

UNIVERSIDADE DO VALE DO PARAÍBA
INSTITUTO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DE REABILITAÇÃO SENSORIO MOTORA

Sadi Fernando Stamborowski

**EFEITO DA FOTOBIMODULAÇÃO COM LASER DE BAIXA INTENSIDADE NA
FADIGA MUSCULAR DE BÍCEPS BRAQUIAL: ANÁLISE POR TERMOGRAFIA
INFRAVERMELHA E DINAMOMETRIA**

São José dos Campos
Maio/ 2021

Sadi Fernando Stamborowski

**EFEITO DA FOTOBIMODULAÇÃO COM LASER DE BAIXA INTENSIDADE NA
FADIGA MUSCULAR DE BÍCEPS BRAQUIAL: ANÁLISE POR TERMOGRAFIA
INFRAVERMELHA E DINAMOMETRIA**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, como complementação dos créditos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Biomédica.

Orientador: Prof. Dr. Mario Oliveira Lima
Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo Álvaro Brandão
Lopes Martins

São José dos Campos
Maio / 2021

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE DIVULGAÇÃO DA OBRA

Ficha catalográfica

Stamborowski, Sadi Fernando

Efeito da fotobiomodulação com laser de baixa intensidade na fadiga muscular de bíceps braquial : análise por termografia infravermelha e dinamometria / Sadi Fernando Stamborowski; orientador, Prof. Dr. Mario Oliveira Lima; co-orientador Prof. Dr. Rodrigo Álvaro Brandão Lopes Martins. - São José dos Campos, SP, 2021.

1 CD-ROM, 58 p.

Tese (Doutorado) - 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. Termografia. 4. Regulação da Temperatura Corporal. I. Lima, Prof. Dr. Mario Oliveira, orient. II. Martins, Prof. Dr. Rodrigo Álvaro Brandão Lopes, co-orient. III. Universidade do Vale do Paraíba. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica. IV. Título.

Eu, Sadi Fernando Stamborowski, 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, 16 de Junho de 2021.



Autor(a) da Obra

SADI FERNANDO STAMBOROWSKI

**“EFEITO DA FOTOBIMODULAÇÃO COM LASER DE BAIXA INTENSIDADE NA
FADIGA MUSCULAR DE BÍCEPS BRAQUIAL: ANÁLISE POR TERMOGRAFIA
INFRAVERMELHA.”**

Tese aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor, 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.^a DR.^a EMILIA ANGELA LO SCHIAVO ARISAWA _____ *Arisawa*

PROF. DR. MARIO OLIVEIRA LIMA _____ *M. Lima*

PROF. DR. RODRIGO ALVARO BRANDÃO LOPES MARTINS _____ *Rodrigue B. Lopes Martins*

PROF. DR. ALESSANDRO CORREA MENDES _____ *Alessandro*

PROF. DR. RODRIGO LABAT MARCOS – UNINOVE _____ *R. Labat*

PROF. DR. JOSÉ CARLOS COGO – UNIV. BRASIL _____ *J. C. Cogo*

Prof.^a Dr.^a Lúcia Vieira

Diretora do IP&D – Univap

São José dos Campos, 03 de maio de 2021.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos pesquisadores e pessoas que não se contentam com a simplicidade de uma resposta, mas acreditam que sempre haverá uma nova verdade a ser revelada.

AGRADECIMENTO

Preliminarmente, agradeço ao Criador pelo dom da vida pela chance de estar junto do convívio das pessoas que doam seus momentos comigo.

Agradeço aos meus pais, Sadi e Iracema por serem meus guias e condutores nessa vida.

A minha família mais íntima, minha esposa Valquíria e meus filhos Ivan e Igor, por mostrarem o amor incondicional, o suporte afetivo constante e tolerarem as amostras de nervosismo que passei.

Aos meus orientadores, Mario como orientador e Rodrigo como coorientador por doarem parte de seus preciosos tempos e conhecimentos. Vocês foram essenciais para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos voluntários e colaboradores, cujas identidades não cabem aqui serem reveladas, mas seguem guardadas em meus sentimentos e gratidão; sem eles jamais seria possível desenvolver a pesquisa.

