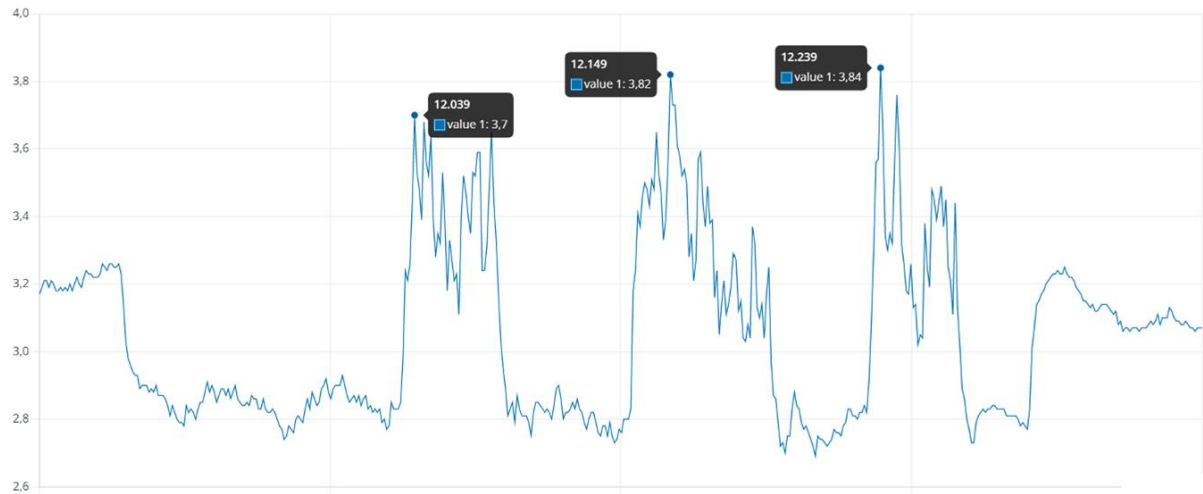


Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser visto na Figura 18, os picos das três contrações realizadas pelo voluntário foram de 3,83 V, 3,93 V e 3,91 V, portanto, obteve-se, para o MECD – Exercício 1, média e desvio-padrão de $3,89 \pm 0,04$ V, e Pico Máximo do Sinal EMG de 3,93 V.

O sinal eletromiográfico do MECD, quando foi realizado o Exercício 2, de extensão das articulações metacarpofalângicas do 2º ao 5º dedo, é apresentado Na Figura 19, com as articulações interfalângicas relaxadas, com o punho estabilizado e com aplicação de resistência ao movimento nas superfícies dorsais das falanges proximais.

Figura 19 - Sinal EMG do MECD - Exercício 2

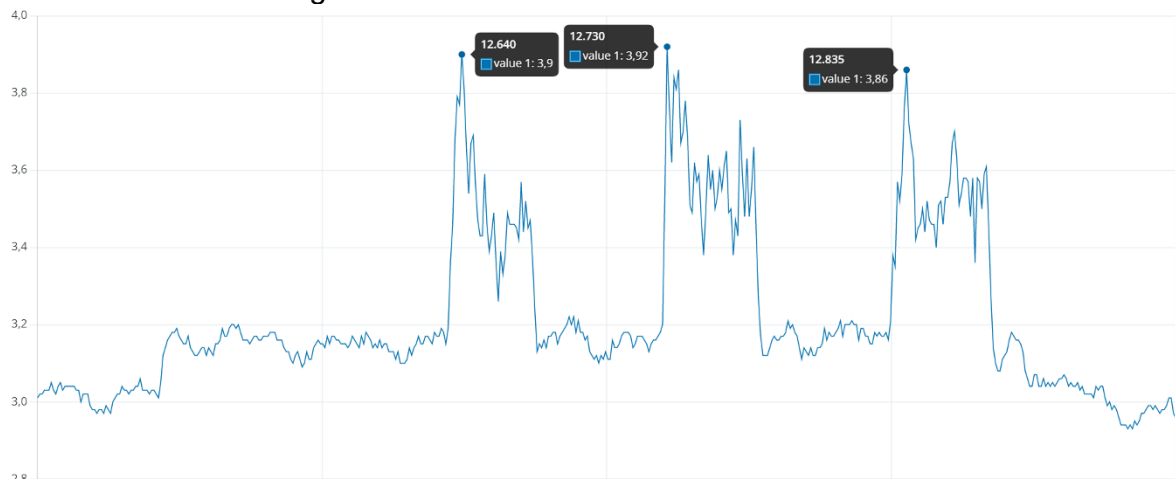


Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser observado na Figura 19, os picos das três contrações realizadas pelo voluntário foram de 3,70 V, 3,82 V e 3,84 V. Portanto, obteve-se para o MECD – Exercício 2, média e desvio-padrão de $3,79 \pm 0,06$ V e Pico Máximo do Sinal EMG de 3,84 V.

Na Figura 20 é apresentado o sinal eletromiográfico do MECD, quando foi realizado o Exercício 3, de extensão dos dedos, com aplicação de resistência de um elástico e com o punho estabilizado.

