

Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP
Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento – IP&D
Laboratório de Engenharia de Reabilitação Sensorio Motora - LERSM

Gabriela Aparecida da Silveira Souza

**ANÁLISE DOS EFEITOS DA FOTOBIMODULAÇÃO NA FADIGA DO
MÚSCULO BÍCEPS BRAQUIAL DE INDIVÍDUOS HÍGIDOS: AVALIAÇÃO
POR ELETROMIOGRAFIA E DINAMOMETRIA**

São José dos Campos
2020

Gabriela Aparecida da Silveira Souza

**ANÁLISE DOS EFEITOS DA FOTOBIMODULAÇÃO NA FADIGA DO
MÚSCULO BÍCEPS BRAQUIAL: AVALIAÇÃO POR ELETROMIOGRAFIA DE
SUPERFÍCIE E DINAMOMETRIA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, como complementação dos créditos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Biomédica.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Fernanda Pupio Silva Lima
Co-Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Álvaro Brandão Lopes Martins

São José dos Campos
2020

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE DIVULGAÇÃO DA OBRA

Ficha catalográfica

Souza, Gabriela
ANÁLISE DOS EFEITOS DA FOTOBIMODULAÇÃO NA FADIGA DO MÚSCULO
BÍCEPS BRAQUIAL DE INDIVÍDUOS HÍGIDOS: AVALIAÇÃO POR
ELETROMIOGRAFIA E DINAMOMETRIA / Gabriela Souza; orientadora,
Fernanda Pupio Silva Lima; co-orientador Rodrigo Álvaro Brandão
Lopes-Martins. - São José dos Campos, SP, 2020.
79 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade do Vale do
Paraíba, São José dos Campos. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Biomédica.

Inclui referências

1. Engenharia Biomédica. 2. Fadiga muscular. 3.
Fotobimodulação. 4. Dinamometria. 5. Eletromiografia. I. Lima,
Fernanda Pupio Silva, orient. II. Lopes-Martins, Rodrigo Álvaro
Brandão, co-orient. III. Universidade do Vale do Paraíba.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica. IV. Título.

Eu, Gabriela Souza, autor(a) da obra acima referenciada:

Autorizo a divulgação total ou parcial da obra impressa, digital ou fixada em
outro tipo de mídia, bem como, a sua reprodução total ou parcial, devendo o
usuário da reprodução atribuir os créditos ao autor da obra, citando a fonte.

Declaro, para todos os fins e efeitos de direito, que o Trabalho foi elaborado
respeitando os princípios da moral e da ética e não violou qualquer direito de
propriedade intelectual sob pena de responder civil, criminal, ética e
profissionalmente por meus atos.

São José dos Campos, 1 de Julho de 2020.

Gabriela

Autor(a) da Obra

GABRIELA APARECIDA DA SILVEIRA SOUZA

“ANÁLISE DOS EFEITOS DA FOTOBIMODULAÇÃO NA FADIGA DO MÚSCULO BÍCEPS BRAQUIAL DE INDIVÍDUOS HÍGIDOS: AVALIAÇÃO POR ELETROMIOGRAFIA E DINAMOMETRIA”.

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Universidade do Vale do Paraíba - Univap, pela seguinte banca examinadora:

PROF. DR. MÁRIO OLIVEIRA LIMA

M. Lima

PROF.^a DR.^a FERNANDA PUIPIO SILVA LIMA

F. Lima

PROF. DR. EDUARDO FILONI – Universidade Cruzeiro do Sul

E. Filoni

Prof.^a Dr.^a Lúcia Vieira

Diretora do IP&D – Univap

São José dos Campos, 03 de junho de 2020.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais Soraia e Rodolfo que são minha base e minha fortaleza. Ao Lucas que é meu melhor amigo, meu companheiro de vida e sempre está ao meu lado. A todos da minha família que sempre estiveram ao meu lado me dando todo apoio.

AGRADECIMENTO

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus e ao meu Anjo da Guarda que sempre me acalmam e me escutam!

Aos meus pais Soraia e Rodolfo por tudo que eles fazem por mim desde sempre, por todo apoio, todo carinho, todo amor e principalmente por acreditarem em mim. Eles acreditam em mim, até mesmo quando eu descredito, e isso me dá forças para sempre seguir em frente.

Além dos meus pais também devo gratidão a todos da minha família que sempre estiveram ao meu lado. Não teria como deixar de agradecer ao Lucas que é meu melhor amigo e companheiro de vida, obrigada por toda compreensão e ajuda.

Agradeço a minha orientadora Fernanda, por todos esses anos de amizade e aprendizado, afinal estamos juntas desde 2013. Obrigada por sempre me escutar e me acalmar.

Agradeço ao meu orientador Rodrigo por todas as conversas, todas as discussões, todo aprendizado e por sempre me dizer “Calma Gabi, uma coisa de cada vez, não apavora”, essa frase eu levo além do mestrado, levo para a vida todas as vezes que eu tenho que concentrar em algo. E não poderia deixar de agradecer todos os cafés.

Agradeço ao professor Mário, por todas as portas que ele me abriu todos esses anos, e deixar claro que entendo toda a sua agitação, afinal também sou assim.

Agradeço imensamente ao grupo CAF (Combate a fadiga). Vocês sabem o quanto esse trabalho também é de vocês e quanto eu não teria conseguido se vocês não topassem as sextas a noite e os sábados de manhã, não tenho palavras para agradecer o capricho e dedicação que vocês tiveram com as coletas. Muito obrigada Alexandre, Marina, Douglas, Bruna, Luis e Isabela.

Não tenho palavras para agradecer ao meu amigo Sérgio, que me ajudou desde a catraca para a estabilização do dinamômetro para as coletas até a estatística dos meus dados. Obrigada por tudo, que um dia eu possa ter 1/3 da sua sabedoria e da sua sensatez.

Agradeço a professora Virgínia, que foi extremamente importante na análise dos sinais biológicos que juntamente com o Humberto criou um programa para que eu pudesse analisar os dados. Agradeço também a Marina pela plotagem dos gráficos e por toda a dedicação. Sou grata por todo o contato que tive com vocês três, por todas as conversas, explicações, discussões, desenhos de gráficos e por toda a paciência em explicar os números a uma pessoa da área biológica.

Não teria como deixar de agradecer meus amigos de laboratório, não digo colegas pois vocês são mais que isso. Obrigada por toda troca que tivemos, digo trocas intelectuais por meio de conversas e discussões, quanto trocas afetivas por vocês sempre alegrarem o meu dia. Obrigada Ana Paula, Alexandre, Aline Ferrara, Aline Lanziloti, Ary, Bruna, Carolina, David, Douglas, Elida, Fran, Isabela, Kassila, Luiz, Marcele, Marina, Nathalia e Patrícia.

RESUMO

A fadiga muscular é ocasionada por meio de alterações bioquímicas que modificam a mecânica da contração muscular, as quais resultam em alterações negativas na performance da contração. Diversos recursos são estudados com o intuito de atenuar este quadro, dentre eles pode-se citar a fotobiomodulação. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da fotobiomodulação na fadiga do músculo bíceps braquial de indivíduos hígidos. Foi realizado um ensaio clínico, cruzado, comparativo, randomizado, placebo, duplo-cego. O estudo foi composto por 14 voluntários do gênero masculino com idade entre 20 e 30 anos ($22\pm 3,7$), altura média de $165\pm 7,7$ cm, peso de 71 ± 14 kg e índice de massa corporal (IMC) de 16 ± 0 kg/m². Os voluntários foram divididos em dois grupos (grupo placebo e grupo PBMT) e todos os indivíduos passaram por todos os grupos. Para a indução da fadiga muscular foram realizadas três Contrações Isométricas Voluntárias Máximas com duração de 50 segundos e intervalo de 50 segundos, utilizando um dinamômetro computadorizado acoplado ao eletromiógrafo de superfície. Durante a CVMI foi avaliado o sinal eletromiográfico e a força muscular. A intensidade dolorosa foi avaliada antes do protocolo, imediatamente, 24 horas e 48 horas após o protocolo. A fotobiomodulação foi aplicada antes do protocolo de indução de fadiga (diodo laser, 808nm, 100mW, 3J/ponto, 9 pontos). Foi possível observar nos resultados que o grupo PBMT apresentou queda menos acentuada da força muscular e dos sinais eletromiográficos. Em relação a intensidade dolorosa não houve diferença entre os grupos. Conclui-se, portanto, que a aplicação da fotobiomodulação no comprimento do infravermelho possui efeitos positivos na redução da fadiga muscular.

Palavras-chave: Fadiga Muscular. Fotobiomodulação. Eletromiografia de superfície.

ANALYSIS OF THE EFFECTS OF PHOTOBIO-MODULATION ON THE FATIGUE OF THE MUSCLE BICEPS OF HEALTHY INDIVIDUALS: EVALUATION BY ELECTROMYOGRAPHY AND DYNAMOMETRY

ABSTRACT

Muscle fatigue is caused by biochemical changes that modify the mechanics of muscle contraction, as they result in negative changes in contraction performance. Several resources are studied in order to mitigate this situation, among them can be mentioned a photobiomodulation. The aim of this study was to evaluate the effects of photobiomodulation on fatigue of the biceps brachii muscle in healthy individuals. A crossover, comparative, randomized, placebo, double-blind clinical trial was carried out. The study consisted of 14 male volunteers aged between 20 and 30 years (22 ± 3.7), average height of 165 ± 7.7 cm, weight of 71 ± 14 kg and body mass index of 16 ± 0 kg/m². The volunteers were divided into two groups (placebo group and PBMT group) and all the elderly were used by all groups. To induce muscle fatigue, three Maximum Voluntary Isometric Contractions lasting 50 seconds and a 50-second interval were performed, using a computerized dynamometer coupled to the surface electromyograph. During CVMI, the electromyographic signal and strength were evaluated. Pain intensity was assessed before the protocol, captured, 24 hours and 48 hours after the protocol. A photobiomodulation was applied before the fatigue induction protocol (diode laser, 808nm, 100mW, 3J / point, 9 points). It was possible to observe in the results that the PBMT group presented less accentuated muscle strength and electromyographic signals. Regarding pain intensity, there was no difference between groups. Therefore, it was concluded that an infrared-length photobiomodulation application has positive effects in reducing muscle fatigue.

Keywords: Muscle Fatigue. Photobiomodulation. Surface electromyography.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma indicando a randomização da amostra.....	31
Figura 2. a) Ponto motor do músculo bíceps braquial segundo o protocolo da SENIAM. b) Colocação do eletrodo no ponto motor do voluntário seguindo a protocolo da SENIAM.....	33
Figura 3. Aplicação da fotobiomodulação antes da indução do protocolo de fadiga muscular.....	34
Figura 4. Posicionamento do voluntário no banco Scott para a realização do protocolo de indução da fadiga muscular.....	36
Figura 5. Fluxograma da sequência de eventos e do protocolo de indução da fadiga muscular.....	37
Figura 6. Interface gráfica inicial do Software ELEDA.....	38
Figura 7. Fluxograma do funcionamento do Software ELEDA.....	39
Figura 8. Interface gráfica do ELEDA com os sinais de Eletromiografia de Superfície.....	40
Figura 9. Interface gráfica do ELEDA com os dados de dinamometria.....	40
Figura 10. Gráfico da média dos valores normalizados da força muscular coletado durante a contração isométrica voluntária máxima do músculo bíceps braquial obtido pelo dinamômetro computadorizado durante os Testes 1, 2 e 3 para o grupo PBMT e grupo Placebo.....	44
Figura 11. Gráfico da média das frequências médias obtidas durante os Testes 1, 2 e 3 do sinal eletromiográfico do músculo bíceps braquial para o Grupo PBMT e Grupo Placebo.....	46
Figura 12. Gráfico da média das frequências medianas obtidas durante os Testes 1, 2 e 3 do sinal eletromiográfico do músculo bíceps braquial para o Grupo PBMT e Grupo Placebo.....	47
Figura 13. Gráfico da média do valor de RMS obtido durante os Testes 1, 2 e 3 do sinal eletromiográfico do músculo bíceps braquial para o Grupo PBMT e Grupo Placebo.....	49
Figura 14. Gráfico da regressão linear dos dados normalizados da força do músculo bíceps braquial obtidos por meio da dinamometria computadorizada durante a CIVM dos Testes 1, 2 e 3 realizados pelo grupo PBMT e grupo placebo.....	51
Figura 15. Gráfico da regressão linear da frequência média obtida por meio da eletromiografia de superfície do músculo bíceps braquial dos Testes 1, 2 e 3 realizados pelo grupo PBMT e grupo placebo.....	51
Figura 16. Gráfico da regressão linear da frequência mediana obtida por meio da eletromiografia de superfície do músculo bíceps braquial dos Testes 1, 2 e 3 realizados pelo grupo PBMT e grupo placebo.....	52
Figura 17. Gráfico da regressão linear do RMS obtido por meio da eletromiografia de superfície do músculo bíceps braquial dos Testes 1, 2 e 3 realizados pelo grupo PBMT e grupo placebo.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Média \pm Desvio padrão da intensidade de dor referida de acordo com a Escala Visual Analógica.	42
Tabela 2. Resultados da análise estatística intragrupo da intensidade dolorosa referida pelos indivíduos grupo PMBT e grupo placebo com o membro superior avaliado em repouso.	43
Tabela 3. Resultados da análise estatística intragrupo da intensidade dolorosa referida pelos indivíduos grupo PMBT e grupo placebo com o membro superior avaliado em movimento.	43
Tabela 4. Resultados da análise estatística intergrupo da intensidade dolorosa referida entre os indivíduos de grupo PMBT e do grupo placebo com o membro superior avaliado em repouso e em movimento.	43
Tabela 5. Resultados da análise estatística intragrupo da força média do músculo bíceps braquial obtido por meio do dinamômetro computadorizado para grupo PBMT e grupo placebo durante a contração isométrica voluntária máxima.	44
Tabela 6. Análise estatística intergrupo referentes à força média do músculo bíceps braquial obtido por meio do dinamômetro computadorizado comparando o grupo PBMT e grupo placebo durante a contração isométrica voluntária máxima.	45
Tabela 7. Resultados da análise estatística intragrupo da frequência média do sinal de eletromiografia de superfície do músculo bíceps braquial do grupo PMBT e grupo placebo durante a contração isométrica voluntária máxima.	46
Tabela 8. Análise estatística referentes a frequência média do sinal de eletromiografia de superfície do músculo bíceps braquial dos três testes de contração isométrica voluntária máxima realizadas pelos grupos PBMT e placebo.	47
Tabela 9. Resultados da análise estatística intragrupo da frequência mediana do sinal de eletromiografia de superfície do músculo bíceps braquial do grupo PMBT e grupo placebo durante a contração isométrica voluntária máxima.	48
Tabela 10. Análise estatística referente a frequência mediana do sinal de eletromiografia de superfície do músculo bíceps braquial dos três testes de contração isométrica voluntária máxima realizadas pelos grupos PBMT e placebo.	48
Tabela 11. Resultados da análise estatística intragrupo do RMS do sinal de eletromiografia de superfície do músculo bíceps braquial do grupo PMBT e grupo placebo durante a contração isométrica voluntária máxima.	49
Tabela 12. Análise estatística referentes ao RMS do sinal de eletromiografia de superfície do músculo bíceps braquial dos três testes de contração isométrica voluntária máxima realizadas pelos grupos PBMT e placebo.	49
Tabela 13. Percentual de queda calculado a partir do ponto final (Teste 3) e inicial (Teste 1) obtidos por meio da equação regredida dos Grupos PBMT e placebo para a força avaliada por meio da dinamometria, RMS e frequência média e mediana da eletromiografia de superfície.	50

LISTA DE ABREVIATURAS

ACh – Acetilcolina

ADP – Adenosina Difosfato

Ag – Prata

AgCl – Cloreto de Prata

ATP – Adenosina Trifosfato

Ca⁺⁺ - Cálcio

CEP – Comitê de Ética e Pesquisa

CVM – Contração Voluntária Máxima

CIVM – Contração Isométrica Voluntária Máxima

DP – Desvio Padrão

EMG – Eletromiografia de Superfície

EVA – Escala Visual Analógica

FFT - Transformada rápida de Fourier

FGF – Fator de crescimento de fibroblastos

GH – Hormônio de crescimento

H⁺- Hidrogênio

Hz – Hertz

IMC – Índice de Massa Corporal

IP&D – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento

IPAQ – Questionário Internacional de Atividade Física

J – Joule

K⁺ – Potássio

LASER – Light Amplification by Stimulation Emission of Radiation

LERSM – Laboratório de Engenharia de Reabilitação Sensório Motora

Mg⁺⁺ - Magnésio

MF – Frequência Média

MNF – Frequência Mediana

mm – Milímetros

mW – Micro Watts

Na⁺ – Sódio

nm – Nanómetro

O₂ - Oxigênio

PBMT – Fotobiomodulação

Pi – Fosfato inorgânico

pH - Potencial Hidrogeniônico

RMS – Root Mean Square

RNS - Espécies Reativas de Nitrogênio

ROS - Espécies Reativas de Oxigênio

TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TLBI – Terapia Laser de Baixa Intensidade

TRPV1 - Potencial Receptor Transitório Vanilóide 1

UNIVAP – Universidade do Vale do Paraíba

WALT – World Association of Laser Therapy

α – Alfa

λ – Comprimento de onda

μm – Micrometro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 Contração muscular	20
2.2 Fadiga muscular	22
2.3 Avaliação da fadiga muscular	23
2.3.1 <i>Eletromiografia de superfície</i>	23
2.3.2 <i>Dinamometria</i>	24
2.4 Fotobiomodulação e fadiga muscular	25
3 OBJETIVO	19
3.1 Objetivos específicos.....	19
4 METODOLOGIA	27
4.1 Aspectos éticos.....	27
4.2 Designer do estudo	27
4.3 Amostra e Grupos do Estudo.....	27
4.4 Critérios de inclusão do estudo	29
4.5 Critérios de exclusão	29
4.6 Randomização dos grupos.....	29
4.7 Instrumentos de avaliação	32
4.7.1 Escala Visual Analógica de dor – EVA	32
4.7.2 Eletromiografia de superfície	32
4.7.3 Dinamômetro	33
4.8 Fotobiomodulação (PBMT).....	33
4.9 Protocolo de pesquisa	35
4.10 Análise dos dados da eletromiografia de superfície e dinamometria	38
4.11 Análise estatística	41
5 RESULTADOS	41
6 DISCUSSÃO	53
7 CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIA	60
APÊNDICE A: AVALIAÇÃO FISIOTERAPÊUTICA	66
ANEXO A: APROVAÇÃO DO CEP	67
APÊNDICE B: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	70

1 INTRODUÇÃO

A literatura descreve a fadiga muscular como a incapacidade do músculo em manter a força e potência da sua contratilidade, resultando em diminuição da força, prejuízo do controle motor e conseqüentemente levando a quadros algicos (MOREIRA; TEODORO; MAGALHÃES NETO, 2008; LEAL JUNIOR *et al.*, 2009a).