RESUMO

A fadiga muscular (FM) 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. Neste contexto, a termografia infravermelha é aplicada em esportes sob a justificativa de que as mudanças na temperatura da pele podem se correlacionar com processos inflamatórios ou com a FM. Portanto o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da fotobiomodulação na fadiga e na temperatura do músculo bíceps braquial. Para tal, foi realizado um estudo cruzado, na qual 14 voluntários do gênero masculino com idade entre 20 e 30 anos passaram pelos seguintes grupos: Controle, Placebo e Laser (PBMT). Para a indução da FM foram realizadas três Contrações Isométricas Voluntárias Máximas (CIVM) com duração de 50 segundos e intervalo de 50 segundos, utilizando um dinamômetro computadorizado. Durante a contração isométrica voluntária máxima foram avaliados a força muscular e a temperatura por infravermelho aos 0, 5, 10 e 15 minutos após os testes. Foi possível observar, através de uma câmera termográfica as variações de temperaturas cutâneas, sendo que o grupo Laser apresentou queda menos acentuada da força muscular, evidenciando menor índice de fadiga muscular ($p > 0,05$) em relação aos demais grupos. Na análise da temperatura o grupo Controle apresentou a maior média de temperatura, apresentando diferença significativa apenas para o Placebo. Os resultados sugerem que o grupo Controle apresentou o maior desgaste físico, uma vez que houve uma elevação estatisticamente relevante em relação à temperatura basal. Já o grupo Laser apresentou efeito positivo na atenuação da FM e na termorregulação corporal, pois ocorreu um platô de valores térmicos nos períodos seguintes à FM. Salienta-se ainda que a variação de força nos instantes iniciais e finais, quando avaliados intergrupos, apresentaram resultados estatisticamente relevantes entre o grupo controle e laser. No presente estudo, podemos concluir o seguinte: A PBMT aplicada no músculo bíceps braquial de indivíduos hígidos, durante a realização de protocolos de fadiga, promoveu a atenuação da FM; A análise da força muscular demonstrou que os voluntários irradiados apresentaram menor variação durante os protocolos testados, sugerindo otimização do desempenho muscular; A PBMT contribuiu para a melhora da termorregulação corporal, avaliado pela termografia infravermelha, durante os protocolos de FM.

Palavras-chave: Fadiga Muscular. Fotobiomodulação.. Termografia.

THE INFLUENCE OF PHOTOBIOMODULATION ON THE TEMPERATURE OF THE BRACHIAL BICEPS DURING MUSCLE FATIGUE PROTOCOL

ABSTRACT

Muscle fatigue (FM) is caused by biochemical changes that modify the mechanics of muscle contraction, which result in negative changes in the performance of the contraction. Several resources are studied to mitigate this situation, among them can be mentioned photobiomodulation. In this context, infrared thermography is applied in sports under the justification that changes in skin temperature may correlate with inflammatory processes or with FM. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effects of photobiomodulation on fatigue and temperature of the biceps brachii muscle. To this end, a cross-sectional study was carried out, in which 14 male volunteers aged between 20 and 30 years old passed through the following groups: Control, Placebo and Laser (PBMT). For FM induction, three Maximum Voluntary Isometric Contractions (MVIC) were performed with a duration of 50 seconds and an interval of 50 seconds, using a computerized dynamometer. During maximum voluntary isometric contraction, muscle strength and infrared temperature were evaluated at 0, 5, 10 and 15 minutes after the tests. It was possible to observe, through a thermographic camera, the changes in skin temperatures, and the Laser group showed a less pronounced decrease in muscle strength, showing a lower rate of muscle fatigue ($p > 0.05$) in relation to the other groups. In the temperature analysis, the Control group had the highest average temperature, showing a significant difference only for Placebo. The results suggest that the Control group showed the greatest physical degeneration, since there was a statistically significant increase in relation to baseline temperature. The Laser group, on the other hand, had a positive effect on FM attenuation and body thermoregulation, as there was a plateau of thermal values in the periods following FM. It should also be noted that the variation in strength in the initial and final moments, when evaluated between groups, showed statistically relevant results between the control and laser groups. In the present study, we can conclude the following: PBMT applied to the biceps brachii muscle of healthy individuals, during the performance of fatigue protocols, promoted the attenuation of FM; The analysis of muscle strength showed that the irradiated volunteers showed less variation during the tested protocols, suggesting optimization of muscle performance; PBMT contributed to the improvement of body thermoregulation, assessed by infrared thermography, during FM protocols.