Figura 20 - Sinal EMG do MECD - Exercício 3

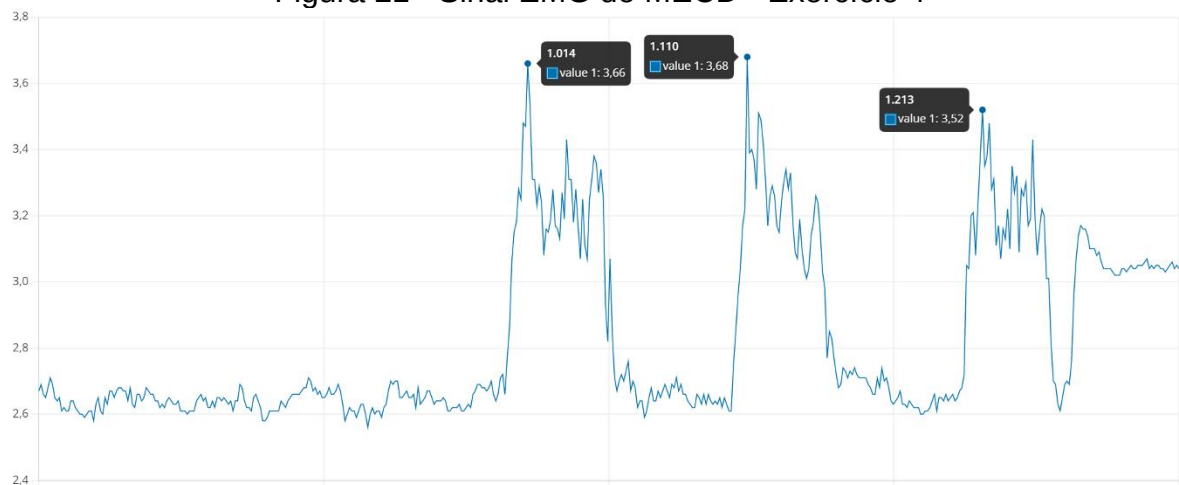


Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser visto na Figura 20, os picos das três contrações realizadas pelo voluntário foram de 3,90 V, 3,92 V e 3,86 V, obtendo-se para o MECD – Exercício 3 a média e desvio-padrão de $3,89 \pm 0,02$ V e o Pico Máximo do Sinal EMG de 3,92 V.

Na Figura 21 é apresentado o sinal eletromiográfico do MECD, quando foi realizado o Exercício 4, de extensão dos dedos, com aplicação de resistência ao movimento nas superfícies dorsais das falanges proximais e com o punho estabilizado.

Figura 21 - Sinal EMG do MECD - Exercício 4



Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser visto na Figura 21, os picos das três contrações realizadas pelo voluntário foram de 3,66 V, 3,68 V e 3,52 V, portanto, obtendo-se para o MECD – Exercício 4 a média e desvio-padrão de $3,62 \pm 0,08$ V e Pico Máximo do Sinal EMG de 3,68 V.

Na Tabela 1 encontram-se todos os dados de média, desvio padrão e valor de pico máximo do sinal EMG dos quatro exercícios realizados para avaliar o músculo extensor comum dos dedos.

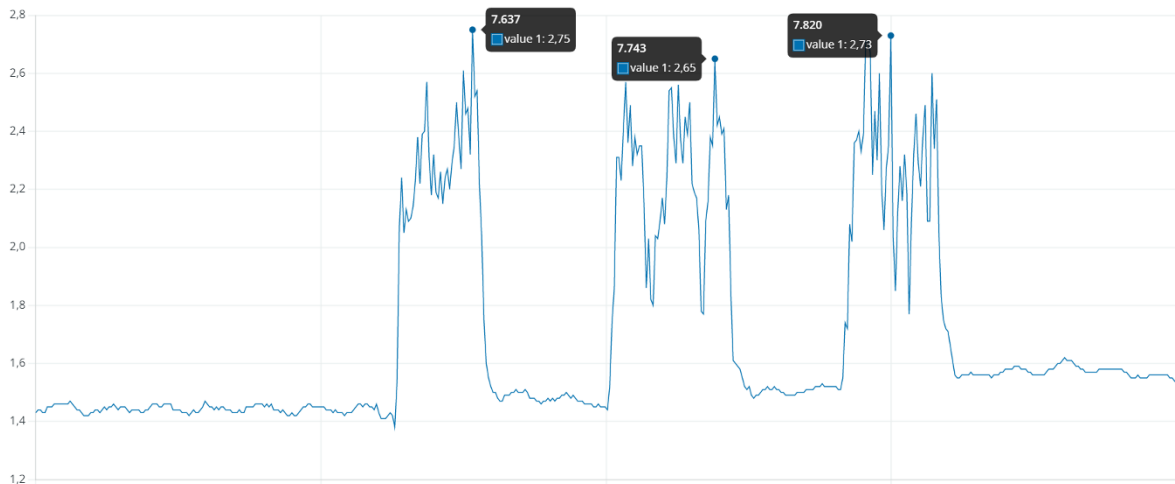
Tabela 1 - Média e Pico Máximo para os exercícios do MECD

MECD	$\mu \pm \sigma$ (V)	Valor de Pico Máximo do Sinal EMG (V)
Exercício 1	$3,89 \pm 0,04$	3,93
Exercício 2	$3,79 \pm 0,06$	3,84
Exercício 3	$3,89 \pm 0,02$	3,92
Exercício 4	$3,62 \pm 0,08$	3,68

Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 22 é apresentado o sinal eletromiográfico do músculo extensor longo do polegar (MELP), quando foi realizado o Exercício 1, de extensão do polegar, com o punho estabilizado, de modo que o polegar fique para cima e sem aplicação de resistência ao movimento.

