

RELATÓRIO FINAL

Iniciação Científica do Grupo de Pesquisa da FESA

1. IDENTIFICAÇÃO:

Título da Proposta: Avaliação ergonômica mediante aquisição de sinais neuromusculares

Professor pesquisador: Carlos Noriega

Aluno: Anderson Santos Cerqueira, João Antonio de Brito Moraes

Período: 04/02/2023 a 25/06/2023

2. ELEMENTOS TEXTUAIS:

2.1. Resumo

A Eletromiografia é um campo de estudo da ciência que tem como objetivo captar, analisar e interpretar os sinais biológicos produzido pelo cérebro e direcionado para determinada região do corpo. Este artigo tem como princípio utilizar a eletromiografia para analisar uma série de movimentos que visam simular as atividades de um trabalhador de uma linha de produção, e auxiliar em sua ergonomia durante o processo. Para esse estudo foi realizada a captação desses movimentos, sua digitalização e tratamento dos sinais adquiridos para melhor entendimento da utilização da musculatura e suas consequências a longo prazo.

2.2. Introdução

O movimento humano é questão de investigação por muitos séculos por grandes pensadores da ciência. No século XVI foi produzida uma investigação clássica por Andreas Vesalius (1514-1564) denominada De Humani Corporis Fabrica (1543) em que o autor diseca corpos de presidiários condenados à morte – portanto foi um dos pioneiros na exploração da anatomia humana. Pelo fato de sua pesquisa ter sido executada em cadáveres não houve grande compreensão dos mecanismos envolvendo a aplicabilidade de suas observações (BASMAJIAN, 1974, apud SILVA, 2010). Francesco Redi (1626-1691) foi o pioneiro a verificar a atividade elétrica nos músculos (KAWANO, 2007, apud SILVA, 2010). v-03

Já no século XVIII, Luigi Galvani (1737-1798) envolveu animais em suas investigações, verificando o potencial elétrico de músculos e nervos de sapos e rãs. Ele é considerado o pioneiro nos estudos envolvendo potencial elétrico muscular (BASMAJIAN, 1972, apud SILVA, 2010).

Não obstante, somente no início do século XIX, com os estudos pioneiros do médico francês Guillaume Duchenne (1806-1875) é que iniciaram estudos mais direcionados relacionando potencial elétrico e a contração muscular (MERLETTI & PARKER, 2004, apud SILVA, 2010). Outros estudos envolvendo potencial elétrico muscular foram os trabalhos de William Wolaston (1766-1828) que verificou a ativação muscular de cavalos por meio de um instrumento precursor do estetoscópio. Já os primeiros estudos envolvendo a eletromiografia irão surgir no início do século XX com os trabalhos do neurofisiologista alemão Hans Pipers que delineou a modulação dos disparos de unidades motoras. Essas foram as primeiras investigações que se delinearam na hipótese do potencial de ação.

A EMG de superfície surge nos anos 40 com investigações sobre o movimento humano. Inman, Saunders e Abbot em 1944 (in CRAM, 2003, apud SILVA, 2010) investigaram a atividade muscular relacionada a movimentos do ombro. No ano de 1962, John V. Basmajian publica a primeira edição de seu livro *Muscles Alive*. O primeiro compêndio envolvendo a eletromiografia como um método para coleta de informações sobre o sistema neuromuscular em humanos. Entretanto, somente a partir dos anos 90 é que começaram a ocorrer investigações maciças envolvendo sincronismo neuromuscular por meio da eletromiografia (MERLETTI & PARKER; GROSSE et al., 2002, apud SILVA, 2010).

O modo de produção está suscetível a mudanças que visem a sobrevivência das empresas, através do aumento da produtividade como um caminho para estas se manterem competitivas no mercado, de tal forma que o trabalhador se encontra nesse processo como o agente principal para atender as novas demandas. Para Jesus Francisco e Rodolpho (2021), as evoluções tecnológicas, que contribuem para melhores condições de trabalho, apoiam-se nas bases do Taylorismo, um sistema de gerenciamento de trabalho desenvolvido por Frederick Taylor, que visava aumentar a produtividade. Segundo Alencar e Ota (2011), para se atingir esse objetivo, propôs aumentar a produtividade por meio

V-03

da fragmentação e individualização de tarefas, e a diminuição dos tempos gastos, o que ocasionou uma repetição da atividade por parte dos operadores.

Sendo os colaboradores os que mais sentem as transformações produtivas com a mudança da sua forma de trabalhar para aumentar a produtividade por meio da repetitividade das funções, estes se tornam mais expostos as chamadas LER (lesões por esforços repetitivos). Ainda segundo Alencar e Ota (2011), as LER ganharam expressão em números por volta de 1980, e junto a terminologia DORT (distúrbio osteomuscular relacionado ao trabalho) são utilizadas pelo Ministério da Saúde e Previdência Social.

Faz necessário esclarecer que a LER/DORT não se trata de uma doença de fato e sim engloba várias patologias, de múltiplas causas, relacionadas ao ambiente de trabalho, as quais podem afetar nervos, tendões, músculos e membros de vasos superiores (mãos, braços, antebraços, punho, ombro, pescoço e coluna vertebral) e inferiores (tornozelo e joelhos) (FRANCISCO; RODOLPHO, 2021). Ademais, as autoras destacam os fatores que cooperam para a ocorrência de LER/DORT, sendo elas: repetitividade, posturas inadequadas, esforço e força, invariabilidade de tarefas, choques e impacto, trabalho muscular estático, pressão mecânica, frio, vibração e fatores organizacionais; e os moduladores: frequência, intensidade e duração.

Negri et al (2014) realizou um estudo epidemiológico para mapear o perfil sociodemográfico e ocupacional de trabalhadores acometidos por LER/DORT, com base em 1007 prontuários do Centro de Referência em Saúde do Trabalhador (CEREST), de Piracicaba, São Paulo. Através da análise dos dados foi possível concluir que a porcentagem de trabalhadores com LER/DORT é maior no gênero feminino (69,20%), a faixa etária com maior número de casos observados foi entre 30 e 49 anos (67,62%), quanto ao grau de instrução predominou o Ensino Fundamental Incompleto (37,80%), o número é maior para quem recebe até três salários-mínimos mensais (70%) e as dores mais frequentes são no membro superior e membro superior + coluna vertebral.

Diante desse problema no mercado de trabalho, as melhorias nas condições e na organização é uma forma de amenizar o impacto e diminuir a ocorrência. Abrahão e Pinho (2001) afirma que a Ergonomia é uma disciplina que inclui em sua teoria conhecimento específicos de áreas como

V-03

Antropometria, Fisiologia, Psicologia e Sociologia, entre outras, para formular conhecimentos que serão utilizados na análise e transformação do trabalho, ou para melhorar a relação entre o homem e o trabalho. Para Pinto e Casarin (2018) a ergonomia surge para garantir a adaptação do ambiente de trabalho ao homem, das ferramentas e tarefas de acordo com as necessidades individuais, físicas ou psíquicas, dos trabalhadores.

A Ergonomia está descrita como a 17ª Norma Regulamentadora (NRs) em Saúde e Segurança do Trabalho, do Ministério do Trabalho, tendo como objetivo “estabelecer as diretrizes e os requisitos que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar conforto, segurança, saúde e desempenho eficiente no trabalho” (NR-17 Ergonomia, 2022).

De acordo com Enoka (2000), apud Marchetti e Duarte (2006), a eletromiografia é uma técnica de monitoramento da atividade elétrica das membranas excitáveis, representando a medida dos potenciais de ação do sarcolema, como efeito de voltagem em função do tempo. O sinal eletromiográfico (EMG) é a somação algébrica de todos os sinais detectados em certa área, podendo ser afetado por propriedades musculares, anatômicas e fisiológicas, assim como pelo controle do sistema nervoso periférico e a instrumentação utilizada para a aquisição dos sinais.

Ao longo da história humana, esse método tem sido estudado e aprimorado por diversos cientistas, anatomistas, fisiologistas e diversos outros profissionais em busca de compreender cada vez mais como funciona o comportamento dos músculos do corpo humano e como eles são ativados por seu sistema nervoso. Portanto, conhecer a história da eletromiografia é de suma importância para que a compreensão a respeito do assunto e como ele evoluiu até os dias de hoje seja completa, percebendo também como as técnicas e tecnologias tem ampliado esse campo de estudo.