A fadiga muscular precoce influencia negativamente na realização de exercícios direcionados, sejam esses exercícios realizados por pessoas com fibromialgia, doenças pulmonares obstrutivas crônicas, fadiga crônica, idosos saudáveis, atletas e indivíduos que apresentam quadros de espasticidade (BAUDRY *et al.*, 2007; NIJS; PAUL; WALLMAN, 2008; KIM; MOFARRAHI; HUSSAIN, 2008; BACHASSON *et al.*, 2013; GARCÍA-HERMOSO; SAAVEDRAC; ESCALANTE, 2015; NEVES *et al.*, 2016).

Diversos eventos bioquímicos estão relacionados ao processo de fadiga periférica, resultando em alterações que podem prejudicar o mecanismo de contração muscular. Estas alterações podem ser desencadeadas por modificações da creatina fosfato, do glicogênio e ácido láctico (MOREIRA; TEODORO; MAGALHÃES NETO, 2008).

A fototerapia é uma alternativa inovadora e não invasiva no tratamento e/ou prevenção da fadiga muscular induzida pelo exercício, lesão tecidual e em analisar os processos que envolvem a função mitocondrial (LOPES-MARTINS *et al.*, 2006; LEAL JUNIOR *et al.*, 2009b). Há diversos estudos que evidenciaram que a utilização da fotobiomodulação apresenta efeitos positivos na atenuação da fadiga muscular e na recuperação muscular pós-exercício quando a terapia é aplicada anteriormente à realização da atividade (LOPES-MARTINS *et al.*, 2006; GORGEY, WADEE; SOBHI, 2008; SAMPAIO *et al.*, 2009; BARONI *et al.*, 2010; FERRARESI; HAMBLIN; PARIZOTTO, 2012).

A fotobiomodulação é capaz de agir sobre o desempenho muscular por meio do aumento da síntese de adenosina trifosfato (ATP), promovendo uma melhor distribuição de energia no músculo, resultando no aumento do recrutamento de fibras musculares e do torque (REIS *et al.*, 2015; NEVES *et al.*, 2016). Atribui-se esses resultados à atuação mitocondrial no tecido muscular, já que essas organelas possuem receptores para fótons de LASER, como a enzima citocromo-c oxidase,

responsável pelo transporte de elétrons e síntese de ATP (KARU; PYATIBRAT; AFANASYEVA, 2005).

Diversos estudos avaliaram o comportamento da força muscular e da atividade mioelétrica durante protocolos de fadiga muscular induzida. Entretanto, são escassos os estudos que aplicaram a fotobiomodulação previamente ao protocolo de fadiga muscular induzida e investigam as alterações na atividade mioelétrica. Deste modo entende-se que a melhor compreensão dos fenômenos desencadeados na atividade mioelétrica após a aplicação da fotobiomodulação é de extrema importância para o melhor entendimento da influência da fotobiomodulação na fadiga muscular.

2 OBJETIVO

Avaliar os efeitos da fotobiomodulação na fadiga do músculo bíceps braquial de indivíduos hígidos.

2.1 Objetivos específicos

- ✓ Avaliar a influência da fotobiomodulação na intensidade dolorosa após a indução da fadiga muscular, por meio da Escala Visual Analógica de Dor;
- ✓ Analisar a influência da fotobiomodulação na força muscular por meio do dinamômetro;
- ✓ Verificar a influência da fotobiomodulação na fadiga muscular durante análise da atividade mioelétrica do bíceps braquial, por meio da eletromiografia de superfície;
- ✓ Desenvolver um *Software* para o processamento dos sinais de eletromiografia e dinamometria.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Contração muscular

A contração muscular voluntária é de extrema importância para a sobrevivência, visto que é por meio dela que conseguimos nos locomover, manter a postura, realizar atividades sociais e ocupacionais, dentre tantas outras atividades (FRONTERA; OCHALA, 2015).

Para que ocorra a ativação de uma fibra muscular é necessário apenas um neurônio motor, sendo que o grupo de fibras musculares inervado por um mesmo neurônio motor é chamado de unidade muscular. Normalmente uma unidade muscular englobam entre 100 e 1000 fibras musculares. Deste modo, a associação entre a unidade muscular e neurônio motor é chamado de unidade motora (LINHARES, 2015).

A unidade motora é a unidade básica funcional do sistema muscular, ela é composta por um neurônio motor (motoneurônio α) e todas as fibras musculares inervadas por suas ramificações axônicas (LINHARES, 2015; NAIK, 2014).

Ao analisar minuciosamente uma fibra muscular pode-se perceber que ela é formada por miofibrilas, as quais são formadas por filamentos de actina e miosina. Os filamentos de actina são caracterizados por serem mais finos, enquanto os filamentos de miosina são caracterizados por serem mais espessos. Podem-se notar algumas ramificações nos filamentos da miosina, essas ramificações são chamadas de pontes cruzadas. A contração muscular se dá por meio da interação da ponte cruzadas (miosina) com os filamentos de actina (GUYTON; HALL, 2006; SCHIAFFINO; REGGIANI, 2011).

Nas extremidades dos filamentos de actina estão localizados os discos Z, os quais são filamentos proteicos diferenciados dos filamentos de actina e miosina e que cortam transversalmente toda a miofibrila. Denomina-se como sarcômero todo o segmento da miofibrila situado entre dois discos Z, e durante o processo de contração muscular ocorre o encurtamento desse segmento, ou seja, há o encurtamento do sarcômero (GUYTON; HALL, 2006; FRONTERA; OCHALA, 2015).

Os espaços entre as miofibrilas são preenchidos por líquido intracelular, denominado sarcoplasma, além de ser composto por numerosas quantidades de nutrientes, o sarcoplasma contém uma grande quantidade de mitocôndrias que se localizam em paralelo as miofibrilas, são essas organelas que fornecem energia na forma de Adenosina Trifosfato (ATP) para a contração das miofibrilas (GALPIN *et al.*, 2012).

Na cabeça dos filamentos de miosina encontra-se a ATPase, responsável por clivar a molécula de ATP em ADP (Adenosina Difosfato) fornecendo assim energia mecânica para o processo de contração muscular (FRONTERA; OCHALA, 2015).

A junção neuromuscular é o local onde ocorrerá a sinapse entre o neurônio motor e a fibra muscular. O ponto final do neurônio motor contém diversas vesículas de acetilcolina (ACh), as quais serão liberados a partir do potencial de ação. As moléculas de ACh se difundem na junção neuromuscular e se ligam aos receptores nicotínicos de ACh da fibra muscular, quando duas moléculas de ACh se ligam ao receptor, ele muda sua configuração permitindo o fluxo dos íons Na^+ e K^+ (GUYTON; HALL, 2006).

O fluxo de Na^+ para o interior da fibra é maior que o fluxo de K^+ saindo, este fato desencadeia a despolarização da fibra muscular. A despolarização do sarcolema faz com que o Ca^{++} seja liberado pelo retículo sarcoplasmático aumentando sua quantidade no interior da fibra muscular. A interação do Ca^{++} com os filamentos da actina liberam o sítio ativo de ligação das pontes cruzadas entre a actina e miosina ocorrendo deste modo o processo de contração da fibra muscular (GUYTON; HALL, 2006).

Após uma mudança de aproximadamente 6 μm no comprimento da fibra muscular a ponte criada entre os filamentos é liberada, assim os filamentos de miosina devem-se ligar no próximo sítio ativo para dar continuidade no processo de contração muscular. Esse processo de ligamento e desligamento entre os filamentos, são processos ativos, deste modo necessitam da clivagem de ATP em ADP para ocorrer, além disso é necessária a presença de Ca^{++} . Deste modo enquanto houver a presença de ATP e Ca^{++} o processo de ligamento e desligamento estará ocorrendo (GUYTON; HALL, 2006; SCHIAFFINO; REGGIANI, 2011).

3.2 Fadiga muscular

A fadiga é considerada um termo amplo e complexo, que pode ser classificada em fadiga central, observando a origem de seu mecanismo no sistema nervoso central, e em fadiga periférica, onde seu mecanismo se origina na junção neuromuscular. Ainda pode ser classificada em aguda ou crônica (com uma duração acima de 6 meses) e local ou generalizada (FINSTERER; MAHJOUB, 2014).

A fadiga central pode ser definida como uma incapacidade do córtex motor de manter um estímulo nervoso para garantir uma contração muscular. Esse mecanismo de fadiga é comumente observado na Esclerose Múltipla (doença inflamatória crônica que afeta a bainha de mielina) e na doença de Parkinson (doença neurodegenerativa crônica do sistema nervoso central) (CHAUDHURI; BEHAN, 2000, FINSTERER; MAHJOUB, 2014).

A fadiga periférica é um fenômeno amplo e complexo em que se observa na musculatura esquelética uma mudança na atividade neuromuscular, e conseqüentemente uma alteração na força muscular durante uma atividade física pré-determinada (SADLER; CRESSMAN, 2019). Por definição, a fadiga muscular é uma falha ou incapacidade do músculo esquelético em manter a força muscular durante uma atividade repetitiva ou sustentada (LEAL JUNIOR, 2009a; WESTERBLAD; ALLEN, 2011).

A queda dessa força muscular se origina na junção neuromuscular onde ocorre um acúmulo de metabólitos e há uma alteração na concentração iônica e conseqüentemente uma alteração no pH da membrana celular, o que ocasiona em uma disfunção da condução do impulso nervoso para a unidade muscular e uma diminuição no recrutamento de fibras musculares (FINSTERER; MAHJOUB, 2014; POTVIN; FUGLEVAND, 2017).

Para a contração muscular em que o músculo se expõe a uma atividade muito intensa, as células musculares utilizarão do processo de glicólise para produção de ATP pelo processo anaeróbico da glicólise. Como produto desse metabolismo, há liberação de H⁺ (Hidrogênio) e de lactato, alterando o pH da junção

neuromuscular para uma concentração ácida, processo descrito por Marzzoco e Torres (2007). Dessa forma, o acúmulo desses subprodutos metabólicos gera a disfunção na condução do impulso nervoso para a unidade muscular.

Diversos fatores como intensidade e duração do exercício, adaptação muscular, idade e gênero podem influenciar no processo de fadiga. Frente a esta informação a fadiga muscular é influenciada por elementos fisiológicos, biomecânicos e psicológicos (WEIR *et al.*, 2006; BARONI *et al.*, 2010).

3.3 Avaliação da fadiga muscular

Diversos métodos podem ser utilizados para a identificação, monitoramento ou medição da fadiga muscular durante ou após performances fatigantes, com o intuito da melhor compreensão deste fenômeno.

Os métodos mais utilizados para análise e identificação da fadiga muscular são: a eletromiografia de superfície (BARTUZI; ROMAN-LIU; WIŚNIEWSKI, 2012, WALKER *et al.*, 2013; LINHARES, 2015; QUESADA *et al.*, 2015; KUNISZYK-JÓŻKOWIAK; JASZCZUK; CZAPLICKI, 2018; GEROLD *et al.*, 2020), amostras de sangue para mensuração de lactato sanguíneo (KUNZ *et al.*, 2019; HUANG *et al.*, 2019; LEAL JUNIOR *et al.*, 2009b), análise da força muscular por meio da dinamometria (VASSÃO *et al.*, 2015; GILLOT *et al.*, 2019) e recentemente estudos estão sendo realizados com a termografia infravermelha (BARTUZI; ROMAN-LIU; WIŚNIEWSKI, 2012; QUESADA *et al.*, 2015; KUNISZYK-JÓŻKOWIAK; JASZCZUK; CZAPLICKI, 2018; HADZIC *et al.*, 2019).

3.3.1 Eletromiografia de superfície

A eletromiografia de superfície (EMG) é uma técnica não invasiva que capta fenômenos relacionados à contração muscular por meio de eletrodos que são colocados na pele sobre o músculo (ROMAN-LIU; BARTUZI, 2017).

O sinal eletromiográfico representa a corrente elétrica gerada pelas mudanças iônicas da membrana das fibras musculares durante sua despolarização e são captadas pelos eletrodos acoplados à pele. Sendo assim o sinal da EMG é

uma associação entre a ativação neuromuscular e a contração muscular (LINHARES, 2015; KARTHICK; GHOSH; RAMAKRISHNAN, 2018).

Basicamente, o sinal elétrico do músculo é captado pelos eletrodos de superfície e são enviados a um amplificador para aumentar a magnitude do sinal, posteriormente ele é convertido de sinal analógico para o digital para que possa ser analisado por *softwares* específicos (KAMEN; GABRIEL, 2010).

A EMG é um recurso amplamente utilizado na área acadêmica e na área clínica para a melhor compreensão do sistema neuromuscular em atletas (QUESADA *et al.*, 2014; KUNISZYK-JÓŹKOWIA; JASZCZUK; CZAPLICKI, 2018), idosos (VASSÃO *et al.*, 2015), pacientes neurológicos (NEVES *et al.*, 2016; BOULARDA; GAUTHERON; LAPOLE; 2019) e estudos da marcha (FEGER; HERTEL, 2016).

Diversos trabalhos com o intuito de estudar o efeito da fadiga muscular no sinal de EMG foram realizados nas últimas décadas. Vários desses estudos utilizaram protocolos que induziam a fadiga muscular, e demonstraram em seus resultados que o sinal de EMG do músculo analisado em processo de fadiga muscular, reflete no aumento da amplitude e diminuição das frequências médias e medianas (BARTUZI; ROMAN-LIU; WIŚNIEWSKI, 2012; BARTUZI; ROMAN-LIU, 2014; VIEIRA *et al.*, 2017; KUNISZYK-JÓŹKOWIAK; JASZCZUK; CZAPLICKI, 2018).

3.3.2 Dinamometria

A avaliação da força muscular é um método importante para avaliações clínicas e acadêmicas. Clinicamente, a mensuração da força muscular pode ser utilizada como uma linha base de informação sobre o quadro do paciente antes de iniciar o tratamento, e periodicamente pode-se reavaliar o paciente com o intuito de quantificar a evolução do tratamento proposto. Na área acadêmica, pode-se utilizar este método com o mesmo intuito, ou seja, avaliar a progressão de um protocolo proposto. Normalmente compara-se a força antes e após a realização de um determinado protocolo (STARK *et al.*, 2011).

Para o estudo da fadiga muscular, a mensuração da força exercida é um importante parâmetro, pois como descrito na literatura, a fadiga muscular é a falha

ou incapacidade do músculo esquelético em manter a força muscular durante uma atividade repetitiva ou sustentada (WESTERBLAD; ALLEN, 2011).

Bartuzi, Roman Liu e Wisniewski (2012) realizaram um estudo com o intuito de investigar a fadiga muscular com uma carga constante abaixo de 30% da Contração Voluntária Máxima (CVM). Para analisar a queda da força muscular durante o protocolo, eles utilizaram um dinamômetro em conjunto com um transdutor que torna possível a conversão da força em sinal elétrico tornando possível a visualização das mudanças dos valores de força.

3.4 Fotobiomodulação e fadiga muscular

Light Amplification of Stimulated Emissions of Radiation (LASER) é traduzido como Amplificação da Luz por Estimulação da Emissão da Radiação, possuindo uma radiação não ionizante, não sendo prejudicial às células do corpo. A fotobiomodulação, como atualmente é chamada a Terapia Laser de Baixa Intensidade (TLBI), é um recurso muito estudado e citado na literatura atual, possivelmente por seus efeitos analgésicos, anti-inflamatórios e cicatrizantes, com baixa probabilidade de promover efeitos colaterais e poucas contra-indicações (KHOO *et al.*, 2014).

A fotobiomodulação baseia-se na aplicação de uma luz de baixa intensidade, no espectro do vermelho e infravermelho próximo, possuindo aproximadamente a faixa de comprimento de onda entre 635 nm à 760 nm e 760 nm à 1.400 nm, respectivamente (ALLEMANN; KAUFMAN; 2011; TATTERSALL, 2016).

Esse método é responsável por desencadear efeitos foto-químico e foto-físico, porém os mecanismos pelos quais esses processos ocorrem são incertos (CISNEROS, 2000). Acredita-se que devido aos efeitos fotoquímicos, a luz é absorvida pelo tecido, essa interação luz-tecido influencia a liberação de fatores de crescimento e substâncias endógenas que melhoram as propriedades anti-inflamatórias, cicatriciais, circulatórias e analgésicas do organismo (UZDENSKY; 2016; ESCUDERO *et al.*, 2019).

Sugere-se, que devido os efeitos foto-físicos, a luz altera o comportamento intracelular, influenciando na cadeia respiratória, com aumento da produção de ATP

na membrana mitocondrial, resultando no aumento do metabolismo celular (ESCUDERO *et al.*, 2019).

Diversos estudos na literatura demonstram a aplicabilidade da fotobiomodulação em vários tratamentos como a osteoartrite (STAUSHOLM *et al.*, 2019), dor musculoesquelética (CHOW; HELLER; BARNSELEY, 2006), tendinopatias (STERGIOULAS *et al.*, 2008), performance muscular (VIEIRA *et al.*, 2012) e fadiga muscular (LOPES-MARTINS *et al.*, 2006; LEAL JUNIOR *et al.*, 2009a; LEAL JUNIOR *et al.*, 2009b; VASSÃO *et al.*, 2015).

A aplicação da fotobiomodulação antes da execução de contrações musculares fatigantes tem efeitos positivos na atenuação da fadiga muscular decorrente da diminuição dos níveis de lactato sanguíneo pós-exercício e controle da liberação de creatina quinase e proteína C reativa (LEAL JUNIOR *et al.*, 2009b).

O estudo de Lopes-Martins *et al.* (2006) foi pioneiro em relação a aplicabilidade da fotobiomodulação na fadiga muscular. Neste estudo, utilizou-se o LASER com comprimento de onda de 655 nm sobre o músculo tibial anterior de ratos, com intuito de observar os efeitos desse recurso terapêutico sobre o reparo muscular e redução da fadiga. Foram observados resultados estatisticamente significativos, podendo concluir que a fotobiomodulação promovia alterações celulares que contribuem para o melhor desempenho musculoesquelético e redução da fadiga muscular.

4 METODOLOGIA

Abaixo será descrita a metodologia do estudo.