Keywords: Muscle Fatigue. Photobiomodulation. Thermography.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Músculo Bíceps braquial e músculos adjacentes do braço e ombro.	15
Figura 2 - Principais tipos de análises possíveis de serem realizadas por meio do DI.	20
Figura 3 - Fluxograma do processo de randomização dos voluntários.	26
Figura 4 - Captura das imagens por câmera termográfica.	29
Figura 5 - Aplicação da fotobiomodulação antes da indução do protocolo de fadiga muscular.	30
Figura 6 - Posicionamento do voluntário no banco Scott para a realização do protocolo de indução da fadiga muscular.	31
Figura 7 - Esquema dos protocolos de fadiga e instrumentação.	32
Figura 8 - Análise da Fmédia durante os protocolos de 50 segundos (média ± erro padrão).	37
Figura 9 - Avaliação do Fx entre o Laser e o Placebo (média ± erro padrão).	38
Figura 10 - Análise da Fm (média ± erro padrão).	39
Figura 11 -. Avaliação da variação entre a Força máxima com a mínima (média ± erro padrão).	40
Figura 12 - Mensuração da variação da força nos instantes iniciais com os finais (Cvi-f) (média ± erro padrão).	41
Figura 13 - Análise do comportamento da temperatura do controle durante os 15 minutos.	42
Figura 14 - Avaliação intragrupo dos voluntários que foram irradiados (fotobiomodulação).	43
Figura 15 - Avaliação do Placebo da temperatura por infravermelho.	44
Figura 16 - Análise intergrupos da temperatura durante os 15 minutos.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estudos que utilizaram a terapia de fotobiomodulação na prevenção e tratamento da fadiga muscular nos últimos seis anos.....	18
Tabela 2 - Motivos para exclusão dos voluntários.....	34
Tabela 3 - Análise intragrupo do grupo PBMT.	35
Tabela 4 - Avaliação intragrupo dos voluntários durante a fase experimental do placebo.....	36
Tabela 5 - Análise intergrupos da temperatura durante os 15 minutos (média \pm erro padrão).....	44