Neste artigo, foi investigado o estudo dos movimentos simulados em uma linha de produção, para que seja possível entender qual o grau de esforço dos músculos acionados no decorrer das atividades, e

quais seriam suas possíveis consequências. Para análise dos sinais biológicos, foram escolhidos os músculos trapézio, deltoide e bíceps.

Como objetivos, este artigo visa analisar, identificar e aplicar técnicas computacionais utilizadas em sinais neuromusculares, identificar parâmetros musculares e aplicar conhecimentos de sinais biológicos nos músculos, demonstrando a padronização da técnica da eletromiografia com os dados obtidos, e, por fim, caracterizar os movimentos de trabalhadores, simulando a linha de produção e demonstrar as diferenças quanto ao modo de trabalho realizados.

2.3. Revisão Bibliográfica

Eletromiografia

Segundo Kumar e Mital (1996), a técnica da eletromiografia está baseada no fenômeno do acoplamento eletromecânico do músculo. Sinais elétricos gerados no músculo eventualmente conduzem ao fenômeno da contração muscular, potenciais de ação simples ou em salva atravessam a membrana muscular. Portanto, pode-se entender que a eletromiografia abrange o estudo dos músculos e seus comportamentos, se tornando peça fundamental em diversos outros estudos, como reabilitação de movimentos, avaliação de ativação dos músculos, postura e ergonomia, tema tratado neste estudo.

O trabalho desenvolvido pelo cientista canadense John V. Basmajian et al. (1974), tem como objetivo difundir melhor conhecimento a respeito dos conceitos da eletromiografia, partindo de pontos primordiais no que diz respeito a análise e entendimento das contrações musculares e como a eletromiografia interpreta esses movimentos. O autor aborda conceitos como a fisiologia humana, desde os músculos das mãos, braços, costas até os músculos utilizados durante a respiração humana, fibra da musculatura, sistema nervoso e sua representação elétrica, unidade motora e muitos outros que abrangem o estudo dos sinais na eletromiografia.

Aquino et al. (2005), em seu trabalho que tinha como objetivo auxiliar na compreensão de conceitos relacionados a eletromiografia (EMG) e discutir aspectos importantes quanto à coleta, processamento e análise dos sinais eletromiográficos, para aprofundamento da técnica, realizaram uma revisão da literatura e foram capazes de concluir que “a minimização da impedância, amplificação diferencial, a rejeição do modo

Y63

comum e a filtragem são essenciais para o controle das interferências no sinal eletromiográfico", uma vez que a quantificação e a normalização são necessários para produzirem resultados semelhantes nos estudos envolvendo a EMG.

EMG: Aquisição de dados neuromusculares

Utilizando da mesma metodologia, no estudo de Ervilha, Duarte e Amadio (1998), os autores concluíram que, de acordo com a literatura analisada, a normalização do sinal eletromiográfico pela amplitude é fundamental para a possibilidade de comparação dos resultados obtidos da técnica de eletromiografia entre diferentes sujeitos, dias de medida, músculos ou estudos. Em outro documento disponibilizado por Marchetti e Duarte (2006), os autores também abordam os conceitos relevantes à instrumentação e utilização da eletromiografia.

No que tange a aquisição dos sinais eletromiográficos, Marchetti e Duarte (2006), considera a frequência de amostragem, eletrodos, amplificadores, filtros e conversor analógico/digital, como parâmetros a serem ajustados. Quanto a frequência de amostragem, quando muito baixa o sinal analógico reproduzido digitalmente pode conter menos informações importantes e, sendo assim, convencionou-se como no mínimo 1000 Hz para sinal EMG superficial. Ervilha, Duarte e Amadio (1998) em seus métodos utilizaram uma frequência de 1000 Hz.

Parte fundamental do processo é o posicionamento e a escolha dos eletrodos, dispositivos de entrada e saída de corrente em um sistema elétrico, que recebem primeiro a energia gerada pelos músculos. Sendo assim, o eletrodo deve ser colocado próximo o bastante do músculo para que este possa captar sua corrente iônica (Aquino et al., 2005; MARCHETTI e DUARTE, 2006). Aquino et al. (2005) evidência, de maneira geral, dois tipos de eletrodos, os de superfície e os intramusculares, a depender da profundidade do músculo a ser avaliado, sendo que os de superfície podem, ainda, serem divididos em passivo e ativos. Nos eletrodos passivos, a pele estabelece uma barreira entre os potenciais de ação das unidades motoras e os eletrodos, sendo necessário desconsiderar a impedância da pele, ou seja, a resistência que a pele impõe para a passagem da corrente eletromiográfica, através da preparação da pele que consiste em retirar os pelos da

região, limpeza com água e sabão e leve abrasão com álcool. Os eletrodos ativos, por sua vez, possuem um pré-amplificador capaz de amplificar o sinal eletromiográfico quando estes atingem o eletrodo e, conseqüentemente, minimizar as interferências externas, sendo que se faz necessário somente uma limpeza com álcool para controle da impedância da pele.

Partindo para os amplificadores, estes, segundo Marchetti e Duarte (2006) e como o próprio nome sugere, amplificam o sinal EMG devido a sua baixa amplitude durante a aquisição, levando em consideração alguns pontos. O ruído são os sinais EMG não desejados ao longo do sinal que foi detectado, sendo que a qualidade do sinal pode ser medida através da razão sinal/ruído, de forma que quanto maior a razão, maior será a redução do ruído. O ganho é a quantidade de amplificação utilizado no sinal EMG e, uma vez que a chamada largura de banda do amplificador limita os sinais EMG que serão adquiridos ou eliminados, é necessário alterar a frequência, por exemplo o limite superior para valores levemente acima do superior, sendo que o menor valor deste ajuste é de 400-500 Hz para eletrodos superficiais geralmente. O sinal de modo comum é o detectado por todos os eletrodos considerados como ruídos e a taxa de rejeição de modo comum (common mode rejection ration, CMRR) é quem mensura o sinal de modo comum, de tal forma que quanto maior o CMRR, melhor será o cancelamento do sinal de modo comum. Por fim o input bias current se caracteriza como a mínima corrente constante necessária para manter o amplificador ativo, tal que a corrente do sinal EMG menor que o seu valor não será amplificada (DELSYS, 2006, *apud* Marchetti e Duarte, 2006).

O filtro tem o objetivo de atenuar variações específicas de frequências e é útil na separação, quando o sinal é contaminado com interferências, e na restauração do sinal, quando distorcido. Em suma, os filtros permitem a passagem de frequências inalteradas e atenua outras. Os quatro comportamentos possíveis em eletromiografia são: filtros passa-alta, ou high pass, que atenuam a zero as frequências que estão abaixo da frequência de corte (F_c); filtros passa-baixa, ou low pass, que atenuam as frequências maiores que F_c para zero; filtro rejeita-banda, ou stop band, que atenuam para zero todas as frequências maiores que F_{c1} e menores que F_{c2} ; e filtros passa-banda, ou band pass, onde as frequências menores que F_{c1} e maiores que F_{c2} são atenuadas a zero. Para escolha do filtro é recomendado analisar os dados para adaptar o

comprimento de banda do filtro ao do sinal (KONRAD, 2005, apud MARCHETTI e DUARTE, 2006; DELSYS, 2006, apud Marchetti e Duarte, 2006).

Tendo em vista que o sinal EMG captado no corpo humano é um sinal analógico contínuo no tempo é necessário a utilização de um conversor analógico/digital (ADC) para que o computador possa registrar em forma de sinal digital. O ADC, portanto, captura sinais de voltagem (analógico) e apresenta a informação em formato numérico (digita). Ademais, para selecionar um ADC três fatores devem ser considerados: o ganho do sistema, o ruído de entrada e a voltagem máxima de saída do sistema (KONRAD, 2005, apud MARCHETTI e DUARTE, 2006; DELSYS, 2006, apud MARCHETTI e DUARTE, 2006).

EMG: Tratamento dos dados neuromusculares

Posterior a aquisição há a análise dos sinais eletromiográficos. Sabendo que a frequência e a amplitude são características importantes do sinal EMG, as análises no domínio temporal e no domínio de frequências são as formas para representar as informações. Na análise no domínio do tempo, a informação descreve quando algo ocorre e qual a amplitude de sua ocorrência, que é a magnitude da atividade muscular produzida por aumentos na atividade das unidades motoras e em sua faixa de disparo. As formas de processamento do sinal EMG em função do tempo pode ser quantificado através da retificação, envoltório linear, RMS e integração (ROBERTSON, 2004; LUCA, 1997; MARCHETTI e DUARTE, 2006).