4.1 Aspectos éticos

O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa (CEP) da Universidade do Vale do Paraíba (CAAE 94812618.8.0000.5503) em 03 de outubro de 2018 (Anexo A) e posteriormente registrado no *ClinicalTrials.gov* (NCT03753984). Todos os participantes concordaram e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice A).

4.2 Designer do estudo

Trata-se de um ensaio clínico, cruzado, comparativo, randomizado, placebo e duplo-cego. O estudo foi realizado no Laboratório de Engenharia de Reabilitação Sensório Motora (LERSM), pertencente ao Instituto de Pesquisa & Desenvolvimento (IP&D) da Universidade do Vale do Paraíba (Brasil).

4.3 Amostra e Grupos do Estudo

O estudo foi composto por 14 voluntários do gênero masculino com idade entre 20 e 30 anos, e foi dividido entre Fase I e Fase II:

Fase I – Realizaram o protocolo de indução da fadiga muscular por meio do dinamômetro computadorizado acoplado ao eletromiógrafo, como modo de

adaptação ao protocolo de pesquisa. Não foi realizada a aplicação da fotobiomodulação e foi mensurada atividade mioelétrica, intensidade dolorosa e força muscular.

Fase II: Esta fase foi dividida em dois grupos que serão descritos abaixo:

- ✓ **Grupo fotobiomodulação (PBMT)** - Os indivíduos foram submetidos previamente a fotobiomodulação e posteriormente realizaram o protocolo de indução da fadiga muscular por meio do dinamômetro computadorizado. Foi mensurada a atividade mioelétrica, intensidade dolorosa e força muscular.

- ✓ **Grupo Placebo** – Os indivíduos foram submetidos previamente a fotobiomodulação, entretanto com o aparelho desligado, e posteriormente realizaram o protocolo de indução da fadiga muscular por meio do dinamômetro computadorizado. Foi mensurada a atividade mioelétrica, intensidade dolorosa e força muscular.

O grupo placebo para intervenção laser foi incluído neste estudo como parte metodológica para aumentar a fidedignidade dos resultados, portanto, este grupo é necessário para evitar/diminuir vieses nos resultados futuros, e assim demonstrar os reais efeitos da laserterapia em relação à fadiga muscular, subtraindo os possíveis efeitos placebo. Na publicação da *Harvard Medical School* (2017), é comentado o efeito placebo, que ele existe e envolve reações com os neurotransmissores do bem-estar quando uma pessoa é submetida a um tratamento. Ainda, Kaptchuk e Miller (2015) publicaram na *The New England Journal of Medicine* um artigo relacionado ao efeito placebo na medicina e a importância de ser considerado. Os autores conceituaram o efeito placebo como melhorias dos sintomas dos indivíduos atribuíveis à sua participação do encontro terapêutico, com seus rituais, símbolos e interações. Neste artigo também é comentado que o grupo placebo é utilizado nos estudos clínicos como ferramenta metodológica para elucidar e quantificar os efeitos de uma terapia. Por fim, a *World Association of Laser Therapy (WALT)* recomenda que ensaios clínicos com terapia a laser de baixa intensidade devem ter um grupo placebo laser. Portanto, justifica-se um grupo placebo no estudo. Além da

justificativa, é interessante reforçar que trata-se de um estudo transversal, deste modo nenhum voluntário será prejudicado com o grupo placebo.

4.4 Critérios de inclusão do estudo

- ✓ Idade entre 20 e 30 anos;
- ✓ Indivíduos do gênero masculino;
- ✓ Cognição preservada, e preservação da capacidade de responder a estímulos verbais.

4.5 Critérios de exclusão

- ✓ Possuir comprometimento musculoesquelético do membro superior dominante;
- ✓ Praticar atividade física com carga (musculação);
- ✓ Presença de infecção ativa e erupções no membro superior dominante;
- ✓ Dor limitante que impossibilite a realização do protocolo de avaliação;
- ✓ Ingestão de medicamentos analgésicos e/ou anti-inflamatórios e/ou medicamentos contendo corticoides ou esteroides.
- ✓ Classificação de Fitzpatrick: Fototipos V e VI;
- ✓ Presença de lesão neoplásica maligna;
- ✓ Presença de infecção ativa e erupções no local de aplicação dos eletrodos;
- ✓ Hipoestesia e/ou hiperestesia e/ ou anestesia do membro em que será aplicada a fotobiomodulação.

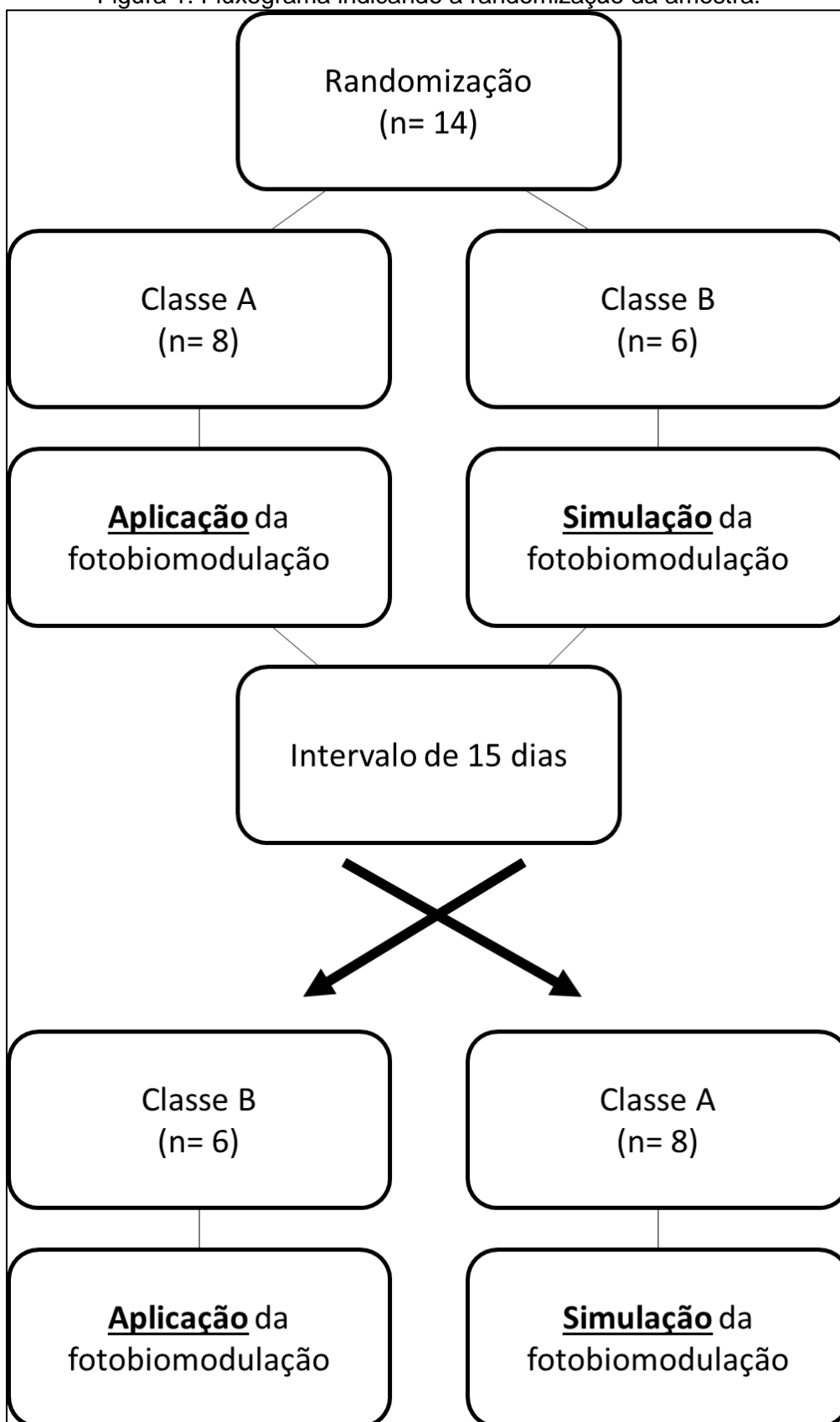
4.6 Randomização dos grupos

Na fase II os voluntários passaram pela randomização, a qual ocorreu por meio de um sorteio simples das Classes A ou B, que determinou se o voluntário iniciaria no Grupo PBMT ou no Grupo Placebo. Os indivíduos que sortearam a Classe A iniciaram no Grupo PBMT e finalizaram no Grupo placebo, enquanto os indivíduos que sortearam a Classe B iniciaram no Grupo placebo e posteriormente realizaram o

Grupo PBMT, tornando deste modo o estudo cruzado, gerando resultados mais fidedignos.

Assim todos os indivíduos passaram pelos dois grupos do estudo (Grupo placebo e Grupo PBMT), com intervalo de 15 dias entre eles. A Figura 1 auxilia para melhor compreensão da randomização do estudo.

Figura 1. Fluxograma indicando a randomização da amostra.



Fonte: Autora.

4.7 Instrumentos de avaliação

Abaixo será descrito os métodos de avaliação utilizados no estudo.

4.7.1 Escala Visual Analógica de dor – EVA

A intensidade dolorosa foi avaliada por meio da Escala Visual Analógica de dor, a qual é composta por uma linha horizontal com uma escala de 0 a 10, sendo que 0 representa ausência de dor e 10 representa a pior dor possível.

Deste modo o voluntário foi orientado a demarcar qual a sua intensidade dolorosa em 4 momentos distintos: antes da execução da CIVM, imediatamente após a CIVM, 24 horas e 48 horas após a CIVM. Foi solicitado que o voluntário classificasse a sua intensidade dolorosa de duas maneiras, com o membro superior parado e realizando flexo-extensão de cotovelo.

Para a demarcação da intensidade dolorosa após 24 horas e 48 horas foram fornecidas duas escalas EVA para os voluntários levarem para a casa. No período de 24 horas e 48 horas o pesquisador entrou em contato com o voluntário para lembrá-lo de fazer a avaliação da dor.

4.7.2 Eletromiografia de superfície

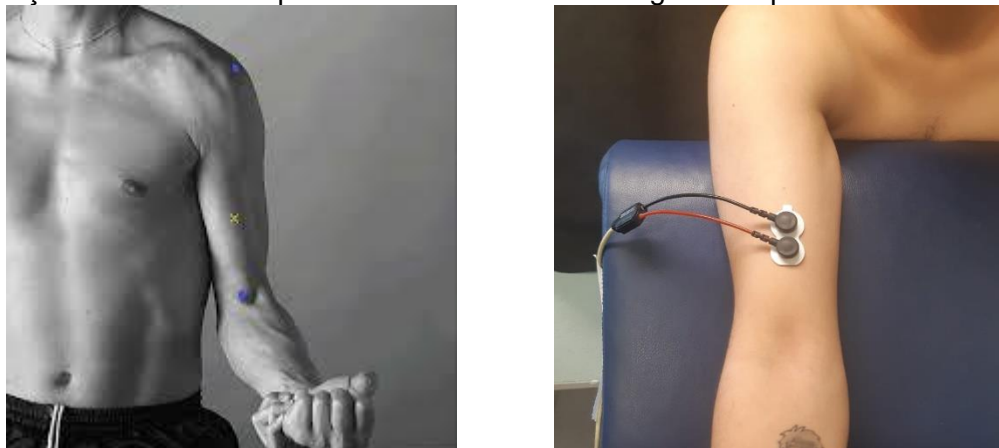
Os sinais mioelétricos foram coletados por um eletromiógrafo composto por 8 canais da marca EMG System Brasil Ltda, modelo EMG 832C - *Wifi*, composto por um conversor A/D (conversor analógico-digital) de 12 bits de resolução, com frequência de amostragem de 2.000Hz, unidade μv , X_{min} -2000, $Y_{\text{máx}}$ 2000, Coef. A 0 e Coef.B 500, acoplado a um computador.

Foram utilizados eletrodos duplos de superfície descartáveis, composto por espuma de polietileno com adesivo medicinal hipoalérgico, gel sólido aderente, contato bipolar de Ag/AgCl, com distância entre os pólos de 20 mm.

Os eletrodos de superfície foram colocados sobre o ventre muscular do músculo bíceps braquial, acompanhando o sentido longitudinal das fibras musculares. Para atenuar a impedância tecidual foi realizada a higienização da pele com algodão embebido de álcool a 70%, e realizada a tricotomia da área em que o eletrodo foi colocado. A localização do ventre muscular do músculo bíceps braquial

seguiu às recomendações da *SENIAM* (*Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles*). Um eletrodo do tipo pinça untado com gel foi posicionado no processo estilóide da ulna do membro superior contralateral ao membro que será avaliado.

Figura 2. a) Ponto motor do músculo bíceps braquial segundo o protocolo da SENIAM. b) Colocação do eletrodo no ponto motor do voluntário seguindo a protocolo da SENIAM.



Fonte: Autora.

4.7.3 Dinamômetro

Associado à captação do EMG, foi realizada a mensuração da força muscular a partir da CIVM do músculo bíceps braquial, para a qual foi utilizado um dinamômetro computadorizado portátil da marca *EMG System do Brasil*, modelo DFE021115/200, conectado ao eletromiógrafo e este a rede de computador. Os sinais foram amostrados a uma taxa de 2.000 Hz.

4.8 Fotobiomodulação (PBMT)

Foi utilizado um *cluster* de *LASER* (*Modelo Med Light Laser VIV, DMC, Brasil*) composto por 6 *LASERS* com emissão de energia ao mesmo tempo (3 no comprimento de onda na região do vermelho e 3 na região do infravermelho), entretanto neste estudo foi utilizado apenas o *LASER* no comprimento de onda na região do infravermelho (808nm).

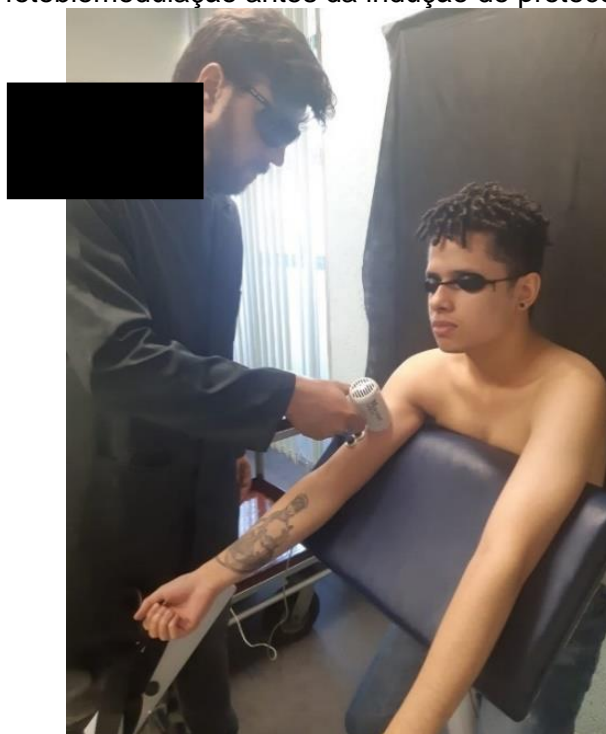
Foi utilizado um *cluster* de LASER, infravermelho de $\lambda=808$ nm, potência de 100 mW/ponto e energia de 3 Joules/ ponto. No total serão aplicados 9 pontos no músculo bíceps braquial, totalizando 27J de energia.

Conforme descrito anteriormente na sessão 4.3, apenas o Grupo PBMT recebeu a irradiação do LASER, enquanto os indivíduos do Grupo Placebo receberam a simulação da irradiação do LASER com o aparelho desligado.

Durante a irradiação do *LASER* o *cluster* não teve contato direto com a pele do voluntário para não promover alterações na temperatura da pele, tornando mais fidedigno a avaliação por meio da termografia. Entretanto a aplicação da fotobiomodulação sempre foi realizada pelo mesmo pesquisador, que manteve o padrão de aproximação do *cluster* para todos os voluntários.

Durante o período de realização da aplicação da fotobiomodulação, foram adotadas todas as medidas de biossegurança, ou seja, todos os presentes no local da coleta estavam devidamente paramentados com óculos de segurança adequado ao comprimento de onda utilizado.

Figura 3. Aplicação da fotobiomodulação antes da indução do protocolo de fadiga muscular.



Fonte: Autora.

4.9 Protocolo de pesquisa

No primeiro contato com o voluntário foi realizada uma avaliação visando analisar se ele se enquadra no estudo em questão, considerando os fatores de inclusão e exclusão (sessão 4.4 e 4.5), e foi apresentado e assinado o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice A).

Todos os voluntários iniciaram na Fase I como modo de adaptação do voluntário ao protocolo de pesquisa e aos equipamentos, os dados obtidos nessa fase não foram analisados posteriormente, visto que foi apenas a adaptação do voluntário ao protocolo.

Na fase II o voluntário passou pela randomização do estudo, já descrita na sessão 4.6. Os procedimentos experimentais foram padronizados nos dois grupos do estudo (Grupo PBMT e Grupo Placebo) de acordo com a seguinte sequência de eventos: Colocação dos eletrodos de superfície no músculo bíceps braquial, aplicação do EVA, irradiação/simulação da aplicação da fotobiomodulação e realização do protocolo de indução da fadiga.

Para a realização do protocolo de indução de fadiga muscular do músculo bíceps braquial o indivíduo foi posicionado no banco *Scott* com o cotovelo a 45°. Uma faixa inelástica teve uma de suas extremidades fixa no dinamômetro computadorizado e a outra extremidade posicionada no antebraço do voluntário para realização do protocolo de CIVM do músculo bíceps braquial (Figura 4).

Figura 4. Posicionamento do voluntário no banco Scott para a realização do protocolo de indução da fadiga muscular.