LISTA DE ABREVIATURAS

ATP - adenosina trifosfato

CEP- Comitê de Ética e Pesquisa

CIVM - Contração Isométrica Voluntária Máxima

Cvi-f% - Variação do instante inicial com o final

DI – Dinamômetro

FM – Fadiga Muscular

Fm - Menor valor obtido durante a realização do CIVM

Fmédia - Força média

FO - Força Máxima

Fx - Maior valor obtido durante a realização do CIVM

IFM - índice de fadiga muscular

IP&D - Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento

IPAQ - Questionário Internacional de Atividade Física

LED - Light Emitting Diode

LEDT - Terapia com diodos emissores de luz

LERSM – Laboratório de Engenharia de Reabilitação Sensório Motora

NR - Não relatado pelo estudo

PBMT - Fotobiomodulação

PO- Potência muscular

PT - Pico de torque ou

TLBI - Terapia a Laser de Baixo Intensidade

TQF -Taxa de queda da força

TT- Trabalho Total

TTDF - Taxa de tempo de desenvolvimento da força

TTS - Trabalho total da série

Vfx-vfm% - Variação do Fx-Fm

λ - Comprimento de onda

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	BÍCEPS BRAQUIAL.....	15
2.1	FADIGA MUSCULAR.....	16
2.2	FOTOBIMODULAÇÃO.....	17
2.3	DINAMOMETRIA.....	20
2.4	TERMOGRAFIA.....	21
3	OBJETIVOS.....	23
3.1	OBJETIVO GERAL.....	23
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
4	METODOLOGIA.....	24
4.1	DESENHO DO ESTUDO.....	24
4.2	AMOSTRA E GRUPOS DO ESTUDO.....	24
4.3	CRITÉRIOS DE INCLUSÃO DO ESTUDO.....	25
4.4	CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO.....	25
4.5	RANDOMIZAÇÃO DOS GRUPOS.....	26
4.6	INSTRUMENTAÇÃO PARA AVALIAÇÃO.....	27
4.6.1	Dinamômetro Isocinético (DI).....	27
4.6.2	Eletromiografia de Superfície.....	27
4.6.3	Termografia infravermelha.....	28
4.8	PROTOCOLO DE PESQUISA.....	30
4.9	ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS PELA DINAMOMETRIA.....	32
4.10	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	33
5	RESULTADOS.....	34
5.1	ANÁLISE DA FORÇA (INTRAGRUPO).....	34
5.2	ANÁLISE DA FORÇA (INTERGRUPOS).....	36

5.3	ANÁLISE POR TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA (INTRAGRUPO)	41
5.3	ANÁLISE POR TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA (INTERGRUPOS).....	44
6	DISCUSSÃO.....	46
7	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS	51
	ANEXO A: CEP.....	57

1 INTRODUÇÃO

A ação muscular é o resultado de uma série de eventos fisiológicos complexos, sendo responsáveis pelas atividades do cotidiano, no trabalho e no esporte. A incapacidade na manutenção da força muscular durante essas atividades é conhecida como Fadiga Muscular (FM), responsável por limitar o desempenho e causar diversas lesões no sistema musculoesquelético (DELPASSO, 2017; BERSOTTI *et al.*, 2019).

A FM está associada a mecanismos e fatores metabólicos que podem afetar os músculos (fadiga periférica) e o sistema nervoso central (fadiga central) (COSTA *et al.*, 2015). O efeito adverso da FM manifesta-se pela incapacidade contrátil e processo metabólico das fibras musculares de manter e dar continuidade à mesma quantidade de trabalho. Em excesso, a FM pode prejudicar a recuperação muscular, resultando em frequentes quadros de lesões musculares e ocasionar a queda do desempenho muscular tanto em atletas como em indivíduos comuns (DELPASSO, 2017; TOMAZONI *et al.*, 2019).

Todavia, nas últimas décadas, a FM vem sendo frequentemente investigada no que se refere às condições metabólicas que desencadeiam a sua instauração FM, recuperação e até métodos de como prevenir e/ou atrasar os seus efeitos adversos (LOPES-MARTINS *et al.*, 2006; LEAL Jr. *et al.*, 2010; BERSOTTI *et al.*, 2019).

A fotobiomodulação (PBMT) promovida pela Terapia a Laser de Baixa Intensidade (TLBI) e/ou da terapia com diodos emissores de luz (LEDT) é uma alternativa inovadora e não invasiva no tratamento e/ou prevenção da FM induzida pelo exercício (ANDERS *et al.*, 2019; DORNELLES *et al.*, 2019). Essas intervenções terapêuticas apresentam efeitos positivos na atenuação da fadiga muscular e na recuperação muscular pós-exercício. Também é reportado que a PBMT pode contribuir para aumento da amplitude de movimento muscular, recrutamento de fibras e acréscimo da força de pacientes espásticos. Resultando, na otimização da condução do sinal nas fibras musculares espásticas (STAMBOROWSKI *et al.*, 2021).

A PBMT pode ativar alguns componentes que fazem parte da estrutura celular, por meio da modulação de reações bioquímicas, e pode facilitar a remoção do lactato sanguíneo entre outros, reduzindo os danos musculares e/ou a FM (MACIEL *et al.*, 2014; COSTA *et al.*, 2017).

Alguns estudos mostram que o dinamômetro isométrico (DI) é uma opção interessante para avaliar os reais efeitos da BMT sobre a musculatura, além de diagnosticar e apontar o momento da instauração da FM (ROSSATO *et al.*, 2018; DORNELLES *et al.*, 2019). Este equipamento é considerado padrão ouro para medir a função muscular na prática clínica e em pesquisas, permitindo a produção de força máxima a uma velocidade constante, pré-determinada, em toda a amplitude de movimento de uma articulação (VAN DRIESSCHE *et al.*, 2018).