De acordo com Marchetti e Duarte (2006), a retificação consiste em tornar o valor absoluto do sinal EMG, através do full-wave que rebate as fases negativas ou do half-wave que remove os valores negativos do sinal bruto. Posterior a isso, o sinal retificado o filtro passa-baixa pode suprimir flutuações de alta frequência, o que facilita na avaliação da amplitude do sinal EMG, o envoltório linear, que consiste em uma média móvel que indica a magnitude do sinal EMG. O RMS, ou root mean square, não necessita de retificação, uma vez que a amplitude do sinal EMG é elevada ao quadrado, e quando associado a um intervalo de tempo caracteriza o RMS móvel. Por último, a integração pode ser compreendida pela soma de toda atividade em um período, de tal modo que a área formada sobre a curva retificada do IEMG (sinal EMG integrado) é utilizada para avaliar o nível de atividade (ROBERTSON, 2004; LUCA, 1997).

Na análise no domínio de frequências, envolve a determinação do espectro de frequências através da transformada de Fourier, para então obter a análise de densidade espectral de energia (PSD) que pode ser utilizado para calcular as frequências médias e medianas e o comprimento da banda de sinal EMG (ROBERTSON, 2004; LUCA, 1997; MARCHETTI e DUARTE, 2006).

O conceito de normalização que Marchetti e Duarte (2006) apresenta é de suma importância, devido o sinal EMG ser sensíveis a alguns fatores sua análise não pode ser direta e concorda com Ervilha, Duarte e Amadio (1998) quando diz que para analisar e comparar sinais EMGs de diferentes indivíduos, músculos ou aquisições a técnica deve ser utilizada. Por conta disso, nos trabalhos com o tema eletromiografia a normalização é adotada para maior confiança das informações.

Python para simulação do sinal

Para melhor entendimento a respeito do sinal EMG e seu comportamento através do refinamento do mesmo, utilizamos, em nossos ensaios, uma simulação desse sinal através da linguagem de programação Python, para que posteriormente pudéssemos realizar outra simulação com base nos sinais que extraímos através dos equipamentos eletromiográficos. Para desenvolver e compilar o código, utilizamos a IDE (Integrated Development Environment) Spyder, que pode ser encontrado através da plataforma da Anaconda, um hub de interfaces de desenvolvimento Python.

Para melhor compreensão do código e suas particularidades, é necessário entender as bibliotecas utilizadas e seus comportamentos, sendo elas: NumPy, Matplotlib e SciPy.

De acordo com o website oficial da NumPy, a biblioteca deles é um projeto do tipo *open source*, que foi desenvolvido em 2005, onde iniciavam-se os estudos e trabalhos com bibliotecas numéricas e de arrays numéricos. A NumPy permite que o Python trabalhe com computação numérica, ou seja, trabalhe com arrays numéricos e funções matemáticas complexas.

Dentro do código utilizamos ela para realizar a simulação de um sinal EMG. Dentro da nossa amostra de sinal optamos por simular dois pulsos e um intervalo entre eles, para melhor exemplificação e simulação do

V.03

sinal. Para gerar as três variáveis utilizamos o recurso *random.uniform* da biblioteca, pois com ele conseguimos gerar números randômicos uniformes distribuídos.

Após a criação dos dois pulsos e o intervalo entre eles, concatenamos, através da funcionalidade *concatenate*, as três variáveis para montar como se dará o fluxo do sinal EMG, e montamos da seguinte forma: intervalo, pulso 1, intervalo, pulso 2, intervalo.

Em seguida preparamos o eixo do tempo com base no sinal EMG concatenado anteriormente. Usando a funcionalidade *array*, transformamos o *range* de 0 até o tamanho máximo do nosso sinal EMG, incrementado de 1 em 1, e para cada número dividido por mil, em um array.

Um pouco mais adiante no código utilizamos essa biblioteca novamente para obter o sinal EMG centrado em zero, removendo a componente DC do sinal, e transformando a média do sinal em zero.

Conforme o *website* oficial da Matplotlib, ela é uma biblioteca que tem como principal objetivo ajudar na visualização de informações, sejam elas em forma de gráficos, imagens, desenhos em 3D, estatísticas, entre muitas outras formas. O Projeto Matplotlib, chamado também pelos criadores da biblioteca de O Projeto, é também um projeto *open source* afiliado com a Fundação NumFOCUS.

No *script* da simulação de sinal EMG, utilizamos essa biblioteca para plotar os gráficos em que iremos disponibilizar o sinal eletromiográfico e suas medidas. Esse processo será dividido e exibido em 4 partes: sinal não filtrado e não retificado, sinal filtrado e retificado, sinal filtrado e retificado dentro de um envelope com um determinado número de Hz, e o sinal puro da região em foco. Além desses quatro gráficos, é disponibilizado também as legendas, escalas e rótulos.

Utilizando como referência o *website* oficial da SciPy, ela é uma biblioteca cujo objetivo é auxiliar em cálculos científicos e técnicos, e sua criação foi derivada da própria biblioteca NumPy. O que o torna uma opção interessante ao invés de apenas utilizar o NumPy, é que o SciPy possui algumas otimizações e funções adicionais em relação à sua fonte.

V-03

No código, utilizamos a biblioteca SciPy primordialmente para filtrar nosso sinal e tratá-lo, isso servirá para os quatro gráficos que são gerados com a biblioteca Matplotlib. Para realizar esse tratamento utilizamos duas funcionalidades de projetar e aplicar filtros digitais, que são extraídas do submódulo *signal* da SciPy: Butter e Filtfilt.

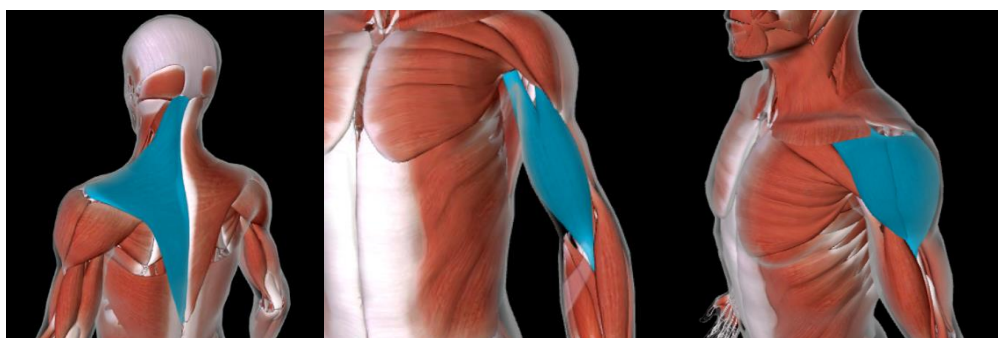
A funcionalidade *butter* é usada para aplicar um filtro digital do tipo Butterworth, que serve para deixar o mais plano e linear possível a frequência da banda passante. Os parâmetros necessários para a funcionalidade envolvem a ordem do filtro, as frequências de corte normalizadas e o tipo de filtro (passa-baixas, passa-altas, passa-banda ou rejeita-banda).

A funcionalidade *filtfilt* é utilizada para aplicar um filtro digital em avanço e retrocesso, que consequentemente leva a uma fase zero. Isso serve para retirar o atraso e a distorção do sinal proporcionado principalmente por filtros digitais convencionais.

2.4. Material e Métodos

Visando a avaliação ergonômica mediante aquisição e tratamento de sinais neuromusculares foi realizado um procedimento que consistia em medir a atividade muscular em três pontos do corpo enquanto se realizava atividades que demandavam esforço físico. O trapézio (figura 1a), bíceps (figura 1b) e deltoide (figura 1c) foram as três regiões analisadas em um indivíduo no estudo.

Figura 1: Músculos escolhidos para análise do sinal eletromiográfico.



Fonte: Manual MSD, 2024.

V-03

Os materiais utilizados na aquisição da aquisição dos sinais biológicos dos músculos estão descritos na tabela 1 abaixo, bem como uma breve descrição de sua função.