Figura 22 - Sinal EMG do MELP - Exercício 1

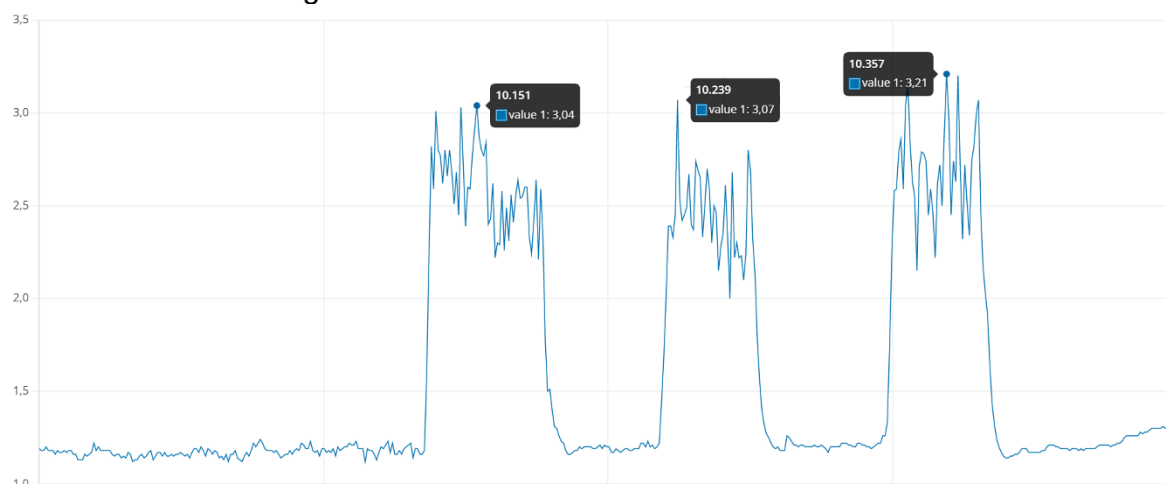


Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser visto na Figura 22, os picos das três contrações realizadas pelo voluntário foram de 2,75 V, 2,65 V e 2,73 V, portanto, obtendo-se para o MELP–Exercício 1, a média e desvio-padrão de $2,71 \pm 0,04$ V e Pico Máximo do Sinal EMG de 2,75 V.

Na Figura 23 é apresentado o sinal eletromiográfico do músculo extensor longo do polegar (MELP), quando foi realizado o Exercício 2, de extensão do polegar, com o punho estabilizado, de modo que o polegar ficou para cima e com aplicação de resistência ao movimento na falange distal do polegar (ponta do polegar).

Figura 23 - Sinal EMG do MELP - Exercício 2



Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser visto na Figura 23, os picos das três contrações realizadas pelo voluntário foram de 3,04 V, 3,07 V e 3,21 V, portanto, obtendo-se para o MELP– Exercício 2, a média e desvio-padrão de $3,11 \pm 0,07$ V e Pico Máximo do Sinal EMG de 3,21 V.

Na Tabela 2 encontram-se todos os dados de média, desvio padrão e valor de pico máximo do sinal EMG dos quatro exercícios realizados para avaliar o músculo extensor longo do polegar.

Tabela 2 - Média e Pico Máximo para os exercícios do MELP

MELP	$\mu \pm \sigma$ (V)	Valor de Pico Máximo do Sinal EMG (V)
Exercício 1	$2,71 \pm 0,04$	2,75
Exercício 2	$3,11 \pm 0,07$	3,21

Fonte: Elaborado pelo autor

O músculo extensor longo do polegar apresentou valores de Pico Máximo menores que os do músculo extensor comum dos dedos. Alguns fatores que podem influenciar nesta diferença são o fato do MELP ser um músculo profundo, enquanto o MECD é um músculo superficial, além de uma possível diferença na composição e tamanho das fibras musculares, ou seja, possíveis diferenças nos tipos de unidades motoras de cada músculo.

Analisando os valores de Pico Máximo obtidos durante a realização dos quatro exercícios para o MECD, pode-se observar uma diminuição do valor de Pico Máximo.

Esta diminuição pode indicar o início do processo de fadiga muscular (TAKAHASHI, 2006).

A partir dos resultados obtidos é possível concluir que o eletromiógrafo implementado foi capaz de fornecer um sinal eletromiográfico que possibilita a análise e observação de padrões de contração muscular, pois a partir do envoltório linear é possível observar facilmente os picos dos potenciais de ação muscular e suas respectivas durações. Além disso, a partir do sinal obtido é possível observar o processo de redução da capacidade do músculo esquelético produzir força, ou seja, a fadiga muscular, visto que esta contribui para reduzir a amplitude do potencial de ação e aumentar a duração do mesmo (DE LUCA et al., 2006).

Pelo fato de que o sinal eletromiográfico obtido possibilita a avaliação qualitativa do padrão de ativação muscular durante os exercícios propostos, de acordo com Takahashi (2006), o sinal eletromiográfico ao indicar a amplitude e duração da atividade elétrica das unidades motoras pode, portanto, servir como uma referência de atividade muscular que gera uma determinada força exercida pelo músculo durante a realização de um movimento do membro.

Takahashi (2006) também elucida sobre o não consenso da comunidade científica sobre a magnitude do sinal EMG ser diretamente proporcional à força muscular em exercícios com contrações isométrica e/ou isotônica com velocidade constante e conclui que na maior parte dos casos o sinal eletromiográfico “varia de modo positivamente acelerado enquanto a força de contração aumenta” (TAKAHASHI, 2006, p. 17).

De acordo com Takahashi (2006) existem diversos trabalhos que corroboram com a hipótese de que a magnitude do sinal EMG fornece uma boa estimativa de força exercida pelo músculo em condições isométricas. Além disso, a maioria dos estudos que visam estabelecer uma relação entre sinal EMG e força muscular utilizam o método do processamento do sinal EMG bruto como forma de obter o nível de contração muscular. Neste sentido, o método de processamento utilizando o RMS mostra-se um método eficiente ao fornecer parâmetros no domínio do tempo que apresentam maior correlação com os aspectos fisiológicos da atuação das unidades motoras no decorrer de uma contração muscular.

É importante observar que, a confiabilidade da relação do sinal eletromiográfico e força muscular se dará pelo rigor metodológico na execução de um protocolo de eletromiografia, de modo que os dados sejam obtidos sempre sob as mesmas

condições, para todos os indivíduos analisados em um estudo. Entretanto, características como composição da fibra muscular e estratégia de controle muscular podem interferir no levantamento da relação entre sinal EMG e força muscular, o que permite a conclusão de que a comparação entre diferentes estudos não é apropriada, pois ocasionaria observações incoerentes e imprecisas.