Neste contexto, relatos indicam que a PBMT pode contribuir de forma significativa para o aumento da microcirculação periférica. Entretanto, o aumento da temperatura no local da irradiação não é abordado amplamente pela literatura específica (PANHOCA *et al.*, 2015; COSTA *et al.*, 2017; PRIANTI *et al.*, 2018).

Uma forma de mensurar a temperatura da pele é por meio da termografia infravermelha, que é uma técnica segura, não invasiva e de baixo custo que permite obtenção da temperatura da superfície corporal (FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2015). Esse método permite observar as alterações da temperatura corporal humana em resposta a processos fisiológicos ou patológicos, mediante a visualização do calor irradiado do corpo por meio do registro de emissão infravermelha (MARINS *et al.*, 2015; NOVOTNY *et al.*, 2015).

Nesta permissa, o emprego do DI e a termografia infravermelha pode ser de suma importância para elucidação dos reais efeitos e mecanismos da PBMT sobre o sistema musculoesquelético e suas consequências no ato motor, além da ação sobre a FM (DORNELLES *et al.*, 2019).

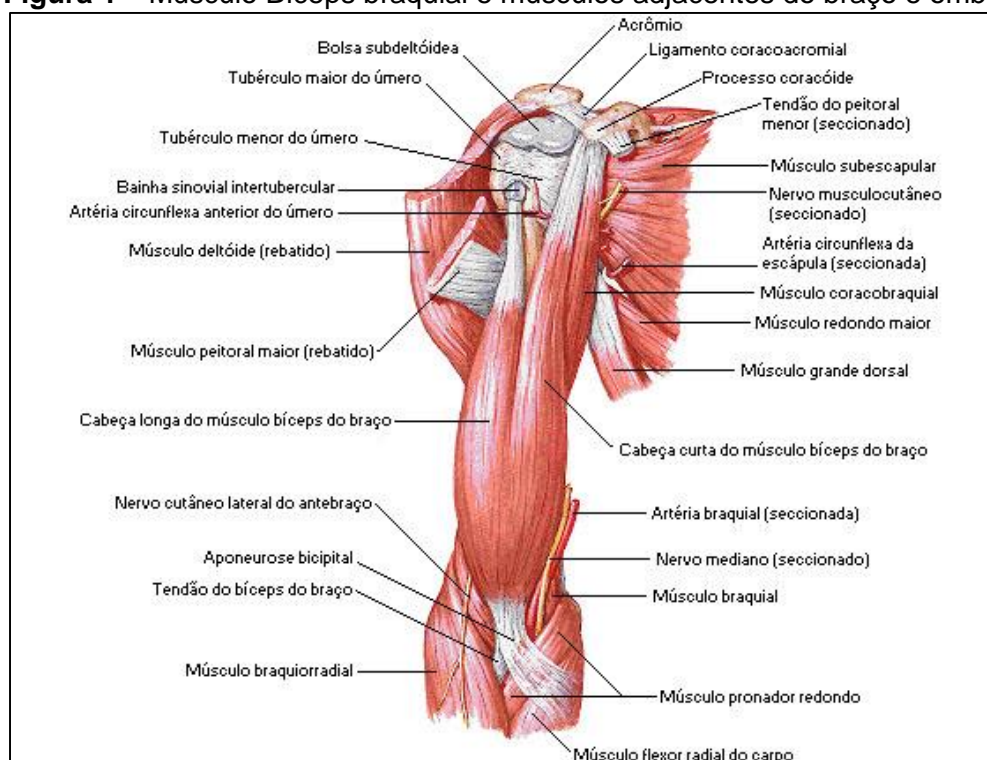
2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 BÍCEPS BRAQUIAL

O bíceps braquial é o principal músculo envolvido no movimento da flexão do cotovelo e age como antagonista do movimento de extensão do cotovelo (COSTA, 2016).