Tabela 1: Materiais utilizados na aquisição dos dados.

Material	Descrição
Álcool	Isopropanol 99,8% para limpeza eletrônica da marca CDA
Algodão, lâmina e navalha	Instrumentos para preparação de colocação de eletrodos
Anilhas e ferramenta	Anilhas de 4Kq e ferramenta para simular operação
Eletrodos	Eletrodo duplo superficiais descartáveis para monitoração de EMG LH-ED4020 da Miotec
NewMioTool wireless	EMG de superfície e biofeedback, com 2000Hz de frequência e 8 canais de aquisição de dados
Notebook	Samsung galaxybook 2, i7 12ª geração, 20GB RAM, Windows 11, SSD nvme 11

Fonte: Próprios autores.

O kit New MioTool wireless da Miotec foi utilizado para aquisição da função muscular. O equipamento (figura 4) conta com 8 canais de entrada para sensores de eletromiografia, pressão, força, urofluxometria, geniometria, acelometria e outros acessórios, frequência de 2000Hz, software integrado e possibilidade de transmissão de dados sem fio para um computador. Três sensores foram calibrados e especificados para eletromiografia de superfície na plataforma de software MiotecSuite integrado ao NewMioTool (MIOTEC, 2024).

Figura 2: EMG de superfície e biofeedback.

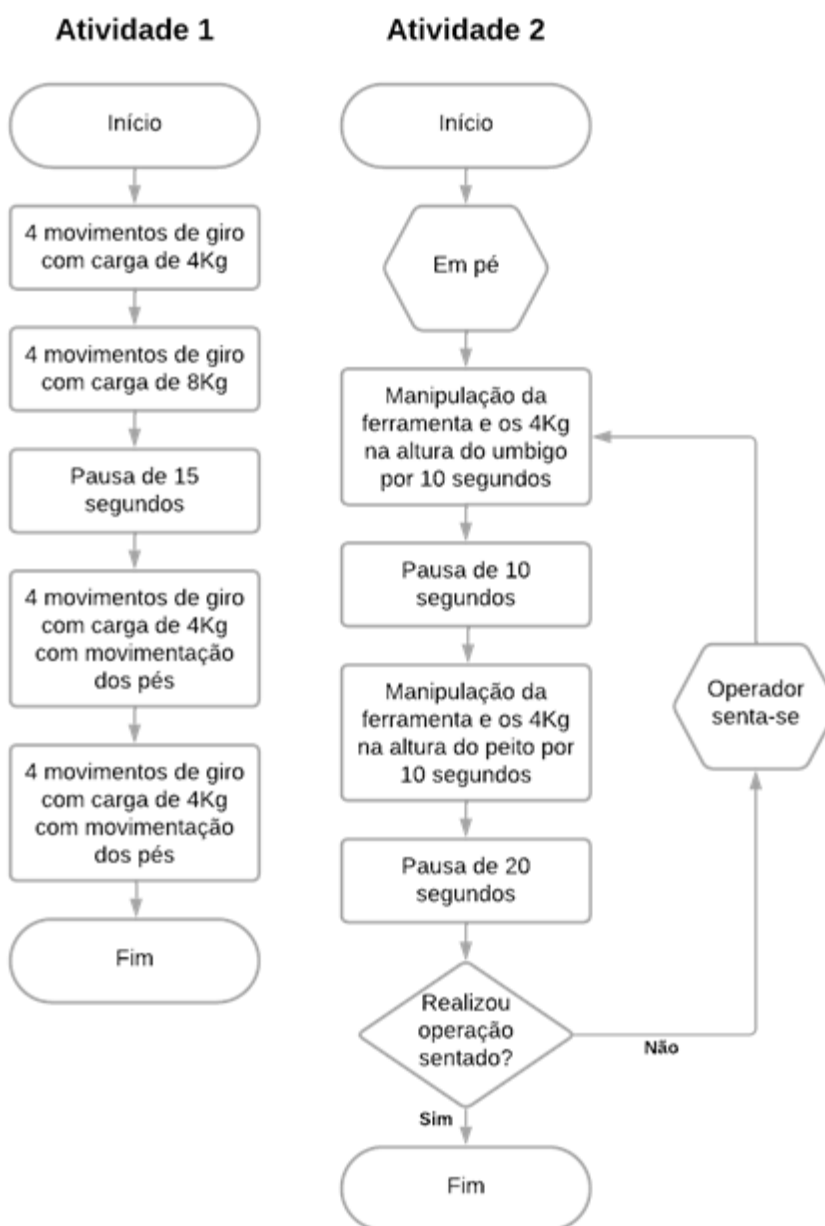


Fonte: Próprios autores.

Com o objetivo de simular tarefas de um operador que demandam esforços físicos, o voluntário realizou duas rotinas de atividade com tempo cronometrado, bem como pausas para melhor visualização da separação do esforço realizado e o descanso do músculo. Sendo assim, na primeira atividade o indivíduo tinha que levar pesos de 4Kg e 8 Kg de uma mesa a outra, que estavam a uma distância de 1 metro, sem mover os pés e fazendo apenas um giro com a parte superior do corpo e, posteriormente, após uma pausa de 15 segundos, realizar o procedimento com a movimentação dos pés.

A segunda operação consistia em manipular, em pé, um peso de 4Kg e uma ferramenta na altura da região do abdome por 10 segundos, seguido de uma pausa de 10 segundos e uma nova manipulação de peso e ferramenta na altura do peito. Após uma pausa de 20 segundos o mesmo procedimento foi realizado com o operador sentado. Na figura 5 é possível, através de um fluxograma, compreender a sequência de ações realizadas.

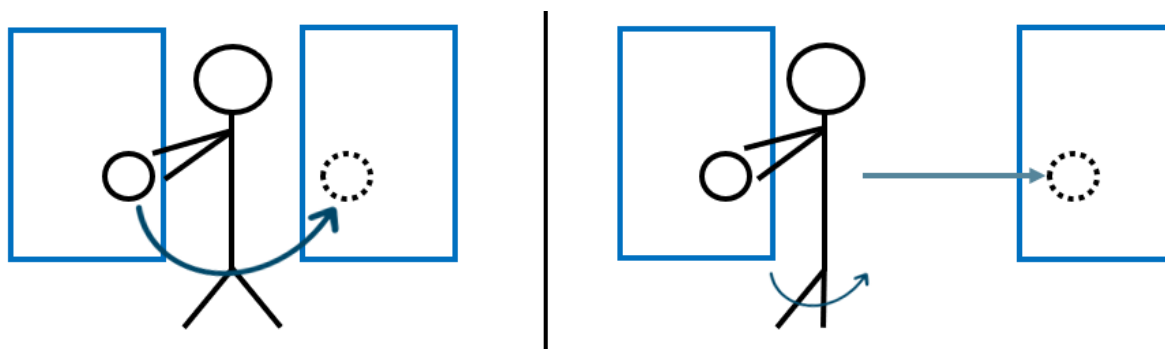
Figura 3: Fluxograma das atividades simuladas.



Fonte: Próprios autores.

Para melhor compreensão, as imagens das figuras 6 e 7 ajudam a compreender os movimentos realizados.

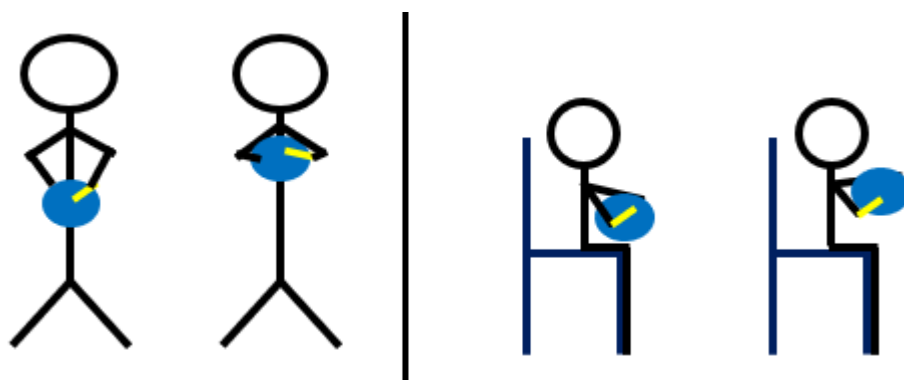
Figura 4: Movimentos realizados na primeira atividade.