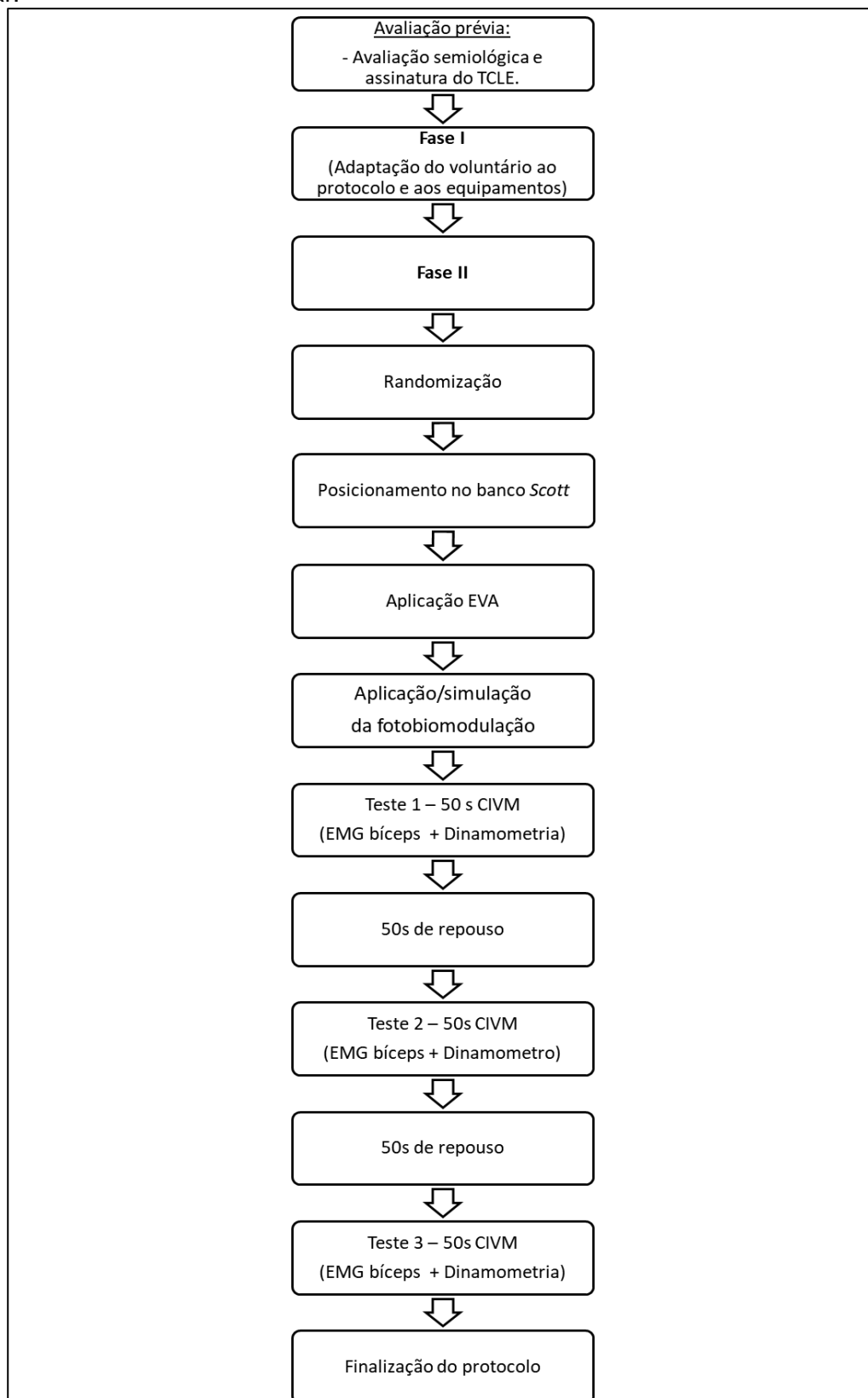


Fonte: Autora.

O protocolo consistiu em três CIVM durante 50 segundos ininterruptos, com intervalo de 50 segundos entre cada contração, chamadas de Teste 1, Teste 2 e Teste 3. Durante as contrações a atividade mioelétrica e força muscular foram coletadas de modo sincrônico. Imediatamente após o protocolo de indução da fadiga muscular foi aplicado o EVA.

Para uma melhor visualização da sequência de eventos do estudo foi desenvolvido um fluxograma que será demonstrado na Figura 5.

Figura 5. Fluxograma da sequência de eventos e do protocolo de indução da fadiga muscular.

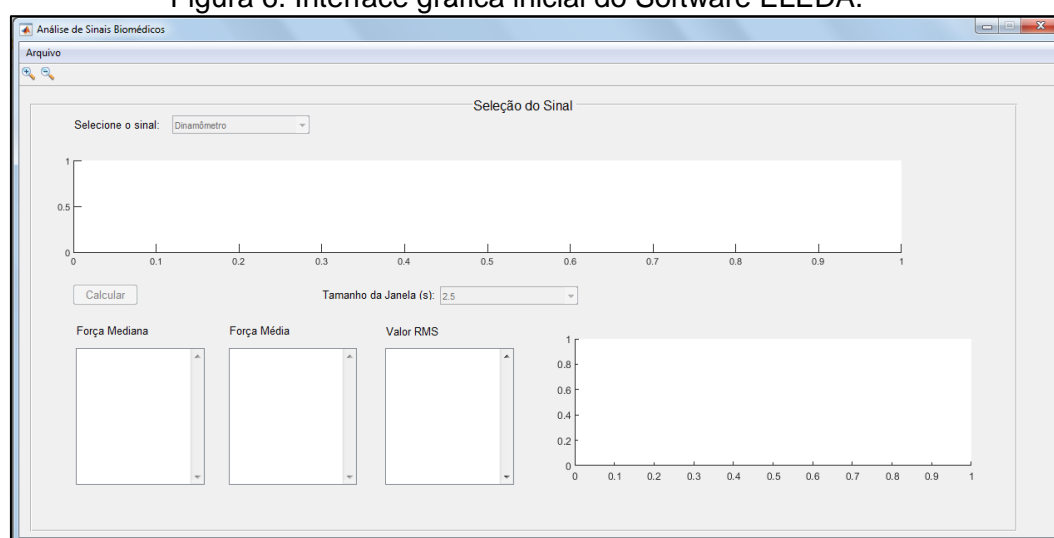


Fonte: autora.

4.10 Análise dos dados da eletromiografia de superfície e dinamometria

A EMG e dinamometria foram coletadas de modo sincrônico e pelo mesmo aquisitor, deste modo tornou-se possível a realização da análise destes sinais simultaneamente. Para o processamento dos sinais de eletromiografia e dinamometria o *software ELEDA* (do inglês Electromyography and Dynamometer Data Analysis) foi desenvolvido por H. G. Macedo e V. Klausner do Laboratório de Imagens e Sinais (LIS/UNIVAP) que compõe o nosso grupo de pesquisa, sua interface gráfica inicial está na Figura 6.

Figura 6. Interface gráfica inicial do Software ELEDA.



Fonte: autora.

Para iniciar o processamento dos sinais foram abertos os arquivos em .txt fornecido pelo aquisitor de sinal, composto por três colunas, sendo a primeira coluna o tempo (s), a segunda coluna os valores de dinamometria e a terceira coluna os valores da EMG. Após a seleção do dado a ser analisado, o próximo passo é optar pelo número de janelas, o processo de janelar um sinal consiste em dividir os dados em partes menores. Neste estudo, o tempo de coleta foi de 50s para cada teste, sendo assim o *ELEDA* possibilita o janelamento de 2,5s (20 janelas), 5 s (10 janelas), 10 s (5 janelas) 25s (2 janelas) ou 50 s (1 janela).

Em seguida selecionou-se entre a análise do sinal de EMG ou o sinal da dinamometria. Para a análise dos sinais de eletromiografia, o programa faz a transformada de Fourier por meio do algoritmo da Transformada rápida de Fourier

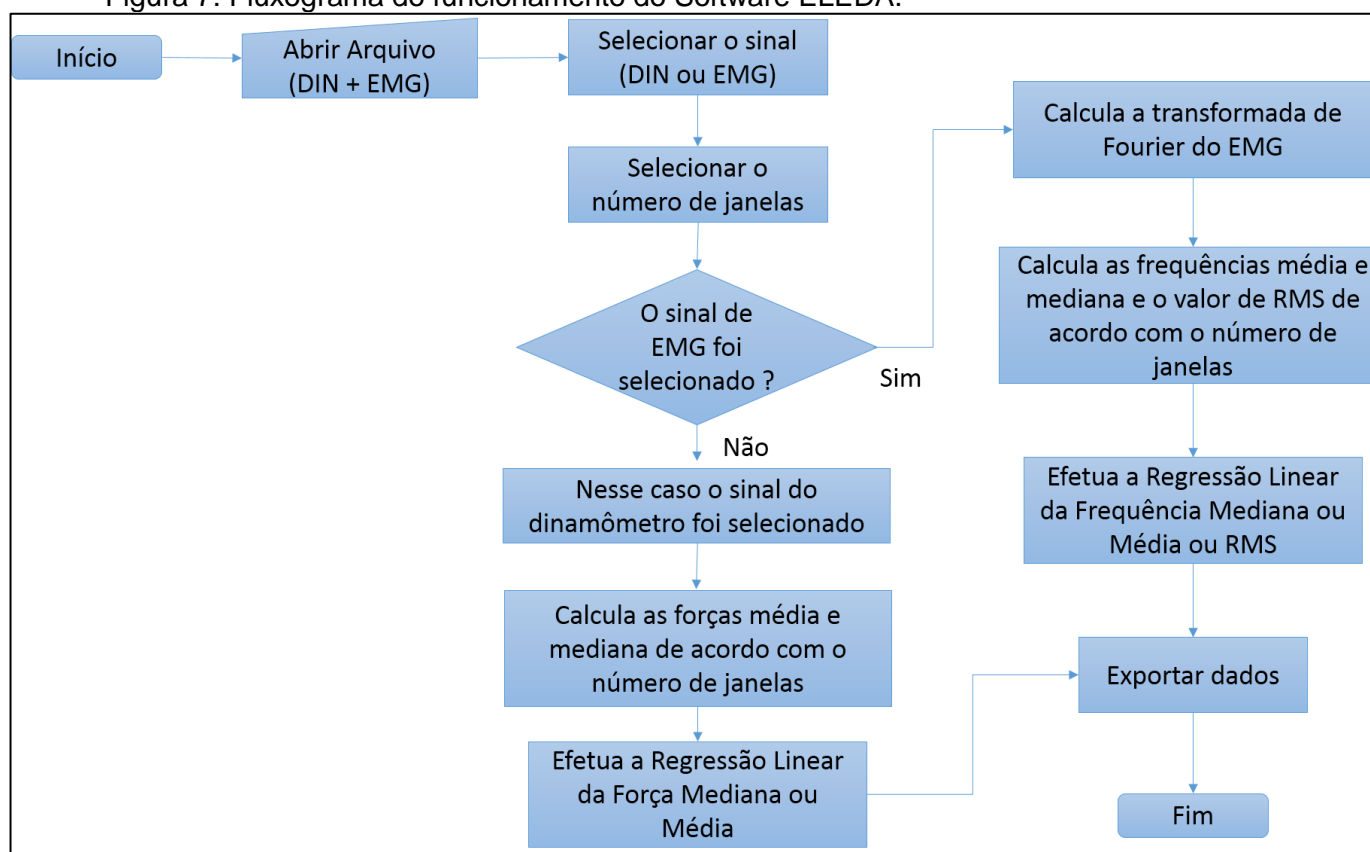
(FFT) obtendo a frequência média (MF) e mediana (MNF) dos sinais, e os valores de RMS foram obtidos por meio da amplitude do sinal. Para a análise de amplitude os dados coletados foram normalizados entre -1 e 1.

Ao selecionar a análise dos sinais de dinamômetro faz o cálculo da média em função do tempo. Para considerar fadiga muscular utilizou-se como critério a queda acima de 20% do índice de força (BARTUZI; ROMAN-LIU, 2014) calculado por meio do janelamento ($\frac{Janela\ 20}{Janela\ 1} \times 100$).

Foram exportados em formato .txt os valores obtidos por meio dos cálculos supracitados, tanto para a análise do sinal de EMG quanto para o sinal da dinamometria.

Na Figura 7 é possível ver o fluxograma do funcionamento do *Software ELEDA*.

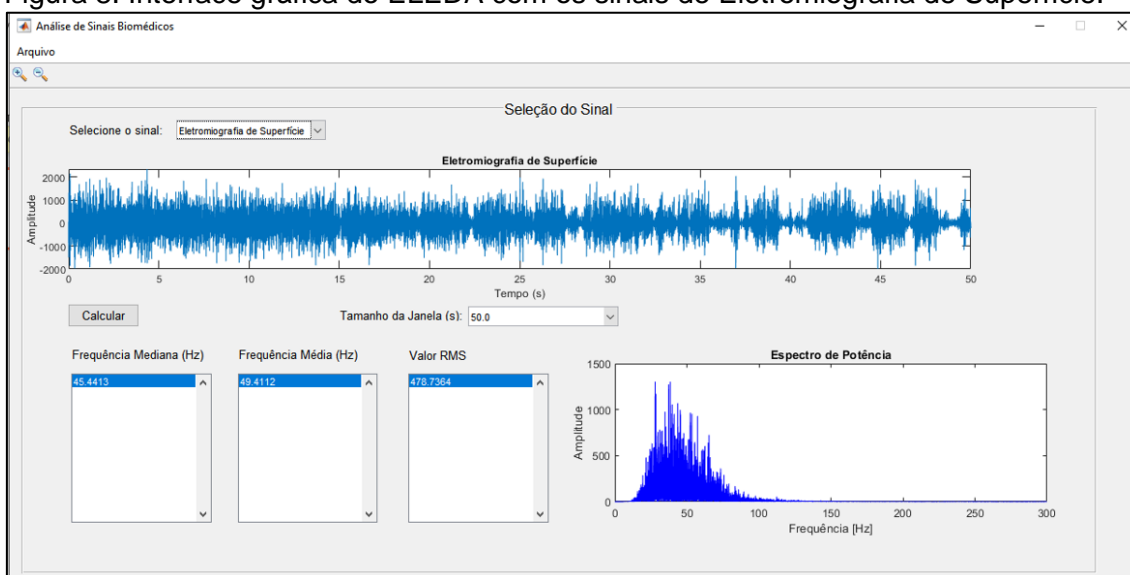
Figura 7. Fluxograma do funcionamento do Software ELEDA.



Fonte: autora.

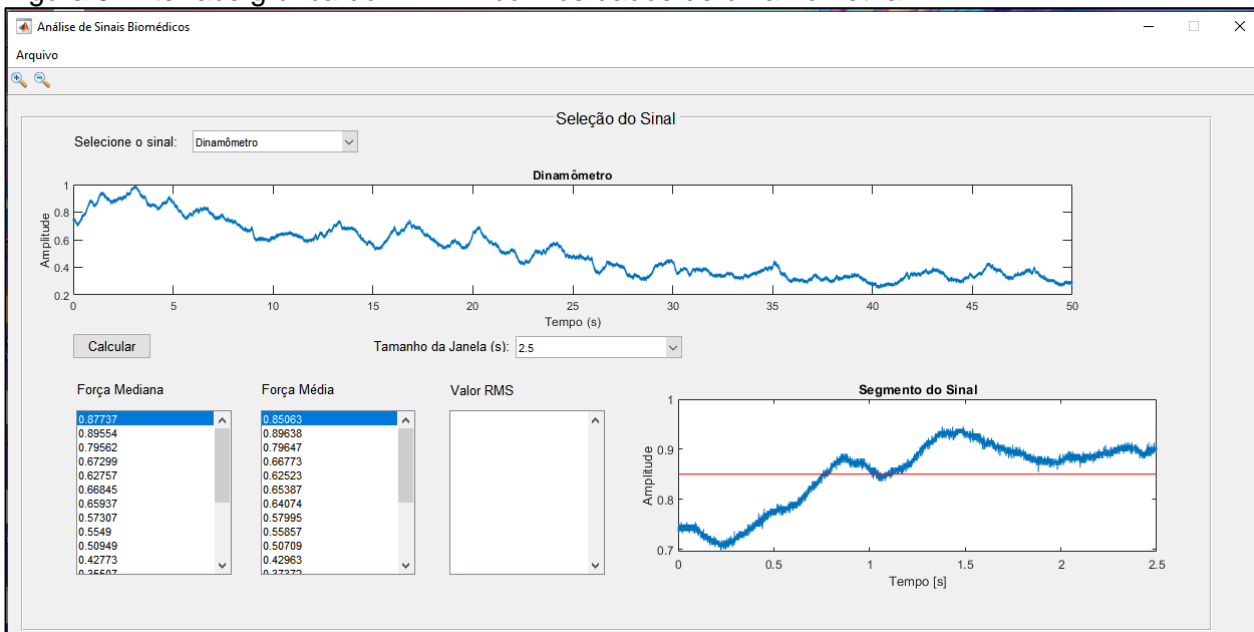
A Figura 8 e a Figura 9 demonstram respectivamente o modo como é visualizada a interface gráfica do *ELEDA* quando é plotado o sinal de EMG e dinamometria.

Figura 8. Interface gráfica do ELEDA com os sinais de Eletromiografia de Superfície.



Fonte: autora.

Figura 9. Interface gráfica do ELEDA com os dados de dinamometria.



Fonte: autora.

Foi realizado o método de regressão linear dos comportamentos da força, MF, MFN e RMS para o grupo PBMT e placebo. Após a obtenção dos valores da

regressão linear calculou-se o percentual de queda para ambos os grupos a partir dos pontos final (Teste 3) e inicial (Teste 1) obtidos por meio da equação regredida. O fator de queda foi calculado considerando o percentual de queda do grupo placebo em relação ao grupo PBMT.

A inclinação da reta obtida é inversamente proporcional ao valor de regressão linear, ou seja, quanto mais íngreme a reta menor o valor de regressão. Deste modo subentende-se que quanto maior o valor da regressão linear e menor inclinação da reta observados menor será a queda dos valores de força e das frequências da eletromiografia indicando menor índice de fadiga.

4.11 Análise estatística

Realizou-se a análise estatística dos dados no programa Past® versão 4.0. Para análise descritiva utilizou-se a tendência central e o desvio padrão (DP). Todos os dados passaram pelo Teste de Normalidade Shapiro-Wilk, para as amostras consideradas normais utilizou-se o teste estatístico *t-student*, e para as amostras consideradas não-normais utilizou-se o teste Wilcoxon. O alfa foi ajustado para um nível de significância de $p < 0,05$.

5 RESULTADOS

Inicialmente foram contatados 27 voluntários para a participação no estudo, 5 voluntários não compareceram e 2 voluntários não finalizaram as coletas. Deste modo 20 voluntários finalizaram as coletas, porém 6 voluntários não apresentaram queda da força muscular maior que 20% e foram excluídos do estudo.

Portanto o estudo foi constituído por 14 indivíduos hígidos do gênero masculino, com idade média de $22\pm 3,7$ anos, altura média de $165\pm 7,7$ cm, peso de 71 ± 14 kg e índice de massa corporal (IMC) de 16 ± 0 kg/m².

Após a randomização, os 14 voluntários foram divididos entre Lote A e Lote B, 8 voluntários fizeram parte do Lote A, e 6 voluntários compuseram o Lote B.