Este músculo é dividido em duas porções, denominadas cabeça longa e curta, as duas cabeças inserem-se na escápula e seu prolongamento na tuberosidade do osso rádio. A cabeça longa tem sua inserção proximal no tubérculo supraglenoidal, segue sobre a cabeça do úmero, atravessa a cápsula articular, desce pelo sulco intertubercular e une-se a cabeça curta oriunda do processo coracoide (HEO *et al.*, 2020). Observa-se na figura 1 o músculo bíceps braquial e suas principais estruturas, além dos músculos adjacentes.

Figura 1 – Músculo Bíceps braquial e músculos adjacentes do braço e ombro.



Fonte: Netter, (2015).

Os tendões das duas porções se entrelaçam na articulação do ombro anteriormente, o músculo bíceps braquial auxilia a flexão do ombro. Entretanto, sua principal ação é no cotovelo. Depois de se unirem, as duas cabeças formam um

ventre muscular comum que cobre as faces anterolateral e anteromedial do úmero. O tendão do músculo bíceps braquial cruza a articulação do cotovelo e se insere na tuberosidade do rádio. Ele é o músculo superficial da região anterior do braço (LIPPERT, 2013).

O músculo bíceps braquial é composto de fibras do tipo II, sendo fundamental na ação de inúmeras atividades de vida diária, técnicas esportivas e movimentos ocupacionais em diversas profissões e atividades. Essas fibras são conhecidas como fibras rápidas ou brancas e têm como características a alta hidrólise de adenosina trifosfato (ATP) e alta velocidade de encurtamento. Estas características contribuem para elevar o torque e conseqüentemente a força, diferentemente das fibras do tipo I que produzem menos força, porém são mais resistentes à fadiga muscular (COSTA, 2016).

2.1 FADIGA MUSCULAR

A FM é um fator determinante no desempenho das tarefas cotidianas, podendo diminuir alguns aspectos de controle motor e a eficiência nas atividades de vida diária (LEHNEN, 2016).

A FM é um processo que envolve elementos fisiológicos, biomecânicos e psicológicos, sendo definida como a diminuição da capacidade de gerar ou manter a força muscular. Como resultado, observa-se uma drástica diminuição no desempenho muscular (LEAL Jr. *et al.*, 2010; BOCCIA *et al.*, 2016).

A diminuição da capacidade de gerar ou manter a força, ocasionada pela FM, funciona como um processo de defesa do nosso organismo, impedindo que as reservas de energia do corpo se esgotem (TOMAZONI *et al.*, 2019). Além do mais, nesse processo há a implicação do controle e da coordenação da musculatura. A FM é considerada fator relevante para o aumento do risco de lesões durante a prática de exercícios físicos ou atividade de vida diária (PAQUETTE *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2020).

A FM está associada a fatores metabólicos que podem afetar o sistema nervoso central (fadiga central) e o sistema muscular (fadiga periférica) (COSTA, 2016). A Fadiga de origem periférica se dá pela depleção das reservas energéticas de trifosfato de adenosina (ATP) e fosfocreatina (PC), das reservas de glicogênio muscular e pelo

acúmulo de ácido láctico, que alteram a função contrátil muscular e favorecem os desequilíbrios musculares (COSTA, 2016; SANTOS *et al.*, 2020).

A fadiga central é definida por uma diminuição na taxa de disparos de potenciais de ação pelo córtex motor e aumento na síntese e concentração do neurotransmissor serotonina em várias regiões cerebrais. No entanto, vale ressaltar que o suporte experimental sobre a fadiga central é limitado por dificuldades metodológicas em acessar de maneira direta e objetiva o sistema nervoso central, principalmente durante a realização de exercícios (COUTO, 2017).

2.2 FOTOBIMODULAÇÃO

Evidências sugerem que a terapia de fotobiomodulação aplicada por meio de Laser ou LED antes do exercício pode ser usado como uma ferramenta para atenuar a FM em humanos durante os exercícios aeróbicos e de força (ANDERS *et al.*, 2019; DORNELLES *et al.*, 2019; TOMAZONI *et al.*, 2019).