Fonte: Próprios

autores.

Figura 5: Movimentos realizados na segunda atividade.

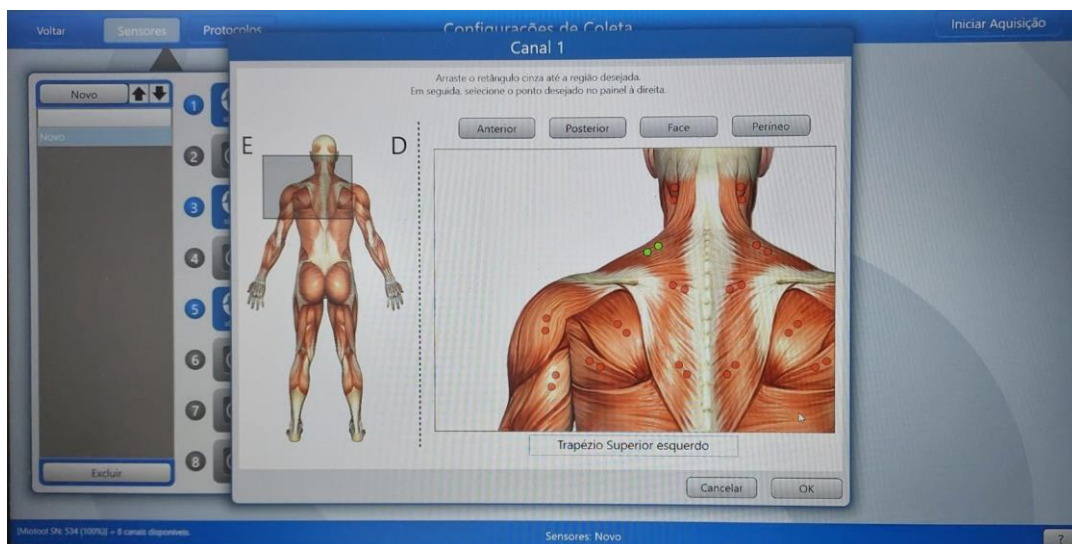


Fonte: Próprios autores.

Parte importante da aquisição consiste em retirar os pelos das regiões, onde seriam colocados os eletrodos para diminuir a impedância da pele, com ajuda de uma navalha e uma lâmina e realizar a limpeza das áreas com o álcool isopropanol 99,8% da marca CDA com ajuda de um algodão. Com a devida higienização, os eletrodos duplos descartáveis para monitoração de EMG LH-ED4020 da Miotec foram colados no trapézio, deltoide e bíceps do discente voluntário, no centro dos músculos, de forma a evitar os tendões, para maior precisão dos valores coletados.

Cada músculo foi especificado para ser captado por um dos canais, de modo que, o canal 1 foi designado para o trapézio, o canal 3 para o deltoide e o canal 5 para o bíceps. Como exemplo, na figura 8 é possível visualizar como é feita a configuração no software.

Figura 6: Tela de especificação do musculo analisado através do canal.



Fonte: MiotecSuite, 2024.

Como procedimento anterior a aquisição de dados de fato, foi adquirido a contração voluntária máxima (CVM) que, segundo Nunes e Stefani (2023), pode ser descrita como a contração muscular mais intensa que um músculo pode gerar de forma voluntária, contra uma resistência máxima. Esses valores são utilizados como referência para realizar a normalização da amplitude do sinal EMG (MARCHETTI e DUARTE, 2006). Para captar esses valores foi provocada uma força para baixo no braço do voluntário, enquanto este aplicava uma força no sentido contrário, de modo que tal procedimento foi realizado por três vezes, para cada um dos músculos, e os resultados são apresentados na tabela 2 na coluna intitulada "normalização".

Tabela 2: Valores CVM dos músculos analisados.

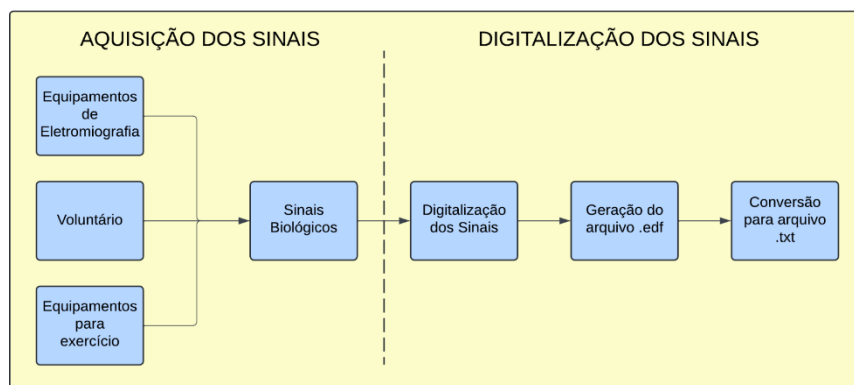
Localização	Normalização (μV)
Trapézio Superior esquerdo	205,44
Deltóide Lateral esquerdo	184,15
Bíceps Braquial esquerdo	271,11

Fonte: Próprios autores.

Os dados da aquisição da atividade muscular dos três pontos para as duas atividades anteriormente descritas foram armazenados em dois documentos distintos em extensão “.edf” precisaram ser convertidos para arquivos de texto para trabalhar no computador e importados para linguagem Python, local o qual foram aplicados os devidos tratamentos e gerados as ilustrações da captação do sinal do músculo.

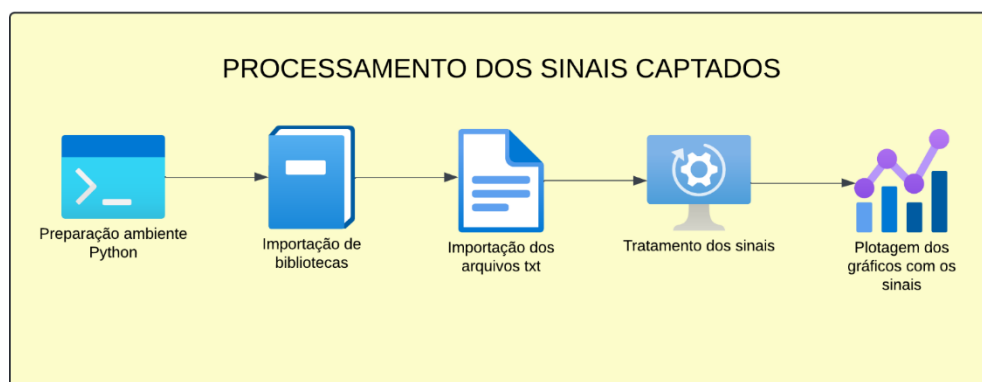
Seguem abaixo duas imagens que evidenciam a arquitetura do processo e a arquitetura do tratamento dos dados provindos dos sinais biológicos captados pela ferramenta MioTool, como forma de síntese do processo descrito até aqui.

Figura 7: Arquitetura do processo de aquisição dos sinais biológicos.



Fonte: Próprios Autores, 2024.

Figura 8: Arquitetura do tratamento dos dados.



Fonte: Próprios autores, 2024.

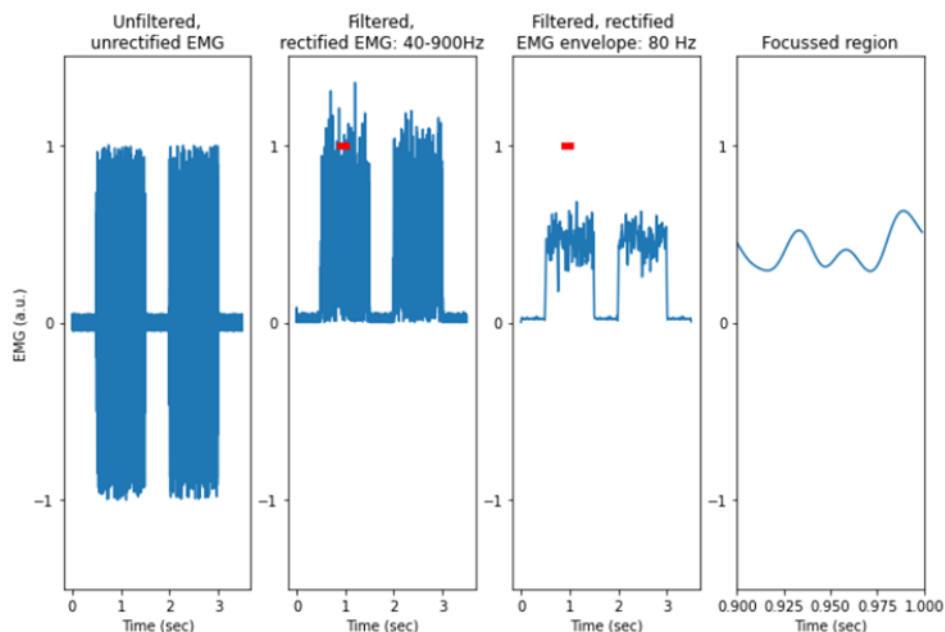
2.5. Resultados e Discussão

Para poder ter um melhor entendimento do que seria o tratamento de sinais eletromiográficos, uma simulação prévia foi realizada. O sinal simulado foi definido com dois *bursts* e três pausas, a concatenação dessas variáveis fica da seguinte forma: pausa 1, *burst* 1, pausa 2, *burst* 2, pausa 3. Fez-se necessária a aplicação deste código como teste para, em seguida, começar a aplicar o conceito de algumas técnicas orientadas ao tratamento de sinais biológicos.