A partir das considerações apresentadas, pode-se concluir que, o eletromiógrafo implementado pode ser útil para avaliar a relação entre força e amplitude do sinal EMG, desde que obtido em condições isométricas e/ou isotônicas com velocidade constante, e se aplicado o devido rigor metodológico, analisando com precisão os diversos fatores que interferem na relação EMG-força, e utilizando análise estatística adequada. Entretanto apresentaria dificuldade de utilização para o método de processamento RMS, visto que por ser um circuito com componentes SMD haveria dificuldade para se obter o sinal bruto (sinal de saída do AD8221) que seria necessário para realizar o processamento RMS.

Apesar da dificuldade em relacionar força muscular e sinal eletromiográfico, o sinal EMG ainda pode realizar diversas contribuições, tais como demonstrar integridade de nervos (BERNARDES; GOMEZ; BENTO, 2010, p. 91), comparar a magnitude de ativação dos músculos extensores do punho de indivíduos saudáveis e de indivíduos com osteoartrite de mão para averiguar se estes apresentam alterações do padrão de ativação muscular (ZACHARIAS, 2017), determinar qual o melhor exercício para melhorar a força muscular de pacientes com artrite (BRORSSON et al., 2014) e avaliar resultados após terapia para disfunção da mão com eletroestimulação (XU et al., 2015).

Segundo Muchailh (2008) os valores de amplitude em repouso do sinal EMGs representam o tônus basal muscular. O tônus muscular é a contração muscular constante de baixa intensidade nos músculos estriados em repouso. Esta contração é involuntária e permite a rápida resposta dos músculos aos estímulos nervosos. Deste modo, o sinal obtido pelo eletromiógrafo implementado também é capaz de realizar este monitoramento, pois possibilita a visualização da amplitude do sinal captado quando o paciente está em repouso entre as contrações.

O sinal EMGs obtido também é aplicável, segundo Muchailh (2008), para utilização como *biofeedback* eletromiográfico, possibilitando que o paciente, ao realizar a contração voluntária, faça uma autoavaliação que permitirá o treinamento com objetivos de obter maior controle sobre a musculatura. Atualmente o *biofeedback*

eletromiográfico é o princípio comumente utilizado na *game* terapia, que é o uso de videogames que respondem aos estímulos eletromiográficos para auxiliar sessões fisioterapêuticas (ARAÚJO et al., 2020; BAIRROS et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2021).

A partir da análise de pesquisas utilizadas como referência neste trabalho (TAKAHASHI, 2006; MUCHAILH, 2008; BRORSSON et al., 2014; KINALI e ÜÇSULAR, 2018; KIMURA et al., 2022; MORENO, 2021; VINSTRUP, 2017; JITAREE e PHUKPATTARANONT, 2019; CHEN et al., 2007; DIDOMENICO e NUSSBAUM, 2008), é possível inferir que o sinal EMGs bruto no domínio do tempo (em segundos) apresentando amplitude em μV ou mV é suficiente para fornecer aos profissionais da saúde, diversas informações importantes, tais como, taxa de disparo das unidades motoras, picos de contração muscular e densidade do sinal eletromiográfico. Estas informações são úteis para realizar diversas análises para diagnóstico clínico sobre a atividade elétrica associada a contração muscular.

Além disso, por meio do sinal EMG bruto outras informações podem ser obtidas utilizando as mais variadas análises estatísticas e técnicas de processamento. Por exemplo, a análise no domínio da frequência pode identificar o tipo de fibra predominante no músculo analisado.

Com base nos argumentos apresentados, é possível concluir, desde o ponto de vista da qualidade do sinal, que o sinal obtido pelo eletromiógrafo é adequado para realizar o monitoramento do sinal eletromiográfico do MECD e do MELP de forma satisfatória.

Com o sinal obtido é possível quantificar a amplitude da atividade eletromiográfica, obter o padrão de ativação dos músculos ao longo do tempo, e através de um simples aprimoramento do código na IDE Arduino, também seria possível quantificar de forma exata o tempo em segundos.

A partir destes dados, é possível que um profissional da área da saúde analise diversos fenômenos, tais como, a fadiga muscular e tônus basal muscular utilizando métodos estatísticos, e também faça levantamentos sobre a relação entre o sinal eletromiográfico e a força muscular.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente trabalho possibilitou a implementação de um eletromiógrafo utilizando apenas um circuito comercial de condicionamento de sinais eletromiográficos e um microcontrolador Arduino.

Durante o desenvolvimento pode-se compreender que o sinal da EMGs está suscetível a diversos ruídos. Essa compreensão possibilitou o estabelecimento de um protocolo prático seguindo a diretrizes do SENIAM para reduzir a quantidade de ruídos durante a obtenção do sinal.

Foi possível verificar que o eletromiógrafo implementado realiza um monitoramento adequado dos sinais eletromiográficos de músculos extensores da mão, fornecendo visualização satisfatória do padrão de ativação muscular e do tônus basal muscular por meio do envoltório linear, os quais podem ser associados ao fenômeno de fadiga muscular.

Neste trabalho foi possível verificar que músculo extensor longo do polegar apresentou valores de pico máximo menores que os do músculo extensor comum dos dedos. Foi possível visualizar o início do processo de fadiga muscular do músculo extensor comum dos dedos.

Concluiu-se que, se o padrão de ativação muscular for observado em condições isométricas e/ou isotônicas, com velocidade constante, este pode servir como estimativa da força muscular exercida e, portanto, o dispositivo poderá ser utilizado conjuntamente com um dinamômetro biomédico de força extensora para monitorar a força extensora dos músculos dos dedos da mão.