Em resumo, a atenuação da FM acontece por meio da absorção da radiação eletromagnética, que ocorre no interior das células, onde um fotorreceptor denominado citocromo C oxidase, encontrado dentro da mitocôndria, absorve a luz e faz a transdução de energia luminosa em energia química dentro das organelas citoplasmáticas, resultando no aumento do metabolismo celular (FERRARESI *et al.*, 2016; COSTA *et al.*, 2017).

O citocromo c oxidase está localizado na unidade IV na cadeia respiratória mitocondrial, sendo um dos principais agentes absorvedores de fótons, na qual desencadeia uma variedade de efeitos após a absorção da luz. Entre esses efeitos, a literatura destaca aumentos na síntese de ATP, DNA e RNA, que por sua vez afetam a proliferação celular e a expressão gênica relacionadas a várias vias celulares, como mitose, apoptose, inflamação e metabolismo da energia mitocondrial, entre outros (FERRARESI *et al.*, 2016; ORSSATTO *et al.*, 2019).

Segundo Ferraresi *et al.*, (2016), a fotobiomodulação pode acelerar a recuperação muscular, além de protegê-la contra danos induzidos pelo exercício. Também pode favorecer o desempenho, com o aumento da força muscular e a resistência à fadiga. Esses efeitos são valiosos em processos de reabilitação que envolvem exercícios e programas para se recuperar de lesões musculares, fraqueza

e da atrofia.

Contudo, existe uma grande variabilidade de parâmetros de aplicação da terapia de fotobiomodulação utilizados nos estudos, o que dificulta interpretar os resultados e a utilização na prática clínica, inclusive em ambientes esportivos (DE OLIVEIRA *et al.*, 2017). Sabe-se que essa terapia exhibe um padrão bifásico dose-resposta, o que significa que doses intermediárias localizadas dentro de uma "janela terapêutica" estimulam os tecidos biológicos e suas respostas, enquanto, doses abaixo ou acima dessa janela não desencadeiam nenhum efeito terapêutico (DELLAGRANA *et al.*, 2018).

A tabela 1 apresenta um levantamento bibliográfico de estudos que utilizaram a terapia de fotobiomodulação na prevenção e/ou tratamento da fadiga muscular e desempenho, obtidos a partir das principais bases de dados, entre os anos de 2015 e 2021.

Tabela 1 - Estudos que utilizaram a terapia de fotobiomodulação na prevenção e tratamento da fadiga muscular nos últimos seis anos.

(Continua)

Autor	Modelo	Terapia	Músculo	λ (nm)	Dose (J)	Efeito
Albuquerque-Pontes <i>et al.</i>, 2015	Ratos	Laser	Tibial anterior	660,830,950	NR	+
Ferraresi <i>et al.</i>, 2015	Ratos	LED	Sóleo e gastrocnêmico	630e 850	7,2	+
Kakahata <i>et al.</i>, 2015	Homens	Laser	Tríceps sural	660	NR	0
Reis <i>et al.</i>, 2015	Homens e mulheres	Laser	NR	880	NR	0
Costa, 2016	Homens	Laser	Bíceps braquial	830	3	+
Delpasso, 2017	Homens	Laser	Bíceps Femoral	830	3	+

Tabela 1 - Estudos que utilizaram a terapia de fotobiomodulação na prevenção e tratamento da fadiga muscular nos últimos seis anos.