Posteriormente a isso, uma vez tendo os fundamentos necessários, já se prosseguiu metodicamente para a aquisição dos sinais EMG oriundos de uma pessoa em tempo real, já não simulado, e sim adquirido com instrumentos de eletromiografia.

O resultado obtido ao executar esse código é uma imagem gráfica dos sinais trabalhados ao longo das aplicações dos filtros e retificações, chegando ao final com o sinal tratado de forma que possa evidenciar a região analisada.

Figura 9: Gráfico com simulação de ondas e filtros



Fonte: Próprios autores, 2024.

Os sinais captados vêm do software da empresa MioTool, o arquivo que os contém possui uma extensão “edf”, que após uma conversão para a extensão “txt” é enviado a Python para carregar os valores e serem plotados em um gráfico de eixo X em tempo, e eixo Y em EMG.

Iniciamos o código importando as bibliotecas e atribuindo variáveis a elas para que fique mais fácil a identificação e chamadas durante o decorrer do código. As bibliotecas importadas foram: NumPy apelidada de “np”, Matplotlib com sua extensão pyplot, apelidada de “plt”, e SciPy apelidada de “sp”.

Primeiramente abrimos o arquivo de texto das medições reais exportadas da ferramenta MioTool, este arquivo contém três colunas, uma para cada medição dos músculos analisados (trapézio, deltóide e bíceps, respectivamente). Inicia-se a ler o arquivo com o comando: “with open('emg_microV.txt', 'r') as file:”. Após a abertura do arquivo são criados três arrays “emg_trapézio”, “emg_deltóide” e “emg_bíceps” que servirão para comportar os valores dos sinais analisados. Em seguida uma iteração de laço *for* é realizada para ler linha a linha, e dentro desse laço cada número de cada coluna, por linha, é separada pelos seus espaços.

V-03

Verifica-se número a número para substituir, caso tenha, sua vírgula por ponto, devido ao padrão americano da variável *float*. Logo em seguida que as substituições são feitas, os números de cada coluna são atribuídos as variáveis referentes aos sinais dos músculos, conforme dito anteriormente.

Na próxima etapa, é gerado três *arrays* para representar o tempo de acordo com cada EMG dos músculos, seus valores são definidos através de um laço *for* que itera do 0 ao tamanho do *array* do EMG dos músculos, incrementando de 1 em 1. E para cada iteração do tamanho dos *arrays* dos sinais, é feita sua divisão por 50.

Seguindo para a próxima seção do código, é realizado o ajuste da média dos sinais captados dos músculos, e a seguinte conta é feita:

```
emgCorrigido=emg- np.mean(emg) emgCorrigido=emg- np.mean(emg)
```

A variável “np” é chamada utilizando sua função *mean* que realiza esse processo automaticamente.

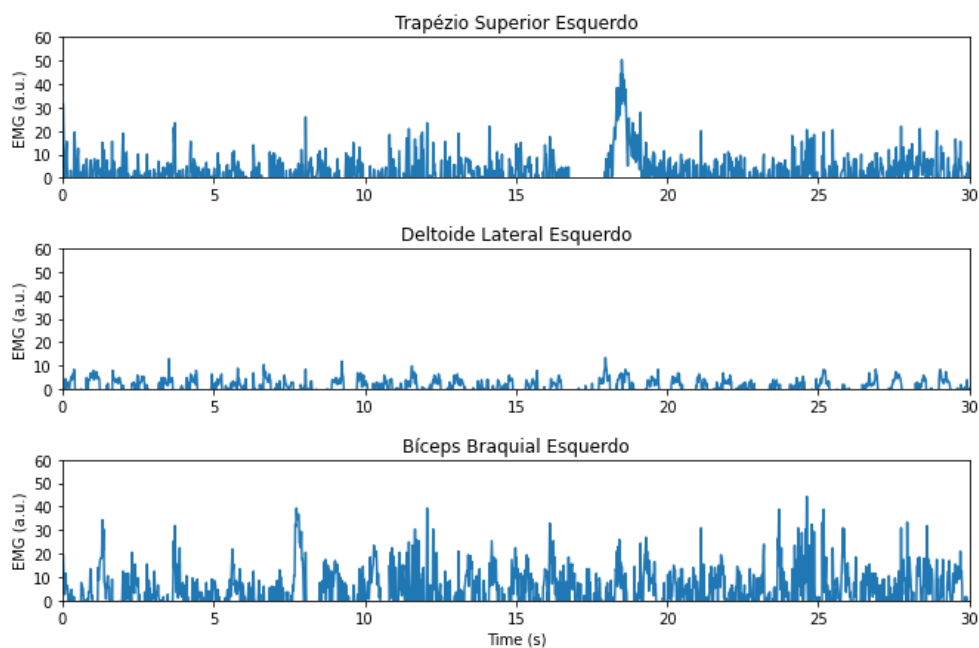
Em seguida, cria-se o filtro passa-banda chamando a biblioteca SciPy e sua função *butter*, atribuindo para duas variáveis que serão usadas posteriormente. Para isso é necessário definir seus parâmetros que são a ordem do filtro, os valores de corte em alta e baixa, e o tipo do filtro (“bandpass”).

Para realizar o filtro dos sinais aciona-se a biblioteca SciPy novamente, porém utilizando sua função *filtfilt* e passa-se por parâmetro as duas variáveis da função *butter* e os *arrays* dos sinais com a média corrigida.

Por fim, criam-se as variáveis dos sinais retificadas e são atribuídas com os valores absolutos dos sinais filtrados, e para isso é utilizada a função *abs*, passando por parâmetro o *array* do sinal EMG filtrado.

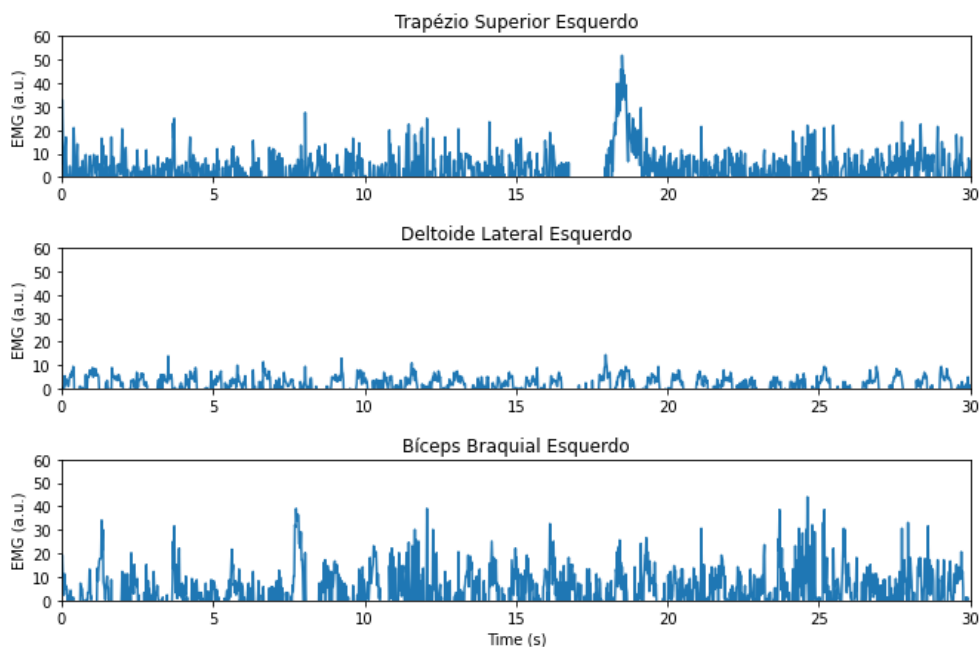
Após a configuração dos sinais e seus devidos processamentos, é realizado a plotagem desses sinais ao longo do processamento e tratamento, conforme imagens abaixo.