Na Tabela 1, consta os resultados referentes a intensidade dolorosa com o membro superior avaliado em movimento e em repouso reportada pelos voluntários antes de iniciar os testes, após a realização dos testes, 24 horas e 48 horas após os testes. Na análise intragrupos, foram observadas diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$) em relação a dor referida imediatamente após o teste em comparação com o antes, 24 horas e 48 horas para ambos os grupos, em repouso e em movimento (Tabela 2 e Tabela 3). Tais achados indicam que o protocolo desencadeou dor moderada nos indivíduos imediatamente após o teste, entretanto a partir de 24 horas o quadro algico foi cessado.

Tabela 1. Média \pm Desvio padrão da intensidade de dor referida de acordo com a Escala Visual Analógica.

	Em Repouso				Em Movimento			
	Antes	Após	24h	48h	Antes	Após	24h	48 h
PBMT	01 \pm 0,2	5,1 \pm 1,5	0 \pm 0	0 \pm 0	0,1 \pm 0,5	5,9 \pm 2	0 \pm 0	0 \pm 0
Placebo	01 \pm 0,2	5,2 \pm 1,9	0,1 \pm 0,5	0 \pm 0	0,1 \pm 0,5	5,4 \pm 2,5	0,1 \pm 0,5	0 \pm 0

Fonte: autora.

Tabela 2. Resultados da análise estatística intragrupo da intensidade dolorosa referida pelos indivíduos grupo PMBT e grupo placebo com o membro superior avaliado em repouso.

Repouso						
	Antes X Depois	Antes X 24h	Antes X 48h	Depois X 24h	Depois X 48h	24h X 48h
PBMT	p<0,05	p>0,05	p>0,05	p<0,05	p<0,05	Não se aplica*
Placebo	p<0,05	p>0,05	p>0,05	p<0,05	p<0,05	p>0,05

*Teste estatístico não aplicável pois o valor da intensidade dolorosa foi igual a 0 para os dois momentos (24h e 48h).

Fonte: autora.

Tabela 3. Resultados da análise estatística intragrupo da intensidade dolorosa referida pelos indivíduos grupo PMBT e grupo placebo com o membro superior avaliado em movimento.

Em movimento						
	Antes X Depois	Antes X 24h	Antes X 48h	Depois X 24h	Depois X 48h	24h X 48h
PBMT	p<0,05	p>0,05	p>0,05	p<0,05	p<0,05	Não se aplica*
Placebo	p<0,05	p>0,05	p>0,05	p<0,05	p<0,05	p>0,05

*Teste estatístico não aplicável pois o valor da intensidade dolorosa foi igual a 0 para os dois momentos (24h e 48h).

Fonte: autora.

Em relação a análise intergrupo da intensidade dolorosa nota-se, em todos os momentos avaliados, que não houve diferença estatística da dor referida ao comparar os grupos PBMT e placebo (Tabela 4).

Tabela 4. Resultados da análise estatística intergrupo da intensidade dolorosa referida entre os indivíduos de grupo PMBT e do grupo placebo com o membro superior avaliado em repouso e em movimento.

Inter - grupos				
PBMT X Placebo	Antes	Depois	24 horas	48 horas
Repouso	p>0,05	p>0,05	p>0,05	Não se aplica*
Movimento	p>0,05	p>0,05	p>0,05	Não se aplica*

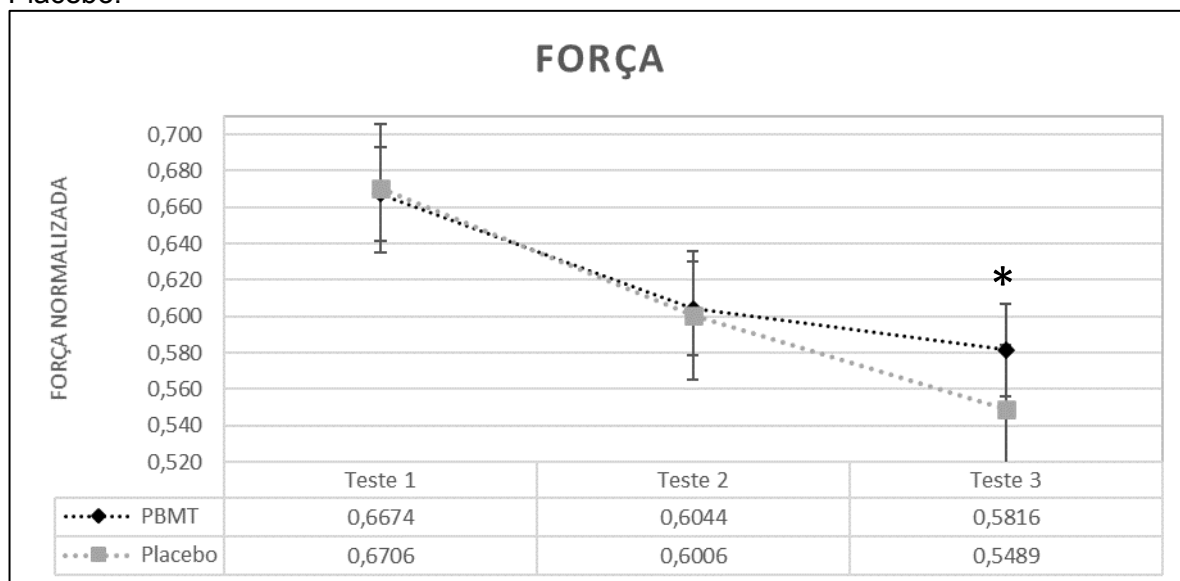
*Teste estatístico não aplicável pois o valor da intensidade dolorosa foi igual a 0 para os dois momentos (24h e 48h).

Fonte: autora.

Na figura 10, pode-se observar os valores da força muscular normalizada coletada com auxílio do dinamômetro computadorizado acoplado ao

eletromiográfico, por meio da contração isométrica do músculo bíceps braquial. O gráfico refere-se aos três testes isométricos (Teste 1, Teste 2 e Teste 3), e compara os valores obtidos entre os grupos PBMT e placebo. Nota-se a partir dos resultados que houve queda da força significativa para ambos os grupos em todos os testes ($p < 0,05$) a partir da análise intragrupo (Tabela 5).

Figura 10. Gráfico da média dos valores normalizados da força muscular coletado durante a contração isométrica voluntária máxima do músculo bíceps braquial obtido pelo dinamômetro computadorizado durante os Testes 1, 2 e 3 para o grupo PBMT e grupo Placebo.



* $p < 0,05$.

Fonte: autora.

Tabela 5. Resultados da análise estatística intragrupo da força média do músculo bíceps braquial obtido por meio do dinamômetro computadorizado para grupo PBMT e grupo placebo durante a contração isométrica voluntária máxima.

Intragrupos

	Teste 1 X	Teste 1 X	Teste 2 X
	Teste 2	Teste 3	Teste 3
PBMT	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$
Placebo	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$

Fonte: autora.

Em relação a análise estatística intergrupos da força exercida pelos flexores de cotovelo durante a contração isométrica voluntária máxima realizada

pelos indivíduos dos grupos PBMT e placebo, observou-se diferença estatística significativa apenas no Teste 3 ($p < 0,05$) (Tabela 6).

Tabela 6. Análise estatística intergrupo referentes à força média do músculo bíceps braquial obtido por meio do dinamômetro computadorizado comparando o grupo PBMT e grupo placebo durante a contração isométrica voluntária máxima.

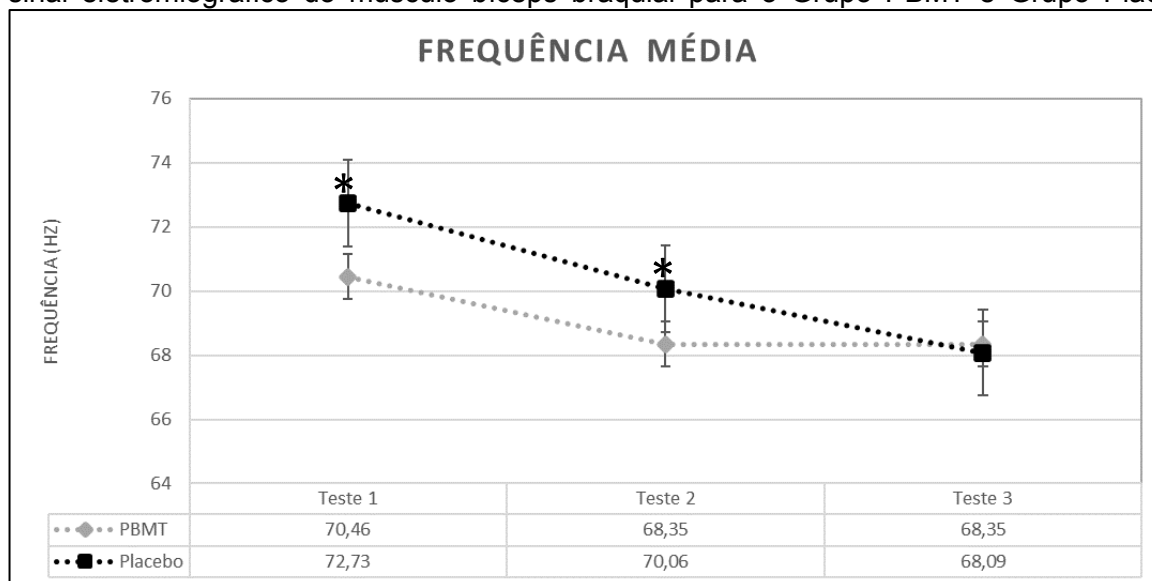
Intergrupos			
	Teste 1	Teste 2	Teste 3
PBMT X placebo	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p < 0,05$

Fonte: autora.

Em relação a atividade mioelétrica obtida por meio da EMG do músculo bíceps braquial os parâmetros analisados foram a amplitude do sinal (RMS), e a frequência média (MF) e frequência mediana (MNF) obtidas por meio da FFT.

Na Figura 11, podemos observar o comportamento da MF do sinal eletromiográfico do grupo PBMT e do grupo Placebo para os três testes. Nota-se que a queda da MF foi menos acentuada no Grupo PBMT em relação ao Grupo Placebo, pois entre os Testes 2 e 3 do grupo PBMT houve uma estabilização no comportamento do sinal eletromiográfico, enquanto o grupo placebo demonstrou uma queda constante do sinal nos Testes 1, 2 e 3.

Figura 11. Gráfico da média das frequências médias obtidas durante os Testes 1, 2 e 3 do sinal eletromiográfico do músculo bíceps braquial para o Grupo PBMT e Grupo Placebo.



* $p < 0,05$.

Fonte: autora.

Ao observar os resultados apresentados na Tabela 7, o grupo PBMT apresentou diferença significativa na queda da frequência média apenas entre o Teste 1 e Teste 2 ($p < 0,05$), entretanto não foram observadas diferenças significativas na queda dos valores da MF entre os teste 1 e 3 ($p > 0,05$) e testes 2 e 3 ($p > 0,05$). Nota-se que no grupo placebo houve diferenças significativas ao compararmos a queda da MF entre todos os testes ($p < 0,05$).

Tabela 7. Resultados da análise estatística intragrupo da frequência média do sinal de eletromiografia de superfície do músculo bíceps braquial do grupo PMBT e grupo placebo durante a contração isométrica voluntária máxima.

Intragrupos			
	Teste 1 X Teste 2	Teste 1 X Teste 3	Teste 2 X Teste 3
PBMT	$p < 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$
Placebo	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$

Fonte: autora.

Na Tabela 8, observa-se que a MF no Teste 1 e no Teste 2 o grupo placebo apresentou a MF significativamente maior quando com o grupo PBMT ($p < 0,05$), no entanto não foram observadas diferenças significativas entre os grupos no Teste 3 ($p > 0,05$).

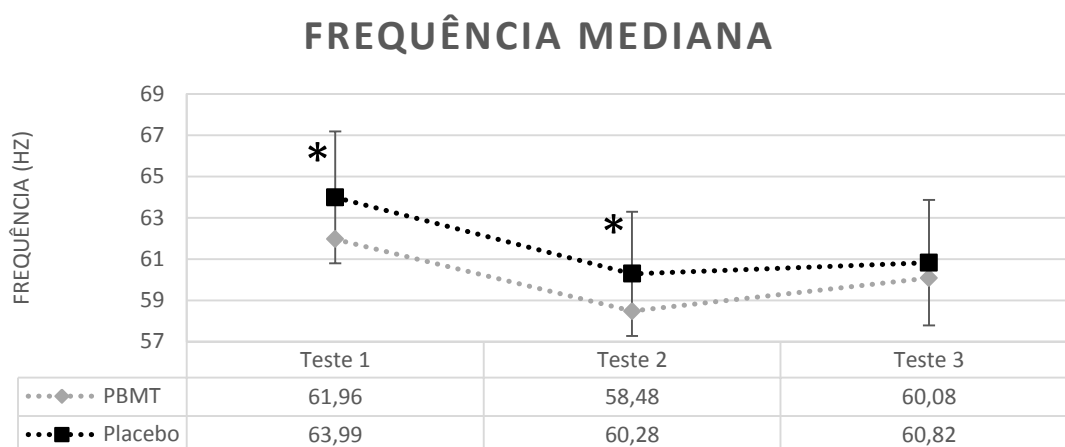
Tabela 8. Análise estatística referentes a frequência média do sinal de eletromiografia de superfície do músculo bíceps braquial dos três testes de contração isométrica voluntária máxima realizadas pelos grupos PBMT e placebo.

Intergrupos			
	Teste 1	Teste 2	Teste 3
PBMT X placebo	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p > 0,05$

Fonte: autora.

Na Figura 12, podemos observar o comportamento da MNF do sinal eletromiográfico do grupo PBMT e do grupo Placebo para os três testes. Nota-se que tanto para o grupo PBMT quanto para o grupo Placebo houve uma queda do sinal eletromiográfico entre os Testes 1 e 2, porém ao observarmos os Teste 2 e 3 de ambos os grupos verificamos que ocorreu aumento da MNF do músculo bíceps braquial.

Figura 12. Gráfico da média das frequências medianas obtidas durante os Testes 1, 2 e 3 do sinal eletromiográfico do músculo bíceps braquial para o Grupo PBMT e Grupo Placebo.



* $p < 0,05$.

Fonte: autora.

Ao observar os resultados apresentados na Tabela 9, o grupo PBMT apresentou diferença significativa na queda da MNF entre o Teste 1 e Teste 2 ($p < 0,05$), sendo também observada diferença estatística significativa no aumento do sinal entre o Teste 2 e Teste 3 ($p < 0,05$), contudo ao compararmos os Testes 1 e 3 não encontramos diferença significativa ($p < 0,05$). Nota-se que no grupo placebo houve diferenças significativas ao compararmos a queda da MDF entre os Testes 1

e 2 ($p < 0,05$) e Teste 1 e 3, porém entre os Testes 2 e 3 não houve diferença significativa.

Tabela 9. Resultados da análise estatística intragrupo da frequência mediana do sinal de eletromiografia de superfície do músculo bíceps braquial do grupo PBMT e grupo placebo durante a contração isométrica voluntária máxima.

Intragrupos			
	Teste 1 X	Teste 1 X	Teste 2 X
	Teste 2	Teste 3	Teste 3
PBMT	$p < 0,05$	$p > 0,05$	$p < 0,05$
Placebo	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p > 0,05$

Fonte: autora.

Em relação a análise intergrupos do comportamento da MNF, observou-se diferença estatística nos Teste 1 e 2 ao compararmos o grupo PBMT ao grupo placebo, entretanto no Teste 3 a média da MNF do sinal elétrico do músculo bíceps não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) (Tabela 10).

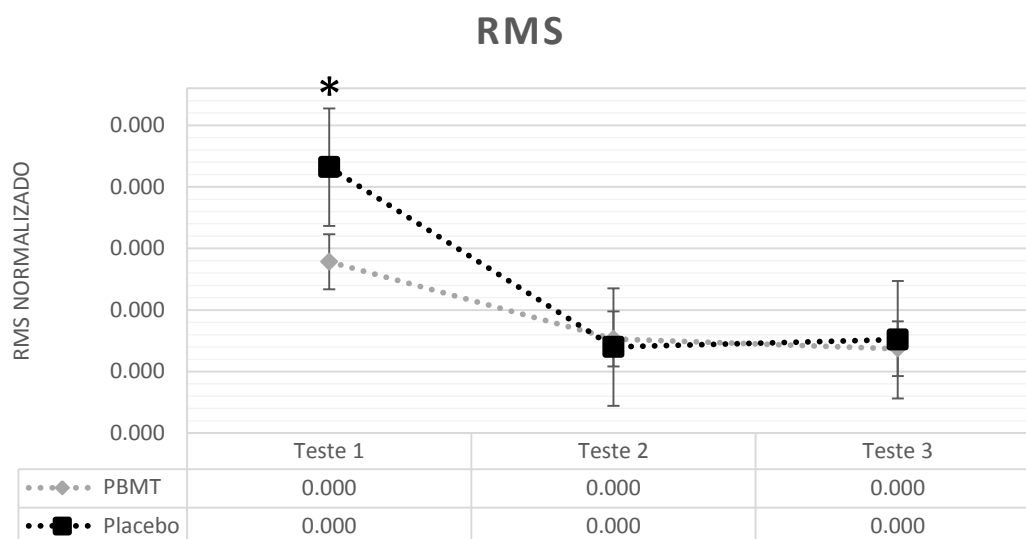
Tabela 10. Análise estatística referente a frequência mediana do sinal de eletromiografia de superfície do músculo bíceps braquial dos três testes de contração isométrica voluntária máxima realizadas pelos grupos PBMT e placebo.

Intergrupos			
	Teste 1	Teste 2	Teste 3
PBMT X placebo	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p > 0,05$

Fonte: autora.

A Figura 13 representa a média dos valores de *RMS* para o músculo bíceps braquial referente ao Teste 1, Teste 2 e Teste 3 do Grupo PBMT e o Grupo Placebo. Pode-se observar, nos resultados apresentados, que houve uma queda significativa do *RMS* entre Teste 1 e Teste 2 ($p < 0,05$) e Teste 1 e 3 ($p < 0,05$) para o grupo PBMT e grupo placebo. Contudo não houve significância estatística entre os Teste 2 e 3 ($p > 0,05$) para ambos os grupos (Tabela 11).

Figura 13. Gráfico da média do valor de RMS obtido durante os Testes 1, 2 e 3 do sinal eletromiográfico do músculo bíceps braquial para o Grupo PBMT e Grupo Placebo.



* $p < 0,05$.

Fonte: autora.

Tabela 11. Resultados da análise estatística intragrupo do RMS do sinal de eletromiografia de superfície do músculo bíceps braquial do grupo PBMT e grupo placebo durante a contração isométrica voluntária máxima.