Além disso, o eletromiógrafo pode ser utilizado para observar respostas neuromusculares em diferentes tratamentos ou treinamentos para os músculos extensores das mãos, e ser uma ferramenta útil para comparar o padrão de ativação muscular de indivíduos saudáveis e com patologias.

O eletromiógrafo implementado, por permitir uma visualização dinâmica do sinal EMGs pode ser utilizado em estudos futuros como uma ferramenta para *biofeedback*, permitindo que o paciente treine a resposta muscular, o que também abre a possibilidade da utilização do eletromiógrafo para a construção de uma aplicação de *game* terapia para dispositivos móveis, a qual seria útil para tratamento de disfunções nos músculos extensores das mãos.

REFERÊNCIAS

- ADVANCER TECHNOLOGIES. Muscle Sensor v3: Three-lead Differential Muscle/Electromyography Sensor for Microcontroller Applications. 2013. Disponível em:
<<https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/Biometric/Muscle%20Sensor%20v3%20Users%20Manual.pdf>>. Acesso em: março de 2023.
- ARAÚJO, L. B. et al. Efeito da realidade virtual no recrutamento de fibras musculares e força muscular respiratória em pacientes com doença de Parkinson - Estudo Piloto. Fisioterapia Brasil. Alfenas – MG. 2020. Disponível em:
<https://www.researchgate.net/publication/343709570_Efeito_da_realidade_virtual_no_recrutamento_de_fibras_musculares_e_forca_muscular_respiratoria_em_pacientes_com_doenca_de_Parkinson-_estudo_piloto>. Acesso em: 09 de maio de 2023.
- BAIROS, G. et al. PROPOSTA DE SOLUÇÃO PARA APOIO À REABILITAÇÃO FÍSICA DE PACIENTES COM AMPUTAÇÃO DE MEMBROS SUPERIORES. In: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO - SIEPE, 10. 2018. Universidade Federal do Pampa. *Anais...* Santana do Livramento – RS. 2018. Disponível em:
<https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arq_trabalhos/17349/seer_17349.pdf>. Acesso em: 09 de maio de 2023.
- BELO, L. R. et al. Contribuições da eletromiografia de agulha para o estudo da deglutição em seres humanos. Revista CEFAC, 2016. Disponível em:
<<https://www.scielo.br/j/rcefac/a/GmKMzyhLbLdDzbMb9X5qtTx/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.
- BERNARDES, D. F. F.; GOMEZ, M. V. S. G.; BENTO, R. F. ELETROMIOGRAFIA DE SUPERFÍCIE EM PACIENTES PORTADORES DE PARALISIA FACIAL PERIFÉRICA. *Revista CEFAC*, n. 12(1), p. 91 - 96. 2010. Disponível em:
<<https://www.scielo.br/j/rcefac/a/4Tx3tB5rxFwqLNCKnhSq9Gq/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: maio de 2023.
- BORAKS, S. Semiotécnica, Diagnóstico e Tratamento das Doenças da Boca. 1º ed. São Paulo: 2013. Disponível em: <<https://statics-shoptime.b2w.io/sherlock/books/firstChapter/115145082.pdf>>. Acesso em: 21 de setembro de 2022.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Protocolo de investigação, diagnóstico, tratamento e prevenção de Lesão por Esforços Repetitivos/Distúrbios Osteomoleculares Relacionados ao Trabalho/Secretaria de Políticas de Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2000.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Saúde Brasil 2018: Uma análise da situação de saúde e das doenças e agravos crônicos: desafios e perspectivas. Brasília: Ministério da Saúde, 2019.

BRORSSON, S. et al. Differences in muscle activity during hand-dexterity tasks between women with arthritis and a healthy reference group. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 15, 154, 2014. Disponível em: <<https://bmcmusculoskeletdisord.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2474-15-154>>. Acesso em 11 de janeiro de 2023.

CAMPANHOLI, Gustavo. PARALISIA DO NERVO RADIAL. 2021. Disponível em: <<https://drgustavocampanholi.com/artigos/paralisia-nervo-radial/>>. Acesso em: 10 de julho de 2023.

CAVALCANTE, C. A. G. E.; NASCIMENTO, N. G. Resumo de Síndrome do Túnel do Carpo: Ligas. 2020. Disponível em: <<https://www.sanarmed.com/resumo-de-sindrome-do-tunel-do-carpo-ligas>>. Acesso em: 27 de junho de 2023.

CHEN, X. et al. Multiple Hand Gesture Recognition Based on Surface EMG Signal, 2007. 1st International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, Wuhan, China, 2007, pp. 506-509, doi: 10.1109/ICBBE.2007.133. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/4272617>>. Acesso em: 22 de março de 2023.

CHEN, X.; WANG, J. Z. Pattern recognition of number gestures based on a wireless surface EMG system. 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1746809412000870>>. Acesso em: 22 de março de 2023.

COSTA, J. O. et al. Tratamento da artrite reumatoide no Sistema Único de Saúde, Brasil: gastos com infliximabe em comparação com medicamentos modificadores do curso da doença sintéticos, 2003 a 2006. 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.org/article/csp/2014.v30n2/283-295/>>. Acesso em: 27 de junho de 2023.

DE LUCA, C. J. et al. Innovative Methodology. Boston University, Boston, Massachusetts. *J Neurophysiol* 96. 2006. Disponível em: <<https://journals.physiology.org/doi/epdf/10.1152/jn.00009.2006>>. Acesso em 22 de novembro de 2022.

DE LUCA, C. J. The Use of Surface Electromyography in Biomechanics. *JOURNAL OF APPLIED BIOMECHANICS*, 13, 135-163, 1997. Disponível em: <<https://www.delucafoundation.org/download/bibliography/de-luca/078.pdf>>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2023.