Figura 10: Sinais EMG Puros.



Fonte: Próprios autores, 2024.

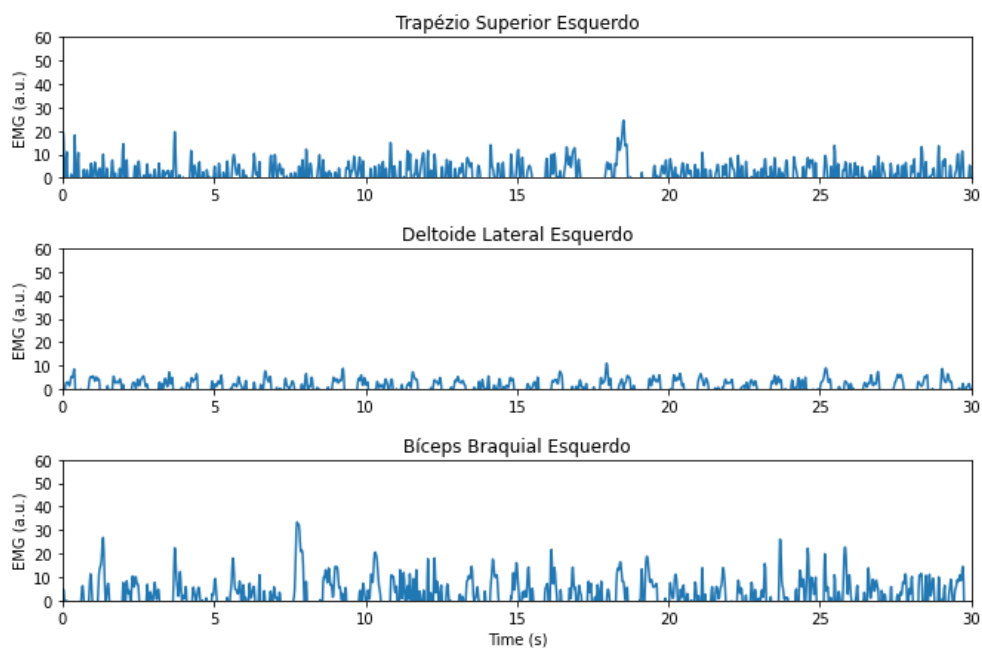
Figura 11: Sinais EMG com a média corrigida.



Fonte: Próprios autores, 2024.

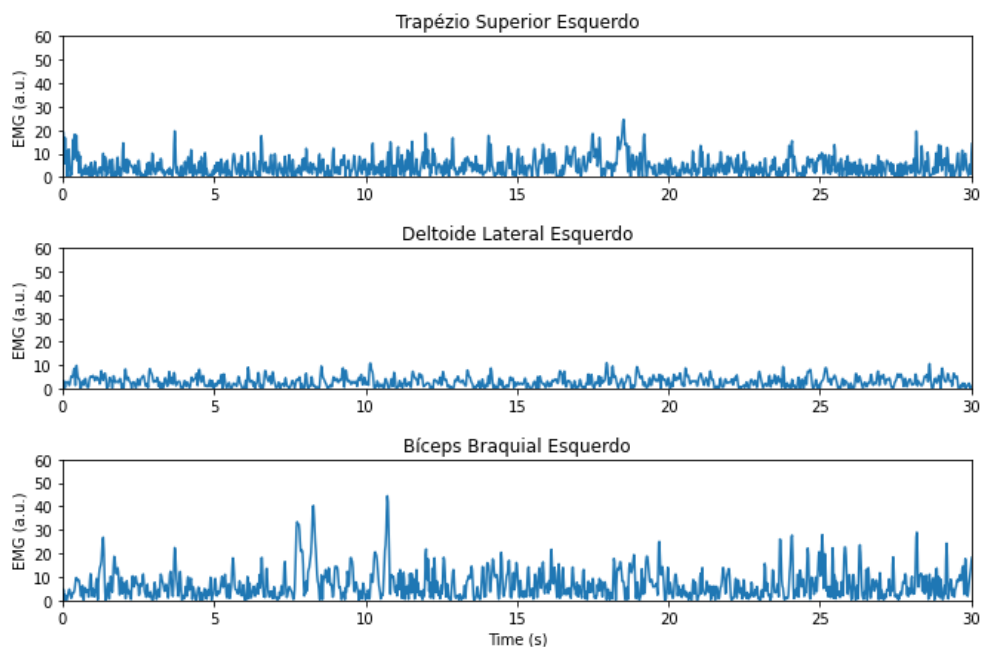
V-03

Figura 12: Sinais EMG filtrados.



Fonte: Próprios autores, 2024.

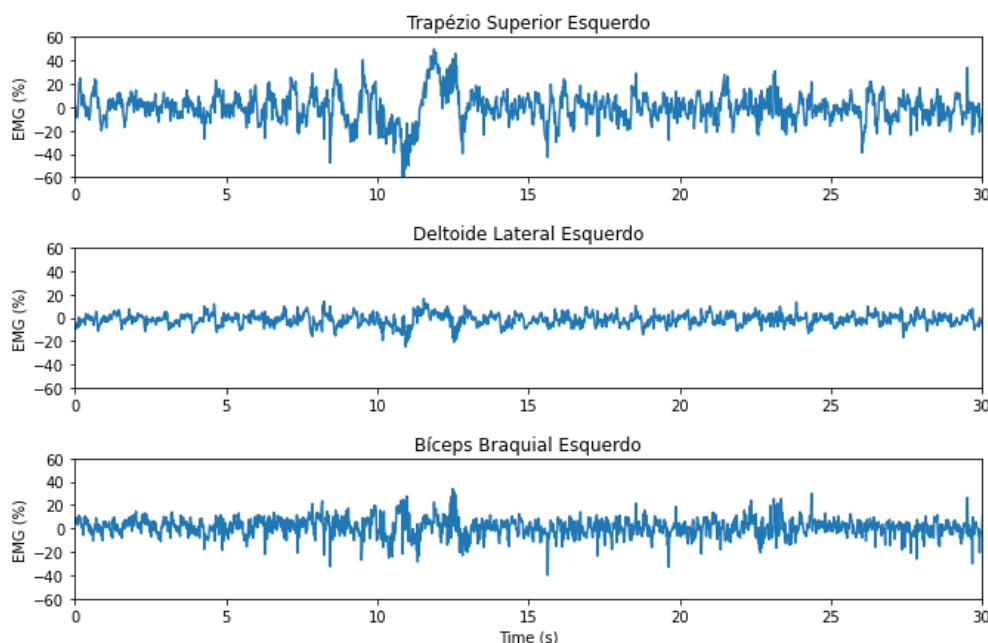
Figura 13: Sinais EMG retificados.



Fonte: Próprios autores, 2024.

V-03

Figura 14: Sinais EMG em Porcentagem



Fonte: Próprios Autores, 2024.

Analisando os gráficos exibidos nas imagens anteriores, pode-se perceber que dentre os músculos analisados, trapézio, deltoide e bíceps, a maior atividade é demonstrada pelo bíceps. O deltoide comporta-se como um músculo de apoio para os outros, auxiliando nos movimentos executados na captação dos movimentos, portanto pode-se perceber que a sua frequência é constante. Analisando os picos dos sinais comparados, o bíceps além de ser a maior atividade também, mostra ser um sinal relativamente constante, já o trapézio é o músculo em que os picos mais se destacam.

Para realizar uma analogia dos sinais mostrado é possível utilizar como exemplo, um exercício de rosca direta. É evidente que o músculo em maior atividade será o bíceps, mas ao parar o movimento no topo, onde o bíceps encontra-se encurtado, percebe-se que a deltoide tem um pico de atividade, justamente por realizar a estabilização do movimento, sendo necessária uma maior força pelo músculo.