Intragrupos			
	Teste 1 X Teste 2	Teste 1 X Teste 3	Teste 2 X Teste 3
PBMT	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p > 0,05$
Placebo	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p > 0,05$

Fonte: autora.

A Tabela 12 demonstra a relação da análise intergrupos, na qual observa-se diferença estatística entre os valores de *RMS* do grupo PBMT e placebo apenas no Teste 1 ($p < 0,05$), não havendo, portanto, diferença significativa entre os Testes 2 e 3 ($p > 0,05$).

Tabela 12. Análise estatística referentes ao RMS do sinal de eletromiografia de superfície do músculo bíceps braquial dos três testes de contração isométrica voluntária máxima realizadas pelos grupos PBMT e placebo.

Intergrupos			
	Teste 1	Teste 2	Teste 3
PBMT X placebo	$p < 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$

Fonte: autora.

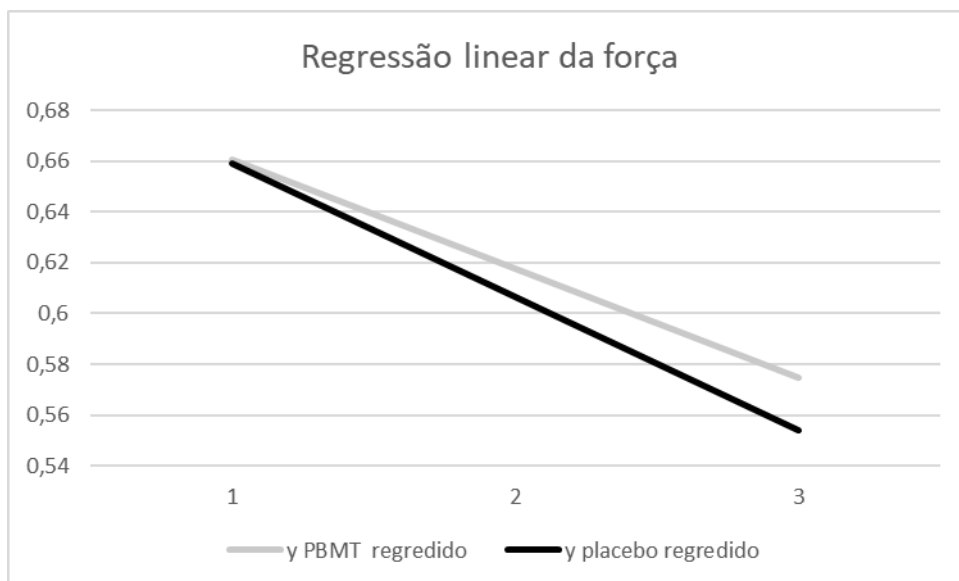
A partir do cálculo da regressão linear, foi possível obter o percentual de queda para força, MF, MNF e RMS para ambos os grupos. Na Tabela 13, podemos observar por meio do fator de queda que o grupo placebo apresentou percentuais de queda mais acentuados em relação aos percentuais de queda do grupo PBMT. Nota-se que, em relação a força a queda foi 23% maior (Figura 14), enquanto em relação à MF o fator de queda foi de 113% maior no grupo placebo (Figura 15) e na MNF foi 66% (Figura 16). Ao analisarmos os dados de RMS observa-se uma queda 91% maior no recrutamento de fibras musculares no grupo placebo em relação ao grupo PBMT (Figura 17).

Tabela 13. Percentual de queda calculado a partir do ponto final (Teste 3) e inicial (Teste 1) obtidos por meio da equação regredida dos Grupos PBMT e placebo para a força avaliada por meio da dinamometria, RMS e frequência média e mediana da eletromiografia de superfície.

	Percentual de queda PBMT (%)	Percentual de queda Placebo (%)	Fator de queda placebo em relação a PBMT (%)
Força	13	16	23
MF	3	6,39	113
MNF	3	5	66
RMS	4,55	8,69	91

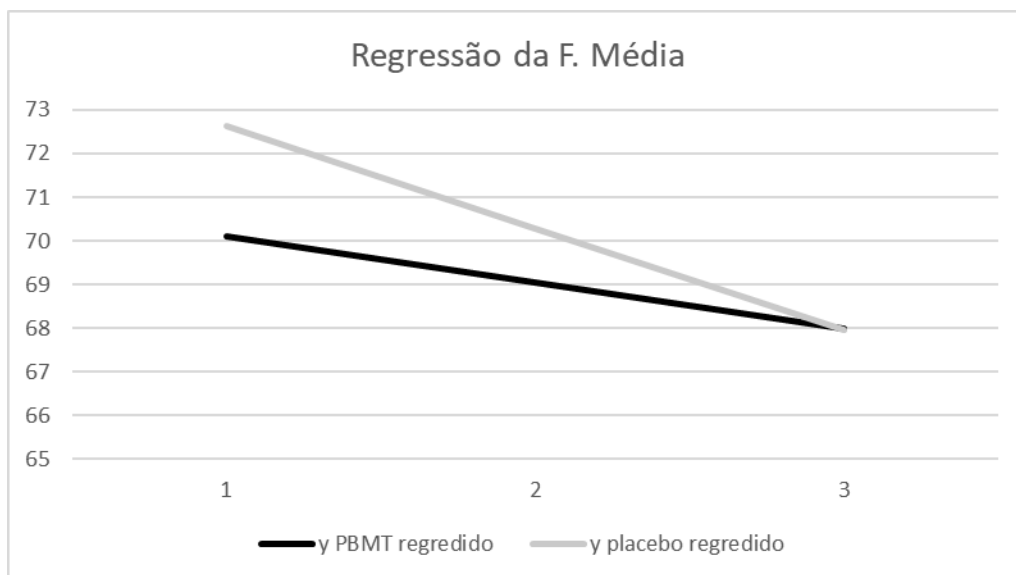
*Fator de queda= Percentual de queda placebo em relação ao percentual de queda da PBMT
Fonte: autora.

Figura 14. Gráfico da regressão linear dos dados normalizados da força do músculo bíceps braquial obtidos por meio da dinamometria computadorizada durante a CIVM dos Testes 1, 2 e 3 realizados pelo grupo PBMT e grupo placebo.



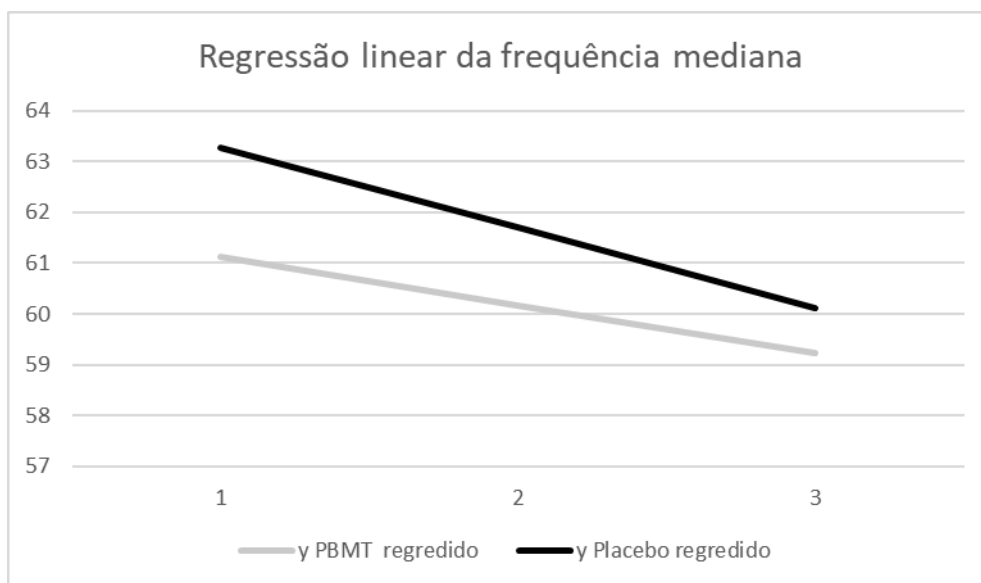
Fonte: autora.

Figura 15. Gráfico da regressão linear da frequência média obtida por meio da eletromiografia de superfície do músculo bíceps braquial dos Testes 1, 2 e 3 realizados pelo grupo PBMT e grupo placebo.



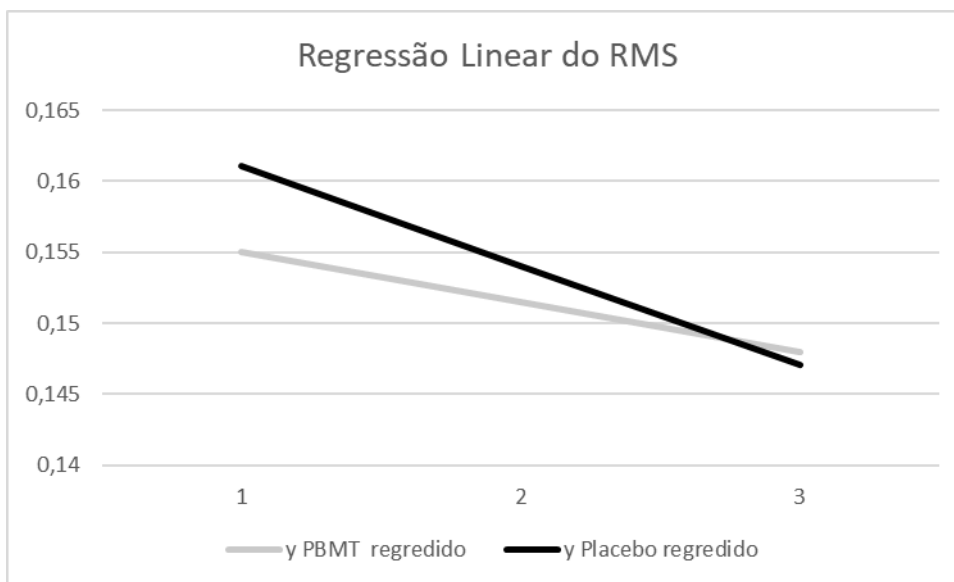
Fonte: autora.

Figura 16. Gráfico da regressão linear da frequência mediana obtida por meio da eletromiografia de superfície do músculo bíceps braquial dos Testes 1, 2 e 3 realizados pelo grupo PBMT e grupo placebo.



Fonte: autora.

Figura 17. Gráfico da regressão linear do RMS obtido por meio da eletromiografia de superfície do músculo bíceps braquial dos Testes 1, 2 e 3 realizados pelo grupo PBMT e grupo placebo.



grupo placebo.

Fonte: autora.

6 DISCUSSÃO

Este é um estudo inovador referente aos efeitos imediatos da fotobiomodulação associado a um protocolo de indução da fadiga muscular induzido por meio da contração muscular isométrica voluntária máxima dos flexores de cotovelo em indivíduos jovens e saudáveis. Para a mensuração da resposta muscular do bíceps braquial à fadiga induzida, diversos métodos podem ser utilizados para sua melhor compreensão, dentre eles a eletromiografia de superfície associada ao dinamômetro computadorizado, que são considerados padrão-ouro dentro da Engenharia Biomédica no que se refere à instrumentação e análise de sinais (CONTESSA; ADAM; DE LUCA, 2009; AL-MULLA; SEPULVEDA; COLLEY; 2011).

Tem sido observada na literatura uma relação direta ao aumento da percepção dolorosa em casos de fadiga muscular após a contração máxima (LEAL JUNIOR *et al.*, 2009a). No presente estudo, foi observado que, imediatamente após o protocolo de indução da fadiga muscular por meio de três testes de 50 segundos de CIVM, os indivíduos de ambos os grupos referiram um aumento significativo na percepção dolorosa (Tabela 1, 2 e 3). O quadro algico tem sido associado à liberação de uma gama de subprodutos, como por exemplo ácidos e lactato, que reduzem o pH intramuscular para cerca de 6.6, ativando canais iônicos sensíveis ao ácido, aumentando consequentemente o cálcio intracelular e estimulando os nociceptores (GREGORY *et al.*, 2016). A ativação dos nociceptores resulta na liberação da Substância P, conhecida como transmissor de dor de nociceptores na medula espinhal, contudo no tecido muscular a substância P tem um papel antinociceptivo ao ativar os canais de potássio através do aumento da liberação de espécies reativas de oxigênio que levam à diminuição da excitação do nociceptor (HAN *et al.*, 2019). Este ciclo de decaimento do pH intramuscular implica no desenvolvimento de hiperalgesia decorrente da fadiga muscular e justifica os resultados observados por nosso estudo.

Contudo, nos resultados obtidos, não foram observadas diferenças significativas na percepção dolorosa ao compararmos os grupos PBMT e placebo, indicando que a fotobiomodulação não apresentou influência na intensidade dolorosa, fato que corrobora com os achados de Baroni *et al.* (2010) que o grupo

placebo e o grupo PBMT apresentaram resultados similares na dor muscular. No estudo realizado por Han e seus colaboradores (2019), foi observado que o antagonista do potencial receptor transitório vanilóide 1 (TRPV1), uma conhecida molécula-chave integradora de vários estímulos nociceptivos na presença da substância P, pode inibir o efeito analgésico da fotobiomodulação no tecido muscular. Entretanto, este mecanismo ainda não está bem definido pela literatura.

A escala visual analógica da dor trata-se de um recurso qualitativo que considera diversos fatores, dentre eles a percepção dos indivíduos avaliados associado ao seu limiar doloroso. Desta forma a avaliação da fadiga por meio de recursos quantitativos, como a eletromiografia de superfície e dinamometria, nos possibilita uma análise mais fidedigna do comportamento muscular.

A fadiga muscular é um fator que compromete o desempenho muscular tanto de indivíduos sadios quanto de portadores de doenças crônicas, influenciando negativamente na execução de atividades que exijam sustentação de força (MENDONÇA *et al.*, 2018). A literatura define a fadiga muscular como uma falha ou incapacidade de manutenção do mesmo nível de rendimento da força muscular durante uma determinada atividade (MATHUR; ENG; MACINTYRE., 2005). Segundo Bartuzi e Roman-Liu (2014), uma redução na manutenção da força muscular acima de 20% pode ser considerada o início da fadiga muscular.

No presente estudo, por meio da análise intragrupo da força muscular (Tabela 5 e Figura 10), observou-se que ambos os grupos apresentaram uma queda significativa da força muscular após o protocolo de fadiga. Esses achados demonstram que o protocolo de fadiga induzida por meio da CIVM utilizada neste estudo foi eficiente para a indução da fadiga muscular dos voluntários avaliados.

O processo de fadiga está relacionado a eventos físicos e bioquímicos, que comprometem o desempenho muscular, por exemplo o acúmulo de K^+ no sistema túbulo T (ALLEN; LAMB; WESTERBLAD, 2008). Outro tipo principal de fadiga são os efeitos diretos ou indiretos do acúmulo de metabólitos, como fosfato inorgânico (Pi), ADP, íons magnésio (Mg^{++}), espécies reativas de oxigênio (ROS) e fosfocreatina formados a partir do quadro de fadiga (LEAL JUNIOR *et al.*, 2009a; WESTERBLAD; ALLEN, 2011; FERRARESI; HAMBLIN; PARIZOTTO, 2012). As ROS e espécies reativas de nitrogênio (RNS), são metabólitos formados em quadros de fadiga que podem alterar a estrutura das proteínas contráteis, diminuir a

sensibilidade das miofibrilas ao Ca^{++} , oxidar actina, miosina e troponina C, prejudicando a formação de pontes cruzadas, influenciando negativamente na contração muscular e produção de força muscular (FERRARESI *et al.*, 2015).

O intuito deste estudo foi analisar a fadiga em relação ao tempo, considerando que o nível de fadiga muscular dos sujeitos aumentou gradativamente até o fim do experimento. Isso pode ser comprovado pela observação da diminuição gradativa da força produzida pelos indivíduos, como evidenciado na Figura 10.

Apesar de ambos os grupos terem apresentado uma queda significativa da força, ao compararmos os grupos, o grupo placebo apresentou uma queda significativamente maior que o grupo PBMT (Tabela 6), este comportamento sugere que a fotobiomodulação apresenta resultados positivos na manutenção da performance muscular no quadro de fadiga.

No estudo de Leal Junior *et al.* (2009a), foram encontradas algumas indicações de que a fotobiomodulação pode contribuir no retardo do aparecimento da fadiga. Em seu estudo, o grupo fotobiomodulação apresentou um aumento significativo no número de repetições de contrações em relação ao grupo placebo durante o protocolo isotônico de fadiga induzida do músculo bíceps braquial.

Consideramos a hipótese que a diminuição da fadiga muscular interfere positivamente no desempenho muscular, fato este observado nessa pesquisa, na qual encontramos diferença na análise intergrupo da força muscular. Esses resultados corroboram com os estudos de Baroni *et al.*, (2010) e Maciel *et al.*, (2014), que a aplicação da fotobiomodulação antes do protocolo de fadiga muscular desencadeia aumento do pico de torque em jovens saudáveis.

Os parâmetros mais utilizados na EMG para avaliação da fadiga muscular são o RMS e as frequências do sinal (KUNISZYK-JÓŹKOWIAK; JASZCZUK; CZAPLICKI, 2018). A amplitude do sinal de EMG, expressa pelo RMS, fornece informações sobre ativação muscular, que inclui as taxas de queima e o número de unidades motoras ativadas. Foi sugerido que o domínio da frequência reflete a condução da velocidade do potencial de ação das fibras musculares durante a contração (GALEN; MALEK, 2014). A média e a mediana das frequências dos sinais de EMG são medidas comuns investigadas durante a fadiga e foram frequentemente atribuídos à mudança de pH (TSCHARNER, 2002). Deste modo entende-se que o

abrandamento da velocidade de condução induzida por mudanças de pH reduz as frequências avaliadas pela EMG de superfície.

Durante protocolos de fadiga induzida por meio de contração isométrica submáxima, ocorreu o aumento do RMS. Esse fato, pode ser interpretado como o recrutamento adicional de unidades motoras com o intuito de manter a força muscular (SMITH *et al.*, 2016). Entretanto, nos protocolos de contração isométrica máxima voluntária, como os que foram empregados nesse estudo, ocorreu uma diminuição do RMS ao comparar o início e o final do teste, episódio observado na análise intragrupo (Tabela 11). Isso pode ter acontecido em decorrência de fatores biomecânicos e bioquímicos. A contração isométrica diminui o fluxo sanguíneo e subsequente a oxigenação muscular, contribuindo assim para a fadiga neuromuscular (ORANCHUK *et al.*, 2019).

Koral e colaboradores (2020) realizaram um estudo no qual os voluntários foram submetidos a 60 segundos de CIVM dos músculos extensores de joelho, e foi mensurada a atividade mioelétrica por meio da EMG durante a CIVM, em seus resultados foi possível observar uma diminuição da força e do RMS durante o protocolo máximo de CIVM, fato que corrobora com os achados desse estudo.