DIAS, V. D. Manual de apoio à disciplina de Circuitos e Sistemas Eletrônicos da Licenciatura em Engenharia Aeroespacial do Instituto Superior Técnico. IST - Instituto Superior Técnico (Oeiras), 1996. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/eng04030/Aulas/teoria/capa.htm>>. Acesso em: 12 de dezembro de 2022.

DIDOMENICO, A.; NUSSBAUM, M. Estimation of forces exerted by the fingers using standardised surface electromyography from the forearm. 2008. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18484400/>>. Acesso em: 22 de março de 2023.

FERREIRA, C. L. S. Tarefas repetitivas sob pressão temporal: Os distúrbios osteomusculares em uma indústria de corte de chapas de aço. Orientadora: Lailah Vasconcelos O. Vilela. 2011. 62. Graduação - Curso de Especialização em Ergonomia, Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-9Z4G5A/1/tarefas_repetitivas_sob_press_o_temporal_carmen_lucia_silva_.pdf>. Acesso em: 27 de julho de 2022.

FERREIRA, S. A. F. A mão, técnica como pensamento. 2016. Dissertação (Mestrado em Escultura) – Faculdade de Belas Artes, Universidade de Lisboa, Lisboa. Disponível em: <https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/28494/2/ULFBA_TES_983.pdf>. Acesso em: 27 de julho de 2022.

FILHO, E. P. de A.; PEREIRA, F. C. F. Anatomia Geral. Sobral: 2015. Disponível em: <<https://md.uninta.edu.br/geral/anatomia-geral/pdf/anatomia-geral.pdf>>. Acesso em: 06 de outubro de 2022.

FRANKEN, R. A.; FRANKEN, M. As Mãos como Instrumentos Diagnósticos em Medicina. Cabe tocar o paciente? São Paulo: 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/abc/a/XsLwtkt7zWBDWn9ZyX3Mh7r/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 21 de setembro de 2022.

FRANSCISCO, M. C. et al. Mecanismo Extensor da Mão: Desvendando a Anatomia e Avaliação por Métodos de Imagem. Vinheta Imagenológica. Rev. Bras. Reumatol., v. 47, n.4, p. 290-294, jul/ago, 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbr/a/krngHZmBSf3MTg9ZQdKnjdm/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 26 de outubro de 2022.

FREITAS, M. L. B. ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS DO SINAL EMG PARA AUXÍLIO EM PROCESSOS DE CLASSIFICAÇÃO DE PADRÕES. 2018. 114 f. Trabalho de conclusão de curso - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, Ponta Grossa – PR, 2018. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16232/1/PG_COELE_2018_2_02.pdf>. Acesso em: 14 de novembro de 2022.

GOELDNER, I. et al. Artrite reumatoide: uma visão atual. J Bras Patol Med Lab v. 47, n. 5, 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/jbpml/a/yD9q5TbmKmRhckZ39rVKF6D/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 12 de setembro de 2022.

GRAY, H. FRS. Anatomy of the Human Body. 20 ed. London: 1918. Disponível em: <<https://archive.org/details/anatomyofhumanbo1918gray/page/n1/mode/1up>>. Acesso em: março de 2023.

HIGUTI, R. T. Notas de aula (graduação e pós) da disciplina de Processamento Digital de Sinais. Departamento de Engenharia Elétrica, Unesp Faculdade de Engenharia - Câmpus de Ilha Solteira. 2022. Disponível em: <<https://www.feis.unesp.br/#!/dee-procdigital>>. Acesso em: 03 de janeiro de 2023.

INSTITUTO NEWTON C. BRAGA. Como funcionam os Conversores A/D - parte 1 (ART224). 2010. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/1508-conversores-ad>>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2023.

JITAREE, S.; PHUKPATTARANONT, P. Force classification using surface electromyography from various object lengths and wrist postures. 2019. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11760-019-01462-z>>. Acesso em: 22 de março de 2023.

JUNIOR, G. B. V. Fundamento da Eletromiografia. 2012. Disponível em: <<http://www.cpaqv.org/mtpmh/eletromiografia.pdf>>. Acesso em: 31 de julho de 2022.

KAPANDJI, A. L. Fisiologia articular, volume 1: esquemas comentados de mecânica humana. 5.ed. Editorial Médica Panamericana S.A. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

KERTZMAN, P. F. Doenças da mão: quais são e como tratá-las. Instituto de Ortopedia e Traumatologia Campo Belo – IOCB. 2022. Disponível em: <<https://iocb.com.br/artigos/doencas-da-mao-quais-sao-e-como-trata-las#:~:text=As%20doen%C3%A7as%20da%20m%C3%A3o%20e,problemas%20hormonais%2C%20tumores%20e%20traumas.>>. Acesso em: 31 de julho de 2022.

KIMURA, N. et al. Augmented activity of the forearm extensor muscles induced by vibratory stimulation of the palm of the hand in individuals with subacute post-stroke hemiplegia. 2022. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35430945/>>. Acesso em: 20 de março de 2023.

KINALI, G.; ÜÇSULAR, F. D. Detection of early symptoms of cumulative trauma disorders among mothers of handicapped children: a pilot study. The Journal of Physical Therapy Science. 2018. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29545677/>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2023.

LUIZ, L. M. D. Avaliação da lesão nervosa periférica por meio da eletromiografia de superfície. Orientador: Alcimar Barbosa Soares. 2015. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Engenharia Biomédica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG. 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14100/1/AvaliacaoLesaoNervosa.pdf>>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

MARCHETTI, P. H.; DUARTE, M. Instrumentação em Eletromiografia. São Paulo, 2006. Disponível em: <<https://bmclab.pesquisa.ufabc.edu.br/pubs/EMG.pdf>>. Acesso em 10 de novembro de 2022.