Conforme as atividades vão avançando, nota-se que existe um padrão tanto no trapézio quanto no bíceps, e as atividades musculares ao longo do tempo, devido a sua utilização nos exercícios simulados, podem

indicar que é possível que haja uma lesão na mão, porque é este membro que é o ponto de contato que cria o sistema entre o peso dos exercícios e a pessoa.

2.6. Conclusão

O uso da eletromiografia para quantificar a atividade causada pela movimentação muscular pode ser aplicada em indivíduos em postos de trabalhos, que demandam esforços repetitivos e manipulação de cargas que solicitem força por um longo período, para analisar, identificar e aplicar técnicas computacionais utilizadas em bioengenharia em sinais neuromusculares, e validar as condições no ambiente afim de promover mudanças que visem adaptar o trabalho ao homem.

Nesse sentido, para padronização de estudos no que tange a técnica, faz-se necessário seguir procedimentos que trazem confiabilidade na aquisição de dados, utilizando-se de componentes confiáveis que existem no mercado, e uma revisão da literatura sobre o tema antes de simular operações para capturar os sinais musculares. Ademais, o tratamento dos dados adquiridos é parte fundamental para veracidade da pesquisa e visualização gráfica dos músculos solicitados durante cada um dos movimentos realizados e foi possível identificar os parâmetros musculares e aplicar conhecimentos biológicos nos músculos, demonstrando a padronização da técnica da eletromiografia com os dados obtidos.

Com todos os objetivos alcançados, o presente artigo, portanto, ao fazer um estudo bibliográfico de temas gerais como eletromiografia e ergonomia, propõe também uma exemplificação para aplicação de conhecimentos, fazendo um experimento para representar as etapas de aquisição, tratamento, apresentação e análise dos dados. É necessário evidenciar que os esforços em volta dos temas abordados partem da necessidade de promover alteração em condições que podem apresentar prejuízos aos trabalhadores, por meio da demonstração das diferenças quanto aos modos de trabalho realizados.

Referências

ENOKA, R. M. **Bases neuromecânicas da cinesiologia**. São Paulo: Manole. 2000;

SILVA, Ricardo Costa da. **Eletromiografia de Superfície: função neuromuscular e reprodutibilidade do método. Uma revisão**. 2010. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Educação Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/24918/000750310.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2024;

MARCHETTI, Paulo Henrique; DUARTE, Marcos. **Instrumentação em Eletromiografia**. 2006. 29 f. Tese (Doutorado) - Curso de Educação Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006;

BASMAJIAN, J. V. **Muscles Alive**. 3ª Edição. Baltimore: Williams & Wilkins, 1974;

BASMAJIAN, J. V. Electromyography Comes of Age. **Science**. Vol. 176, pp. 603-608, 1972;

KAWANO, M. M. **Comparação e Análise discriminante da Fadiga Eletromiográfica dos Músculos Para-espinhais durante a Extensão de Tronco de indivíduos com e sem Dor Lombar na posição sentada**. 2007. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Educação Física, Departamento de Educação Física e Esporte, UEL, Londrina, 2007;

MERLETTI, R; PARKER, P. A. **Electromyography**: Physiology, Engineering and Noninvasive Applications. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004;

GROSSE, P; M. J. CASSIDY; P. BROWN. EEG-EMG, MEG-EMG and EMG-EMG frequency analysis: physiological principles and clinical applications. **Clinical Neurophysiology**. Vol. 113, pp. 1523-1531, 2002;

V-03

CRAM, J. R. The History of Surface Electromyography. **Applied Psychophysiology and Biofeedback**. Vol 28, no. 2, pp. 81-91, 2003;

JESUS FRANCISCO, M.; RODOLPHO, D. . **ERGONOMIA - LER/DORT E SUAS PREVENÇÕES NA SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHADOR**. Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 18, n. 2, p. 613–625, 2021. DOI: 10.31510/infa.v18i2.1235. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1235>. Acesso em: 24 mar. 2024.

Alencar, M. do C. B. de, & Ota, N. H. (2011). **O afastamento do trabalho por LER/DORT: repercussões na saúde mental**. Revista De Terapia Ocupacional Da Universidade De São Paulo, 22(1), 60-67. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2238-6149.v22i1p60-67>. Acesso em: 24 mar. 2024.

NEGRI, Júlia Raquel et al. **PERFIL SOCIODEMOGRÁFICO E OCUPACIONAL DE TRABALHADORES COM LER/DORT: estudo epidemiológico**. Revista Baiana de Saúde Pública, [S.L.], v. 38, n. 3, p. 555-570, 26 fev. 2015. Secretaria da Saude do Estado da Bahia. <http://dx.doi.org/10.22278/2318-2660.2014.v38.n3.a608>. Disponível em: https://rbsp.sesab.ba.gov.br/index.php/rbsp/article/view/608/pdf_575. Acesso em: 26 mar. 2024.

ABRAHÃO, Júlia Issy; PINHO, Diana Lúcia Moura. **As transformações do trabalho e desafios teórico-metodológicos da Ergonomia**. Estudos de Psicologia (Natal), [S.L.], v. 7, p. 45-52, 2002. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-294x2002000300006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/epsic/a/ypTNP3KRtgmmMRBxVD6QvNK/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 27 mar. 2024.

V-03

PINTO, Camila C.; CASARIN, Fabio Alexandre. **A RELAÇÃO ENTRE ERGONOMIA E QUALIDADE DE VIDA NO TRABALHO: uma revisão bibliográfica.** Revista Ação Ergonômica, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 97-112, 2018. Editora Cubo. <http://dx.doi.org/10.4322/rae.v13e201805>. Disponível em: <https://revistaacaoergonomica.org/article/10.4322/rae.v13e201805/pdf/abergo-13-1-v13e201805.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2024.

KUMAR, Shrawan; MITAL, Anil. **Electromyography In Ergonomics.** United Kingdom: Routledge, 1996. 320 p.

AQUINO, Cecília Ferreira de. Eletromiografia: interpretação e aplicações nas ciências da reabilitação. **Fisioterapia Brasil**, [S.L.], v. 6, n. 4, p. 305-310, 18 mar. 2018. <http://dx.doi.org/10.33233/fb.v6i4.2012>. Disponível em: <https://convergenceseditorial.com.br/index.php/fisioterapiabrasil/article/view/2012>. Acesso em: 13 abr. 2024.

ERVILHA, U.F.; DUARTE, M.; AMADIO, A.C.. Estudo Sobre Procedimentos de Normalização do Sinal Eletromiográfico Durante o Movimento Humano. **Rev. Bras. Fisiot.**, Rio Claro, v. 3, n. 1, p. 15-20, 3 jun. 1998. Disponível em: <https://ebm.ufabc.edu.br/publications/md/rbf98.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2024.

DELSYS. Neuromuscular Research Center. Boston University.

KONRAD, P. The ABC of EMG. A practical introduction to kinesiological electromyography. Noraxon Inc. USA. 2005.

ROBERTSON, D. Gordon E. *et al.* **Research methods in biomechanics**. 2. ed. United States: Human Kinetics, 2004.

LUCA, Carlo J. de. The Use of Surface Electromyography in Biomechanics. **Journal Of Applied Biomechanics**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 135-163, maio 1997. Human Kinetics. <http://dx.doi.org/10.1123/jab.13.2.135>.

NR-17 Ergonomia, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-17-nr-17>.

3. PARECER DO PROFESSOR PESQUISADOR

3.1. Apreciação do professor pesquisador sobre o desempenho acadêmico do aluno.

O aluno **[nome do aluno]** realizou todas as etapas do trabalho com muita responsabilidade e competência, mostrando amadurecimento e evolução durante todo o desenvolvimento do projeto.

3.2. Apreciação do professor pesquisador sobre a evolução do projeto.

O projeto foi desenvolvido de acordo com o planejado, resultando em uma ferramenta útil para a gestão do curso de um gestor educacional.

3.3. Conclusão final

Diante do relatado, e considerando os resultados alcançados pelas pesquisas realizadas no projeto, o projeto está concluído e aprovado.

São Bernardo do Campo, XX de XX de 20XX.

Aluno

Professor pesquisador