Os exercícios de alta intensidade desencadeiam grandes alterações metabólicas e iônicas como, aumento da concentração de lactato muscular, H^+ , K^+ e Ca^{++} , os quais estão ligados ao processo de fadiga muscular (BOGDANIS, 2012). A diminuição do pH intracelular, causada pelo acúmulo de metabólitos, resulta na redução da excitabilidade da membrana e, como resultado, diminuiu velocidade de propagação do potencial de ação, que pode ser refletido na redução das frequências dos sinais mioelétricos (CASTROFOLIO *et al.*, 2012). O estudo de Smith *et al.* (2016) teve por objetivo avaliar o comportamento em curso temporal das alterações das respostas neuromusculares mensuradas por meio da EMG de superfície durante um treino isométrico fatigante e intermitente e foi observado em seus resultados uma queda crescente da MF, resultado também encontrado em nosso estudo, que ambos os grupos (placebo e PBMT) apresentaram queda na frequência dos sinais (Tabela 7 e Tabela 9).

Na análise intergrupo, foi possível observar o efeito positivo da fotobiomodulação na manutenção das frequências do sinal, visto que a queda das frequências foi menos acentuada no grupo PBMT em relação ao grupo placebo

(Figura 11 e Figura 12, Tabela 8 e Tabela 10). Resultados similares foram encontrados em Vassão e colaboradores (2015), que após uma única sessão de fotobiomodulação ($\lambda = 808$ nm) em um grupo mulheres idosas, apresentaram em seus resultados a queda menos acentuada da frequência do sinal mioelétrica ao comparar os grupos PBMT e placebo. Este fato provavelmente se deve aos efeitos da PBMT no metabolismo, causando aumento da microcirculação e consequentemente removendo os metabólitos.

A inclinação da regressão linear é um conhecido método de avaliação da fadiga eletromiográfica (CASTROFLORIO *et al.*, 2012). Pitta e colaboradores (2015) realizaram um estudo utilizando a EMG de superfície com o objetivo de comparar o tempo relativo de ativação do músculo elevador mandibular em diferentes níveis de atividade e MF durante a mordida sustentado. Regressões lineares simples foram realizadas para descrever a relação entre a MF (variável dependente) e tempo de manutenção da mordida (variável independente). Coeficientes angulares (declive) foram calculados por meio equações de regressão linear que se ajustam aos valores de MF ao longo do tempo como um índice de fadiga.

Com metodologia para a análise dos sinais adotada neste estudo tornou-se possível obter o percentual de queda dos dados de dinamometria e EMG com o método de regressão linear. Quanto maior for o percentual de queda maior será a queda dos sinais avaliados, considera-se também que quanto menor o percentual de queda, menor será a queda dos sinais avaliados. O grupo fotobiomodulação apresentou o percentual de queda menor, indicando que a queda dos parâmetros avaliados foi menos acentuada neste grupo, demonstrando que a fotobiomodulação ameniza as consequências da fadiga muscular (Tabela 13).

Atletas de resistência demonstram maior aptidão aeróbica, resultando em taxas mais lentas de fadiga e distúrbios metabólicos, foi demonstrado que esses atletas possuem maior consumo de oxigênio durante um teste de corrida, indicando uma maior contribuição do metabolismo aeróbico para o fornecimento de energia (BOGDANIS, 2012). Deste modo entende-se que quanto maior a suplementação de O_2 (Oxigênio) no tecido, menor será seu nível de fadiga. Segundo a literatura a fotobiomodulação, é responsável por desencadear aumento da vascularização local e subseqüentemente aumentar o aporte de O_2 (JUEL, 2008; VASSÃO *et al.*, 2015).

Sugere-se que neste estudo após a aplicação da fotobiomodulação ocorreu aumento do suplemento sanguíneo capilar das fibras musculares, resultando em maior aporte de O_2 no tecido, levando a uma queda menos acentuada da força muscular no grupo PBMT. Outro fato que devemos considerar é que o aumento do fluxo sanguíneo local desencadeia maior metabolização dos subprodutos produzidos pela fadiga muscular, fato que poderá refletir na queda menos acentuada dos parâmetros de EMG.

Ihsan (2005) realizou um estudo com 34 coelhos com o intuito de avaliar a eficácia da fotobiomodulação na circulação colateral e na microcirculação de um vaso sanguíneo obstruído. Amostras de sangue foram coletadas para determinar os níveis de adenosina, hormônio do crescimento (GH) e fator de crescimento de fibroblastos (FGF). Amostras de tecidos do local, constituído pela artéria e suas fibras musculares circundantes, foram enviados para exame histopatológico para determinar a razão fibra/ capilar e o diâmetro capilar. Foi possível concluir por meio de seus resultados que a fotobiomodulação aumentou a oxigenação tecidual e expansão substancial do sistema microcirculatório. Fato que corrobora com a hipótese deste estudo, que a aplicação da fotobiomodulação promoveu vasodilatação resultando na diminuição da concentração dos metabólitos do processo de fadiga, melhorando a performance muscular.

O benefício clínico de possíveis alterações na fadiga do músculo bíceps braquial de indivíduos saudáveis após uma única aplicação da fotobiomodulação é de extrema importância, visto que a investigação destas respostas permite a compreensão das adaptações decorrentes da fotobiomodulação antes de sua aplicação em pacientes.

7 CONCLUSÃO

Diante dos resultados do estudo, pode-se concluir que a aplicação da fotobiomodulação no comprimento do infravermelho possui efeitos positivos na redução da fadiga muscular.

Em relação a intensidade dolorosa avaliada por meio da escala visual analógica de dor, nota-se que não houve diferença entre os grupos PBMT e placebo, concluindo que a PBMT não apresentou influência na percepção da dor.

A utilização de equipamentos biomédicos, como a dinamometria e eletromiografia de superfície são de extrema importância para proporcionar o melhor entendimento das respostas e efeitos da fotobiomodulação na fadiga muscular.

A fotobiomodulação apresentou respostas positivas na manutenção da força muscular, visto que os voluntários que receberam a fotobiomodulação apresentaram queda menos acentuada da força. Quanto a atividade mioelétrica avaliadas por meio da amplitude e das frequências do sinal, nota-se que a fotobiomodulação apresentou efeitos positivos, visto que a queda mais atenua nesse grupo.

Nosso estudo foi pioneiro ao analisar os efeitos da fotobiomodulação na fadiga muscular utilizando a eletromiografia e dinamometria de modo sincrônico e por meio do protocolo de contração isométrica voluntária máxima sustentada por 50 segundos intermitentes, visto que não foi encontrado na literatura estudos que analisaram este protocolo de indução de fadiga muscular após a aplicação da fotobiomodulação.

O desenvolvimento do *Software ELEDA* para o processamento dos sinais de eletromiografia e dinamometria proporcionou uma análise mais ágil e fidedigna dos sinais, visto que este estudo gerou uma base de dados muito ampla, com mais de 1 milhão de pontos por voluntário, considerando a taxa de amostragem de 2.000 Hz com tempo de 50 segundos para cada teste, em três teste por voluntário e sinais provenientes da EMG e do dinamômetro.

REFERÊNCIA

- ALLEMANN, I. B.; KAUFMAN, J. Laser principles. **Curr Probl Dermatol.**, v. 42, p. 7-23, 2011.
- ALLEN, D. G.; LAMB, G. D.; WESTERBLAD, H. Skeletal Muscle Fatigue: Cellular Mechanisms. **Physiol Ver.**, v. 88, p. 287–332, 2008.
- AL-MULLA, M. R.; SEPULVEDA, F.; COLLEY, M. A Review of Non-Invasive Techniques to Detect and Predict Localised Muscle Fatigue. **Sensors**, n. 11, v. 4, p. 3545 – 3594, 2011.
- BACHASSON, D. *et al.* Neuromuscular Fatigue and Exercise Capacity in Fibromyalgia Syndrome. **Arthritis Care Res.** v. 65, n. 3, p. 432-440, 2013.
- BARONI, B. M. *et al.* Effect of low-level laser therapy on muscle adaptation to knee extensor eccentric training. **Eur J Appl Physiol.**, v. 110, n. 4, p. 789-96, 2010.
- BARTUZI, P.; ROMAN-LIU, D; WISNIEWSKI, T. The Influence of Fatigue on Muscle Temperature. **JOSE.**, v. 18, n. 2, p. 233-243, 2012.
- BARTUZI, P.; ROMAN-LIU, D. Assessment of muscle load and fatigue with the usage of frequency and time-frequency analysis of the EMG signal. **Acta Bioeng Biomech**, v. 16; n. 2, p. 31-39, 2014.
- BAUDRY, S. *et al.* Age-related fatigability of the ankle dorsiflexor muscles during concentric and eccentric contractions. **Eur J Appl Physiol.** v. 100, p. 515-525, 2007.
- BOGDANIS, G. C. Effects of physical activity and inactivity on muscle fatigue. **Front Physiol.**, v. 3, p. 1-15, 2012.
- BOULARDA, C.; GAUTHERONA, V.; LAPOLEA, T. Reliability outcomes and inter-limb differences in ankle joint stiffness in children with unilateral cerebral palsy depend on the method of analysis. **J Electromyogr Kinesiol.**, v. 49, n. 2019, p. 1-7, 2019.
- CASTROFLORIO, T. *et al.* Myoelectric manifestations of jaw elevator muscle fatigue and recovery in healthy and TMD subjects. **J Oral Rehabil.**, n. 39, n. 9, p. 648-658, 2012.
- CHAUDHURI, A.; BEHAN, P. O. Fatigue and basal ganglia. **J Neurol Sci**, v. 179, n. 1-2, p. 34-42, 2000.
- CHOW, R.T.; HELLER, G.Z.; BARNESLEY, L. The effect of 300 mW, 830 nm laser on chronic neck pain: A double-blind, randomized, placebo-controlled study. **Pain.** v. 124, p. 201–210, 2006.
- CISNEROS, J.L.V. Láser y fuentes de luz pulsada intensa em dermatología y dermocosmética. Madrid: **Aula Médica Ediciones**, 2000.

CONTESSA, P.; ADAM, A.; DE LUCA, D. J. Motor unit control and force fluctuation during fatigue. **J Appl Physiol.**, v. 107, p. 235–243, 2009.

ESCUADERO, J. S. B. *et al.*, Photobiomodulation therapy (PBMT) in bone repair: A systematic review. **Injury**. v. 50, n. 11, 1853 – 1867, 2019.

FEGER, M. A.; HERTEL, J. Surface electromyography and plantar pressure changes with novel gait training device in participants with chronic ankle instability. **Clin Biomech.**, v. 37, n. 2016, p. 117–124, 2016.

FERRARESI, C.; HAMBLIN, M. R.; PARIZOTTO, N. A. Low-level laser (light) therapy (TLBI) on muscle tissue: performance, fatigue and repair benefited by the power of light. **Photonics Lasers Med.**, v. 1, n. 4, p. 267–286, 2012.

FERRARESI, C. *et al.* Time response of increases in ATP and muscle resistance to fatigue after low-level laser therapy in mice. **Lasers Med Sci.**, v. 30, p. 1259-1267, 2015.

FINSTERER, J.; MAHJOUN, S. Z. Fatigue in healthy and diseased individuals. **AJHPM**, v. 31, n. 5, p. 562-575, 2014.

FRONTERA, W. R.; OCHALA, J. Skeletal Muscle: A Brief Review of Structure and Function. **Calcif Tissue Int.**, v. 96, n. 2015, p.183–195, 2015.

GALPIN, A. J. *et al.*, Human skeletal muscle fiber type specific protein content. **Anal Biochem.**, v. 425, p. 175–182, 2012.

GARCÍA-HERMOSO, A.; SAAVEDRAC, J. M.; ESCALANTE, Y. Effects of exercise on functional aerobic capacity in adults with fibromyalgia syndrome: A systematic review of randomized controlled trials. **J Back Musculoskelet Rehabil.** v.28, n. 2015, p. 609–619, 2015.

GALEN, S. S.; MALEK, M. H. A single electromyographic testing point is valid to monitor neuromuscular fatigue during continuous exercise. **J Strength Cond Res.**, v. 28, n.10, p. 2754–2759, 2014.

GEROLD, E. *et al.* Age- and sex-specific effects in paravertebral surface electromyographic back extensor muscle fatigue in chronic low back pain. **GeroScience**, v. 42, n. 1, p. 251-269, 2020.

GILLOT, T. *et al.* Effect of Fatigue on Functional Stability of the Knee: Particularities of Female Handball Players. **Int. J. Sports Med.**, v. 40, n. 7, p. 468 – 476, 2019.

GORGEY, A. S.; WADEE, A. N.; SOBHI, N. N. O efeito da terapia laser de baixa sobre a fadiga muscular induzida eletricamente: Um estudo piloto. **Photomed Laser Surg.**, v. 26, n. 5, p. 501-6, 2008

GREGORY, N. S. *et al.* ASIC3 is required for development of fatigue-induced hyperalgesia. **Mol Neurobiol.**, v. 53, n. 2, p. 1020 – 1030, 2016.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 11. ed. São Paulo: Elsevier, 2006.

HADZIC, V. *et al.* Can infrared thermography be used to monitor fatigue during exercise? A case study. **J Sport Health Sci.**, v. 8, n. 1, p. 89 - 92, 2019.

HAN, D. S. *et al.* Involvement of substance p in the analgesic effect of low-level laser therapy in a mouse model of chronic widespread muscle pain. **Pain Med**, v. 0, n. 0, p. 1-8, 2019.

HARVARD MEDICAL SCHOOL. **The power of the placebo effect.**, 2017. Disponível em: <https://www.health.harvard.edu/mental-health/the-power-of-the-placebo-effect>. Acesso em: 20 jun. 2018.

HUANG, H. *et al.* Progressive decrease in leg-power performance during a fatiguing badminton field test. **J Phys Ther Sci.** v. 31, n. 10, p. 765 – 770, 2019.

IHSAN, F.R. M. Low-level laser therapy accelerates collateral circulation and enhances microcirculation. **Photomed laser surg.**, v. 23, n. 3, p. 289 – 294, 2005.

JUEL, C. Regulation of pH in human skeletal muscle: adaptations to physical activity. **Acta Physiol**, n. 193, p 17-24, 2008.

KAMEN, G.; GABRIEL, D. A. **Essentials of Electromyography**. Leeds: Human Kinetics, 2010.

KAPTCHUK, T. J.; MILLER, F. G. Placebo Effects in Medicine. **The New England Journal of Medicine**, v. 373, p. 8-9, 2015.

KARTHICK, P. A.; GHOSH, D. M.; RAMAKRISHNAN, S. Surface electromyography based muscle fatigue detection using high-resolution time-frequency methods and machine learning algorithms. **Comput Methods Programs Biomed.**, v. 154, n. 2018, p. 45–56, 2018.

KARU, T. I.; PYATIBRAT, L. V.; AFANASYEVA, N. I. Cellular effects of low power laser therapy can be mediated by nitric oxide. **Lasers Surg Med.**, v. 36, n. 4, p. 307-314, 2005.

KIM, H. C.; MOFARRAHI, M. HUSSAIN, S. NA. Skeletal muscle dysfunction in patients with chronic obstructive pulmonary disease. **Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.** v. 3, n. 4, p. 637-658, 2008.

KHOO, N.K. *et al.* In vitro therapeutic effects of low level laser at mRNA level on the release of skin growth factors from fibroblasts in diabetic mice. **Avicenna J Med Biotechnol.**, n. 6, p. 113-118, 2014.

KORAL, J. *et al.* Mechanisms of neuromuscular fatigue and recovery in unilateral versus bilateral maximal voluntary contractions. **J Appl Physiol (1985)**, v. 128, n. 4, p. 785-794, 2020.

KUNZ, P. *et al.* Intra- and Post-match Time-Course of Indicators Related to Perceived and Performance Fatigability and Recovery in Elite Youth Soccer Players. **Front. Physiol**, v. 15, n. 10, p. 1383, 2019.

KUNISZYK-JÓŹKOWIAK, W.; JASZCZUK, J.; CZAPLICKI, A. Changes in electromyographic signals and skin temperature during standardised effort in volleyball players. **Acta Bioeng Biomech.**, v. 20, n. 3, 2018.

LEAL JUNIOR, E. C. P. *et al.* Effect of 830 nm low-level laser therapy in exercise-induced skeletal muscle fatigue in humans. **Lasers Med Sci.**, v. 24, p. 245-431, 2009a.

LEAL JUNIOR, E. C. P. *et al.* Effect of cluster multi-diode light emitting diode therapy (LEDT) on exercise-induced skeletal muscle fatigue and skeletal muscle recovery in humans. **Lasers Surg Med.**, v. 41, n. 8, p. 572 – 577, 2009b.

LINHARES, N. D. **Análise dos efeitos da fadiga muscular no sinal eletromiográfico de superfície em contrações dinâmicas do bíceps braquial.** 2015. Dissertação (Mestre em ciências) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

LOPES-MARTINS, R. A. B. *et al.* Effect of low level laser (Ga-Al-As 655 nm) on skeletal muscle fatigue induced by electrical stimulation in rats. **Eur J Appl Physiol.**, v. 101, p.283–288, 2006.

MACIEL, T. S. *et al.* Phototherapy effect on the muscular activity of regular physical activity practitioners. **Lasers Med Sci.** v. 29, n. 3, p. 1145 – 1152, 2014.

MARZZOCO, A.; TORRES, B. B. **Bioquímica básica.** 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.

MATHUR, S.; ENG, J. J.; MACINTYRE, D. L. Reliability of surface EMG during sustained contractions of the quadriceps. **J Electromyogr Kinesiol.**,v. 15, n. 2005, p. 102–110, 2005.

MENDONÇA, F. S. *et al.* Muscle fiber conduction velocity and EMG amplitude of the upper trapezius muscle in healthy subjects after low-level laser irradiation: a randomized, double-blind, placebo-controlled, crossover study. **Lasers Med Sci.**, v. 33, p. 737–744, 2018.

MOREIRA, P. V. S.; TEODORO, B. G.; MAGALHÃES NETO, A. M. Bases neurais e metabólicas da fadiga durante o exercício. **Biosci. J.**, v. 24, n. 1, p. 81-90, 2008.

NAIK, G. R. **Applications, Challenges, and Advancements in Electromyography Signal Processing.** Australia: Medical Information Science Reference, 2014.

NEVES, M. F. *et al.* Effects of low-level laser therapy (TLBI 808 nm) on lower limb spastic muscle activity in chronic stroke patients. **Lasers Med Sci.**, v. 31, n. 7, p. 1293-1300, 2016.