MERCADO LIVRE. Sensor Eletromiográfico Sensor De Sinal Muscular Com Emg. 2023. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3077016265-sensor-eletromiografico-sensor-de-sinal-muscular-com-emg-_JM#redirectedFromSimilar=https%3A%2F%2Fproduto.mercadolivre.com.br%2FMLB-2816219231-sensor-eletromiografico-sensor-de-sinal-muscular-com-emg-_JM>. Acesso em: março de 2023.

MIYABARA, E. H. Slides - Teórica 9 - Ossos e Articulações dos Membros Superiores. Universidade de São Paulo, Instituto de Ciências Biomédicas, Departamento de Anatomia. 2015. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/352219/mod_resource/content/1/Slides%20-%20Teorica%209%20-%20Ossos%20e%20Articula%C3%A7oes%20dos%20Membros%20Superiores.pdf>. Acesso em: novembro de 2022.

MONSABERT, B. G. et al. Modelling force-length-activation relationships of wrist and finger extensor muscles. 2020. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32803449/>>. Acesso em: 22 de março de 2023.

MORENO, A. L. T. M. ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UMA PRÓTESE DE MÃO MIOELÉTRICA. 2021. 104 f. Trabalho de conclusão de curso - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, Cachoeira do Sul, RS, 2021. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/22127/TCC%20Ana%20Luiza%20Moreno.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 22 de março de 2023.

MUCHAILH, R. C. Importância da eletromiografia na avaliação funcional da musculatura do assoalho pélvico em mulheres nulíparas continentais. Orientador: João Luiz Amaro. 2008. 63 f. Dissertação (Mestrado em Cirurgia) – Curso de pós-graduação em Bases Gerais da Cirurgia, na área de Agressão Reparação, Regeneração, Transplantes de Tecidos e Órgãos, Faculdade de Medicina de Botucatu - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Botucatu - SP. 2008. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/86324>>. Acesso em: 09 de maio de 2023.

NASCIMENTO JÚNIOR, B. J. Anatomia Humana: Sistemática Básica. Petrolina: 2020. Disponível em: <https://portais.univasf.edu.br/noticias/professor-da-univasf-lanca-e-book-de-anatomia-humana-basica/copy2_of_ebook_Anatomia_Humana_Sistematica_Basica.pdf>. Acesso em: novembro de 2022.

NATIRUTS. Natiruts Reggae Power. São Paulo: Raizama Records: 2006. Suporte: 3:53.

OLIVEIRA, A. J. de J. V. de. DIAGNÓSTICO DA SÍNDROME DO TÚNEL DO CARPO: COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES EQUIPAMENTOS DE ELETRONEUROMIOGRAFIA. Orientador: Luiz Antonio Resende. 2009. 42 f. Mestre (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Bases Gerais da Cirurgia, da FMB – UNESP, Botucatu, 2009. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/87353/oliveira_ajjv_me_botfm.pdf;jsessionid=A58AC01D911C957346EDF04D7ED60504?sequence=1>. Acesso em: 26 de setembro de 2022.

OLIVEIRA, A. L. et al. Licenciatura em Educação Física: Cinesiologia. Ponta Grossa – PR: Editora UEPG. 2011. Disponível em: <http://www.cpaqv.org/cinesiologia/livro_cinesiologia_guanis.pdf>. Acesso em: 27 de julho de 2022.

OLIVEIRA, T. et al. Realidade Virtual associada à EMG para conscientização muscular e qualidade de vida sexual em estudantes de fisioterapia. *Revista Brasileira de Fisioterapia Pélvica*, n. 1(2), p. 105 -116. 2021. Disponível em: <[https://perineo.net/rbfp/1\(2\)/1\(2\)105-116.pdf](https://perineo.net/rbfp/1(2)/1(2)105-116.pdf)>. Acesso em: 09 de maio de 2023.

PEREIRA, P. A. Exame de eletromiografia: o que é e para que serve? Lusíadas. 2022. Disponível: <<https://www.lusiadas.pt/blog/doencas/sintomas-tratamentos/exame-eletromiografia-que-para-que-serve>>. Acesso em: 06 de novembro de 2022.

PETTEN, A. M. V. N. V.; ÁVILA, A. F. Efeito do uso de órtese de punho na ativação da musculatura flexora e extensora do punho. 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbort/a/trF6qbjJCdwK384BKYxVvBq/?lang=pt>>. Acesso em: 20 de março de 2023.

PLATONOV, V.N. Tratado Geral de Treinamento Desportivo. São Paulo. Phorte, 2008.

RESENDE, P. M. et al. Eletromiografia de superfície para avaliação dos músculos do assoalho pélvico feminino: revisão de literatura. *Fisioterapia e Pesquisa*, São Paulo, v.18, n.3, p. 292-7, 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/fp/a/PtqZGZRy6ZPxsPPLVkJNgHmv/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 01 de novembro de 2022.

ROBERTSON, D. G. E. et al. *Research Methods in Biomechanics*. 2. ed. United States: 2004.

ROCHA, L. Osteoartrite: conheça as características da doença que cresce no mundo. 2022. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/saude/osteoartrite-conheca-as-caracteristicas-da-doenca-que-cresce-no-mundo/#:~:text=No%20Brasil%2C%20estima%2Dse%20que,apresentam%20evid%C3%Aancia%20radiol%C3%B3gica%20da%20doen%C3%A7a.>>>. Acesso em: 27 de junho de 2023.

SANTANA, F. M. de. Mãos e punhos: dores, causas e tratamentos. São Paulo: KPMO Cultura e Arte, 2020. Disponível em: <<https://cobrareumatologia.com.br/wp-content/uploads/2020/11/E-book-Maos-Punho.pdf>>. Acesso em: 26 de setembro de 2022.