NIJS, J., PAUL, L.; WALLMAN, K. Chronic fatigue syndrome: an approach combining self-management with graded exercise to avoid exacerbations. **J Rehabil Med.** v. 40, p. 241 – 247, 2008.

ORANCHUK, D. J. *et al.* Effect of blood flow occlusion on neuromuscular fatigue following sustained maximal isometric contraction. **Appl Physiol Nutr Metab.** p. 1-29, 2019.

PITTA, N. C. *et al.* Activation time analysis and electromyographic fatigue in patients with temporomandibular disorders during clenching. **J Electromyogr Kinesiol.**, v. 25, n.4, p. 653 – 657, 2015.

POTVIN, J. R.; FUGLEVAND, A. J. A motor unit-based model of muscle fatigue. **PLoS Comput Biol**, v. 13, n. 6, p. 1-30, 2017.

QUESADA, J. I. P. *et al.* Relationship between skin temperature and muscle activation during incremental cycle exercise. **J. Therm. Biol.**, v. 48, p. 28-35, 2015.

REIS, M. C. *et al.* Immediate effects of low-intensity laser (808 nm) on fatigue and strength of spastic muscle. **Lasers Med Sci.**, v. 30, n. 3, p. 1089-96, 2015.

ROMAN-LIU, D.; BARTUZI, P. Influence of type of MVC test on electromyography measures of biceps brachii and triceps brachii. **JOSE**, v. 24, n.2, p. 1-7, 2017.

SAMPAIO, J. F. *et al.* Efeito da Laserterapia de Baixa potência sobre a Fadiga muscular pós exercício de alta intensidade em Atletas. **Revista Ciência & Saúde**, n. esp. p. 90, 2009.

SADLER, C. M.; CRESSMAN, E. K. Central fatigue mechanisms are responsible for decreases in hand proprioceptive acuity following shoulder muscle fatigue. **Hum Mov Sci**, v. 66, p. 220-230, 2019.

SCHIAFFINO, S.; REGGIANI, C. Fiber types in mammalian skeletal muscles. **Physiol Rev.**, v. 91, p. 1447–1531, 2011.

SMITH, C. M. *et al.* Combining regression and mean comparisons to identify the time course of changes in neuromuscular responses during the process of fatigue. **Physiol. Meas.**, v. 37, p. 1993-2002, 2016.

STARK, T. *et al.* Hand-held dynamometry correlation with the gold standard isokinetic dynamometry: a systematic review. **AAPM&R**, v. 3, n. 5, p. 472-479, 2011.

STAUSHOLM, M. B. *et al.* Efficacy of low-level laser therapy on pain and disability in knee osteoarthritis: systematic review and meta-analysis of randomised placebo-controlled trials. **BMJ Open.**, v. 9, n. 10, p. 1 – 13, 2019.

STERGIOULAS, A. *et al.* Effects of Low-Level Laser Therapy and Eccentric Exercises in the Treatment of Recreational Athletes With Chronic Achilles Tendinopathy. **Am. J. Sports Med.**, v. 36, n. 5, p. 181 – 187, 2008.

TSCHARNER, V. V. Time–frequency and principal-component methods for the analysis of EMGs recorded during a mildly fatiguing exercise on a cycle ergometer. **J Electromyogr Kinesiol.**, v. 12, n. 2002, p. 479–492, 2002.

TATTERSALL, G. J. Infrared thermography: A non-invasive window into thermal physiology. **Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol.**, p. 78-98, 2016.

UZDENSKY, A. B. The biophysical aspects of photodynamic therapy. **Biophysics**, v. 61, n. 3, p. 461-469, 2016.

VASSÃO, P.G. *et al.* Effects of photobiomodulation on the fatigue level in elderly women: an isokinetic dynamometry evaluation. **Lasers Med Sci.**, v. 31, n. 2, p. 275–282, 2015.

VIEIRA, W. H. *et al.* Effects of lowlevel laser therapy (808 nm) on isokinetic muscle performance of young women submitted to endurance training: a randomized controlled clinical trial. **Lasers Med Sci.**,v. 27, n. 2, p. 497-504, 2012.

WALKER, S. *et al.* Neuromuscular fatigue in young and older men using constant or variable resistance. **Eur. J. Appl. Physiol.**, v. 113, n. 4, p. 1069-1079, 2013.

WESTERBLAD, H.; ALLEN, D. G. Emerging roles of ROS/RNS in muscle function and fatigue. **Antioxid Redox Signal**, v. 15, n. 9, p. 2487–99, 2011.

WEIR, J. P. *et al.* Is fatigue all in your head? A critical review of the central governor model. **British Journal of Sports Medicine**, v. 40, n. 7, p. 573-86, 2006.

APÊNDICE A: AVALIAÇÃO FISIOTERAPÊUTICA**1. Dados gerais:**

Nome: _____
Sexo: () F () M Idade: _____ Data de nascimento: __/__/____
Estado Civil: _____ Telefone: _____
Endereço: _____
Bairro: _____ Cidade: _____
Profissão: _____ Escolaridade: _____
E-mail: _____

2. Avaliação antropométrica

Peso (Kg):	Altura (m):	IMC:

3. Anamnese:

Pratica atividade física: () não () sim. Qual?

ANEXO A: APROVAÇÃO DO CEP

UNIVERSIDADE DO VALE DO
PARAÍBA - UNIVAP



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: ANÁLISE DOS EFEITOS DA TERAPIA LASER DE BAIXA INTENSIDADE NA FADIGA MUSCULAR DO MÚSCULO BÍCEPS BRAQUIAL DE INDIVÍDUOS HÍGIDOS E INDIVÍDUOS ESPÁSTICOS: AVALIAÇÃO POR TERMOGRAFIA INFRA-VERMELHA, ELETROMIOGRAFIA DE SUPERFÍCIE, DINAMÔMETRO ISOCINÉTICO E

Pesquisador: GABRIELA APARECIDA DA SILVEIRA SOUZA

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 94812618.8.0000.5503

Instituição Proponente: Universidade do Vale do Paraíba - UNIVAP

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.934.274

Apresentação do Projeto:

Folha de rosto esta devidamente preenchida, datada de 26/07/2018, com nome do pesquisador responsável e assinatura da diretora da FCS, assistente e instituição. Apresenta declaração da diretora da FCS para aprovação da realização do projeto de pesquisa. Locais de realização do estudo: No CPS, clínica escola da FCS/UNIVAP e no Laboratório de Reabilitação Sensorio Motora.

Modelo do estudo: estudo Intervenção Experimental cujo objetivo será avaliar os efeitos da TLBI na fadiga do músculo bíceps braquial de indivíduos hígidos e indivíduos com hemiparesia espástica. Será realizado um ensaio clínico transversal, comparativo, randomizado, placebo, duplo-cego que será dividido em duas fases. **Amostra do estudo:** 60 participantes, divididos em 30 participantes hígidos e 30 participantes após AVE.

Método: Dividido em 2 fases Fase I participantes hígidos e Fase II participantes com hemiparesia espástica. Todos os participantes passarão pelos grupos de estudo.

O estudo será composto por três grupos (Grupo Controle, Grupo Placebo e Grupo TLBI) e todos os

UNIVERSIDADE DO VALE DO
PARAÍBA - UNIVAP



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: ANÁLISE DOS EFEITOS DA TERAPIA LASER DE BAIXA INTENSIDADE NA FADIGA MUSCULAR DO MÚSCULO BÍCEPS BRAQUIAL DE INDIVÍDUOS HÍGIDOS E INDIVÍDUOS ESPÁSTICOS: AVALIAÇÃO POR TERMOGRAFIA INFRA-VERMELHA, ELETROMIOGRAFIA DE SUPERFÍCIE, DINAMÔMETRO ISOCINÉTICO E

Pesquisador: GABRIELA APARECIDA DA SILVEIRA SOUZA

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 94812618.8.0000.5503

Instituição Proponente: Universidade do Vale do Paraíba - UNIVAP

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.934.274

Apresentação do Projeto:

Folha de rosto esta devidamente preenchida, datada de 26/07/2018, com nome do pesquisador responsável e assinatura da diretora da FCS, assistente e instituição. Apresenta declaração da diretora da FCS para aprovação da realização do projeto de pesquisa. Locais de realização do estudo: No CPS, clínica escola da FCS/UNIVAP e no Laboratório de Reabilitação Sensório Motora.

Modelo do estudo: estudo Intervenção Experimental cujo objetivo será avaliar os efeitos da TLBI na fadiga do músculo bíceps braquial de indivíduos hígidos e indivíduos com hemiparesia espástica. Será realizado um ensaio clínico transversal, comparativo, randomizado, placebo, duplo-cego que será dividido em duas fases. **Amostra do estudo:** 60 participantes, divididos em 30 participantes hígidos e 30 participantes após AVE.

Método: Dividido em 2 fases Fase I participantes hígidos e Fase II participantes com hemiparesia espástica. Todos os participantes passarão pelos grupos de estudo.

O estudo será composto por três grupos (Grupo Controle, Grupo Placebo e Grupo TLBI) e todos os

UNIVERSIDADE DO VALE DO
PARAÍBA - UNIVAP



Continuação do Parecer: 2.934.274

CEP-Univap - (12) 3947-1111 - <http://web.univap.br/cep/>

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1188537.pdf	24/09/2018 22:29:57		Aceito
Outros	carta_resposta.docx	24/09/2018 22:29:25	GABRIELA APARECIDA DA SILVEIRA SOUZA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	tcle.docx	24/09/2018 22:27:59	GABRIELA APARECIDA DA SILVEIRA SOUZA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_de_pesquisa.docx	24/09/2018 22:27:48	GABRIELA APARECIDA DA SILVEIRA SOUZA	Aceito
Cronograma	cronograma.docx	24/09/2018 22:22:41	GABRIELA APARECIDA DA SILVEIRA SOUZA	Aceito
Outros	Carta_Diretoria_FCS.pdf	24/08/2018 20:56:47	GABRIELA APARECIDA DA SILVEIRA SOUZA	Aceito
Outros	autorizacao_coordenador_fisioterapia.pdf	24/08/2018 20:56:16	GABRIELA APARECIDA DA SILVEIRA SOUZA	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	declaracao.pdf	26/07/2018 11:52:54	GABRIELA APARECIDA DA SILVEIRA SOUZA	Aceito
Folha de Rosto	folha_de_rosto.pdf	26/07/2018 11:52:11	GABRIELA APARECIDA DA SILVEIRA SOUZA	Aceito

Situação do Parecer:
Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:
Não

APÊNDICE B: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Dados de identificação

Título do Projeto: Análise dos efeitos da Terapia Laser de Baixa Intensidade na fadiga muscular do músculo bíceps braquial de indivíduos hígidos e indivíduos espásticos: avaliação por termografia infravermelha, eletromiografia de superfície, dinamômetro isocinético e lactímetro.

Pesquisador Responsável: Fisioterapeuta Gabriela Aparecida da Silveira Souza

Equipe Executora: Gabriela Aparecida da Silveira Souza, Mário Oliveira Lima, Rodrigo Álvaro Brandão Lopes Martins, Fernanda Pupio Silva Lima.

Instituição a que pertence o Pesquisador Responsável: Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP) – Laboratório de Engenharia de Reabilitação Sensório Motora.

Telefones e e-mails para contato: (12) 3947-1000 ramal: 2066; gabrielasouza507@yahoo.com.br, tel. (12) 99723-2806; fpupio@univap.br, tel. (12) 99770-0096.

Nome _____ **do**
participante: _____

Idade: _____ **R.G.:** _____

O (A) Sr.(a) _____ está convidado(a) a participar do projeto de pesquisa de mestrado tendo como título: “Análise dos efeitos da terapia laser de baixa intensidade na fadiga muscular do músculo bíceps braquial de indivíduos hígidos e indivíduos espásticos: avaliação por termografia infravermelha, eletromiografia de superfície, dinamômetro isocinético e lactímetro” de responsabilidade da pesquisadora Gabriela Aparecida da Silveira Souza.

Este documento (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido) é composto por duas vias idênticas, sendo que uma via ficará com o pesquisador responsável e a outra via ficará com o participante.

Este estudo tem o objetivo de avaliar a ação do laser no cansaço nos músculos do braço (bíceps braquial e tríceps braquial) de participantes saudáveis e pós-acidente vascular encefálico (AVE). Inicialmente será realizada uma avaliação, onde serão explicadas todas as fases do estudo, e em caso de aceite o participante irá

autorizar sua participação por meio deste documento. O participante deverá comparecer no Laboratório de Biodinâmica, na Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), situado a Av. Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, blocos 7 , em três momentos distintos, com intervalo de 7 dias entre eles. Ao chegar ao setor será necessário que o participante realize a climatização, o mesmo ficará sentado por 10 minutos em uma sala climatizada a 22°C. Durante os testes será avaliada a contração muscular (eletromiografia) no momento da força máxima dos músculos do braço (bíceps e tríceps braquial), força muscular, avaliação da dor muscular, avaliação de imagens que indicam a temperatura do corpo (termografia) e a coleta de uma substância presente no organismo que indica o cansaço muscular (lactato sanguíneo) por meio de uma gotícula de sangue após uma pequena perfuração na ponta do dedo da mão, realizada com o auxílio de uma agulha descartável. A coleta da substância que indica o cansaço muscular será realizada em quatro momentos, antes do teste de cansaço muscular, e aos 3, 15 e 25 minutos após o teste de cansaço muscular. Todas as medidas de higienização e segurança serão utilizadas durante o todo o teste, incluindo a utilização de luvas descartáveis pelo pesquisador. Para o teste de força máxima o participante será posicionado em um equipamento e será solicitado que ele faça o movimento de dobrar o cotovelo (flexão de cotovelo) por 50 segundos.

O estudo será composto por três (3) fases, com intervalo de sete (7) dias entre elas, e todos os participantes irão realizar as três (3), sendo que na primeira fase será realizado o protocolo já descrito acima, entretanto sem a aplicação da laserterapia, denominado Grupo Controle. As outras duas fases serão compostas pelo Grupo Placebo, em que o participante irá receber a simulação da aplicação do *Laser* com o aparelho desligado e o Grupo Laserterapia, no qual o participante irá receber a aplicação do *Laser* com o aparelho ligado. Não será revelado ao participante em qual grupo ele estará (Grupo Placebo ou Grupo Laserterapia), contudo este fato não trará nenhum prejuízo ao participante, ele é necessário apenas para avaliar os reais efeitos da Laserterapia.

O placebo é um tratamento simulado, utilizado para comparar com uma nova proposta de terapia, para ver se o novo tratamento tem efeito real. Já é comprovado, que só de ofertar uma terapia para um indivíduo, é possível que o próprio organismo tenha uma resposta positiva, mesmo o tratamento não sendo verdadeiro (simulação

de uma terapia), gerando o efeito placebo. Por isso, neste estudo o grupo placebo vai receber a simulação do tratamento a laser, em que o aparelho estará desligado (não vai ser ofertado nenhuma luz) para poder comparar com o grupo laserterapia, em que o aparelho estará ligado, oferecendo os possíveis benefícios da laserterapia. No Grupo laserterapia, o braço será avaliado por um profissional com experiência na aplicação da técnica, por meio de um *Laser* disponível comercialmente pela empresa Clean Line®.

Os riscos da pesquisa estão relacionados às respostas do organismo quando exposto a um exercício físico, como dor ou desconforto muscular e cansaço físico durante a execução do teste. Deste modo o participante terá a liberdade de interromper a qualquer momento o teste se sentir algum desconforto, dor ou exaustão.

Se o participante apresentar exacerbação da dor ou qualquer desconforto maior causado pelo protocolo proposto pelo estudo, o mesmo será interrompido. No caso da persistência ou exacerbação da dor o participante será instruído a utilizar o Tilenol® como analgésico padrão, o qual dispensa prescrição médica (OTC), pois é desprovido de efeito anti-inflamatório apresentando apenas efeito analgésico.

Em caso de intercorrência o participante será socorrido pela ambulância do SAMU da cidade de São José dos Campos e encaminhado para o hospital municipal Dr. José de Carvalho Florence de São José dos Campos, a saber, Hospital da Vila Industrial, onde receberá assistência médica pelo SUS. Os pesquisadores prestarão assistência integral a todos os participantes durante o período do estudo em relação as intercorrências causadas. O ocorrido será registrado em ata e os responsáveis pelo estudo notificarão o comitê de ética.

Os benefícios esperados se justificam ao fato de o *Laser* (Terapia Laser de Baixa Intensidade) diminuir o tempo de início do cansaço muscular, bem como melhorar o movimento do braço paralisado, pelo aumento da atividade elétrica muscular e melhora da força muscular o que resultará na melhora da funcionalidade e qualidade de vida do indivíduo. Sempre que necessário o participante poderá entrar em contato para obter informações sobre o projeto de pesquisa, sua participação no mesmo ou outros assuntos relacionados à pesquisa, com o pesquisador responsável, equipe executora ou no CEP – Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), pelo telefone (12) 3947-

1111,ou pessoalmente na Av. Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, bloco 11- Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento II, sala 19, de segunda a sexta feira, 8:00h- 12:00h e 13:00h-17:00h.

Fica ciente deste termo, que ao concordar em participar desta pesquisa o participante poderá se retirar a qualquer momento antes ou durante o estudo, sem penalidades, prejuízo a sua saúde ou perda de qualquer benefício para seu acompanhamento ou sofrer quaisquer sanções ou constrangimentos.

Os dados obtidos do participante não poderão ser utilizados para outras finalidades que não sejam a de pesquisa científica, sendo divulgadas sem identificação apenas em meios científicos e acadêmicos (publicação de artigos científicos, apresentações em congressos, simpósios e aulas), e terão sigilo, confidencialidade e privacidade de acordo com as normas éticas destinadas à pesquisa envolvendo seres humanos, da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP) do Conselho Nacional de Saúde, do Ministério da Saúde.

Para o recrutamento dos participantes sadios, serão contatados e convidados os funcionários e alunos da Faculdade de Ciências da Saúde e acompanhantes de pacientes do Centro de Prática Supervisionada (CPS), no qual serão abordados pessoalmente pelos pesquisadores do projeto. Os indivíduos após acidente vascular encefálico serão recrutados da lista de espera da clínica escola - CPS situada na Universidade do Vale do Paraíba- UNIVAP.

Eu, _____
_____, RG nº _____, fui informado (a) e concordo em participar, como participante (a), do projeto de pesquisa acima descrito.

Assinatura _____ da _____ testemunha:
_____ Data: __/__/__.

São José dos Campos, _____ de _____ de 201__.

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido este participante para a participação neste estudo.