SCHMIDT, B. G.; GERZSON, L. R.; ALMEIDA, C. S. O uso da eletromiografia de superfície como medida de desfecho da fisioterapia em crianças com Paralisia Cerebral: uma revisão sistemática. *J Hum Growth Dev*. 2020. Disponível em: <http://pepsic.bvsalud.org/pdf/rbcdh/v30n2/pt_08.pdf>. Acesso em: 03 de novembro de 2022.

SEDRA, A. S.; SMITH, K. C. *Microeletrônica*. 5. ed. Pearson Makron Books, São Paulo, Brasil, 2007.

SEVERIJNS, D. et al. Motor fatigability after low-intensity hand grip exercises in persons with multiple sclerosis. 2016. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27919502/>>. Acesso em: 22 de março de 2023.

SILVA JUNIOR, R. A. da. Normalização EMG: considerações da literatura para avaliação da função muscular. 2013. Tese (Pós-Doutorado) – Reabilitação e Ciências Biomédicas, Elisabeth Bruyere Research Institute, University of Ottawa, Canadá, 2013.

SILVA, F. B.; GIOSTRI, G. S. Mão traumatizada – Atualização no primeiro atendimento. Rio de Janeiro: 2021. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbort/a/hKLVg6rXGPhBWMNQvWWHsFq/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 22 de setembro de 2022.

SILVA, N. S. CARACTERIZAÇÃO DE TRÊS TESTES FUNCIONAIS DO MEMBRO SUPERIOR: CONTRIBUIÇÕES DA ELETROMIOGRAFIA PARA A TERAPIA OCUPACIONAL. Orientador: Daniel Marinho Cezar da Cruz. 2016. 114 f. Dissertação (Mestrado em Terapia Ocupacional) – Programa de Pós-Graduação em Terapia Ocupacional, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP. 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/7762/DissNSS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 22 de março de 2023.

SILVA, R. C. da. Eletromiografia de Superfície: função neuromuscular e reprodutibilidade do método. Uma revisão. Orientador: Ronei Pinto. 2010. 36 f. TCC (Graduação) – Educação Física, Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/24918/000750310.pdf?sequence=>>>. Acesso em: 26 de setembro de 2022.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE REUMATOLOGIA. Artrite Reumatoide: Diagnóstico e Tratamento, 2002. Disponível em: <https://amb.org.br/files/_BibliotecaAntiga/artrite-reumatoide-diagnostico-e-tratamento.pdf>. Acesso em: 22 de setembro de 2022.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE REUMATOLOGIA. Osteoartrite (Artrose), 2022. Disponível em: <<https://www.reumatologia.org.br/doencas-reumaticas/osteoartrite-artrose/>>. Acesso em: 05 de setembro de 2022.

SOUZA, V. K. et al. Fadiga dos músculos extensores do punho diminui a força de preensão palmar. 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/fp/a/CMN9ZmPsKKwGBvMbQvm9xCQ/?lang=pt>>. Acesso em: 22 de março de 2023.

SURFACE ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles (SENIAM), 2023. Disponível em: <<http://www.seniam.org/>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2023.

TAKAHASHI, L. S. O. Análise da relação entre eletromiografia e força do músculo quadríceps em exercícios resistidos. Orientador: Neri Alves. 2006. 171 f. Dissertação (Mestrado em Bioengenharia) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Bioengenharia, Escola de Engenharia de São Carlos, Faculdade de Medicina de

Ribeirão Preto, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos - SP. 2006. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/82/82131/tde-30072007-172711/publico/TDE_LucianaSanaeOtaTakahashi.pdf>. Acesso em: 04 de maio de 2023.

TANK, F. F. et al. Influência da distância intereletrodos e da cadência de movimento no domínio da frequência do sinal de EMG de superfície. 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbme/a/6ZfbVbQRK9BSHcx48DTDRKt/?lang=pt>>. Acesso em: 14 de novembro de 2022.

TOSSINI, N. B. et al. Impairment of electrical activation of wrist flexor and extensor muscles during gripping and functional activities in the early stage of hand osteoarthritis: A cross-sectional study. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0894113020300090>>. Acesso em: 22 de março de 2023.

URIBE, W. A. J. et al. Tenossinovites De Quervain: uma nova proposta no tratamento cirúrgico. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcp/a/LrfNWXPkB6vnkqjYMNC8CBh/?format=pdf>>. Acesso em: 14 de setembro de 2022.

VINSTRUP, J. et al. Hand strengthening exercises in chronic stroke patients: Dose-response evaluation using electromyography. 2017. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28527751/>>. Acesso em: 22 de março de 2023.

WINTER, D. A. Biomechanics and Motor Control of Human Movement. 4 ed. John Wiley & Sons: Canada, 2009.

XAVIER, T. R. IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PRÓTESE ATIVA PARA MEMBRO SUPERIOR DE BAIXO CUSTO. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia – UNESP – Campus Ilha Solteira, São Paulo.

XU, K. et al. Muscle Recruitment and Coordination following Constraint-Induced Movement Therapy with Electrical Stimulation on Children with Hemiplegic Cerebral Palsy: A Randomized Controlled Trial. National Library of Medicine. 2015. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26452230/>>. Acesso em: 13 de janeiro de 2023.

YOON, J. Y.; AN, D. H.; YOO, W. G. Effects of a Wrist Extension Splint on Muscle Power and Activities of the Forearm Muscles: Comparison of Day Versus Nighttime Wear Instructions. 2008. Disponível em: <<http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200816549675760.page>>. Acesso em: 22 de março de 2023.

ZACHARIAS, A. L. S. et al. Análise eletromiográfica de flexores e extensores de punho em sujeitos com osteoartrite de mão. *Revista Interinstitucional Brasileira de Terapia Ocupacional – REVISBRATO*, v. 1, n. 4, p. 457 – 464, 2017. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/ribto/article/view/12511>>. Acesso em: 11 de janeiro de 2023.