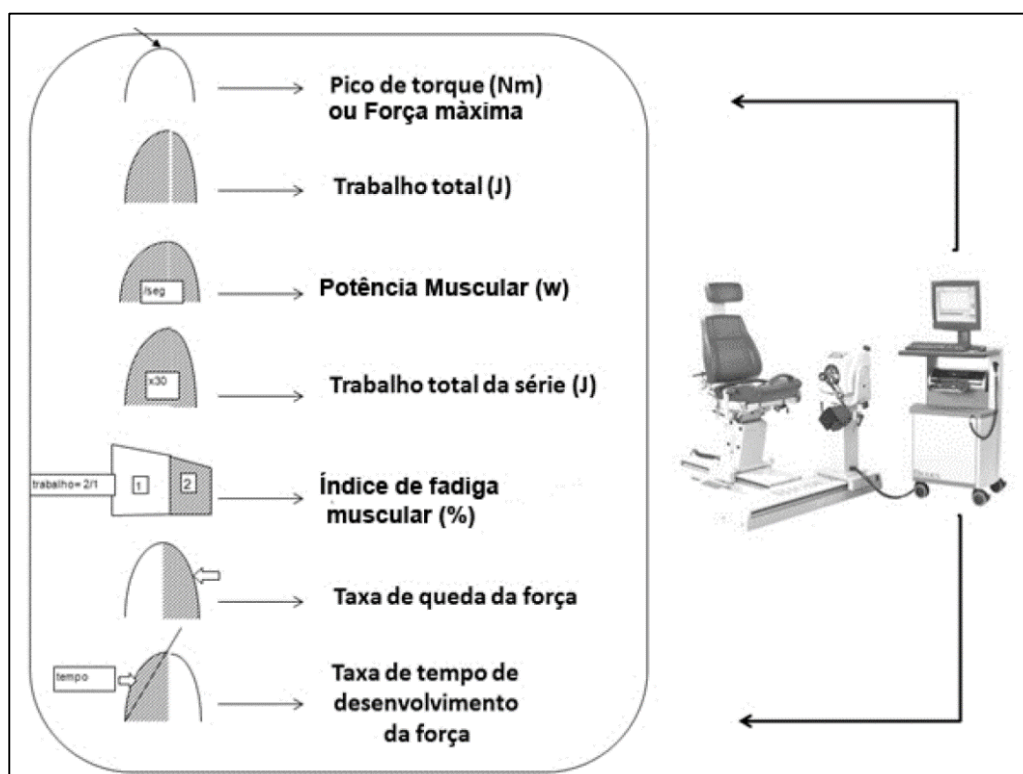
(Conclusão)						
Autor	Modelo	Terapia	Músculo	λ(nm)	Dose (J)	Efeito
Lanferdini et al., 2017	Homens	Laser	Quadríceps	810	135, 270 e 450	+
De Oliveira et al., 2017	Homens	Laser	Quadríceps	810	300	+
Rossato et al., 2018	Homens	Laser e LED	Quadríceps	670, 850, 880 e 950	270	+
Dellagrana et al., 2018	Homens	Laser e LED	Quadríceps, Isquiotibiais e gastrocnêmico	670, 850, 880 e 950	840 e 420	+
Orssato et al., 2019	Homens	Laser e LED	Quadríceps, Isquiotibiais e gastrocnêmico	670, 850, 880 e 950	60,120 e 240	+
Dornelles et al., 2019	Homens	Laser	Quadríceps, Isquiotibiais e gastrocnêmico	880	300	+
Tomazoni et al., 2019	Homens	Laser	Quadríceps, Isquiotibiais e gastrocnêmico	810	100,300 e 450	+
Da Cunha et al., 2020	Homens	homens	Quadríceps	850	36	+

Legenda: λ (nm)= Comprimento de onda; NR= não relatado pelo estudo; += Efeito positivo; 0=efeito nulo; LED=Light Emitting Diode.

2.3 DINAMOMETRIA

O DI fornece resistência ao movimento articular ao longo de uma determinada amplitude. Esta resistência varia proporcionalmente à força exercida pelo voluntário. Assim, o dinamômetro impede que a velocidade do movimento ultrapasse um valor pré-determinado (MCARDLE; KATCH; KATCH, 20016). Por meio desse equipamento, pode ser avaliada a força, a resistência e a potência muscular de diversos grupos musculares, realizando diferentes tipos de análises (Figura 2) (MACIEL *et al.*, 2013).

Figura 2 - Principais tipos de análises possíveis de serem realizadas por meio do DI.



Fonte: Costa (2016).

De acordo com Costa (2016), essa ferramenta permite a realização das seguintes análises **a)** do pico de torque (PT) ou força máxima (FO); **b)** do trabalho total (TT); **c)** da potência muscular (PO); **d)** do trabalho total da série (TTS); **e)** do índice de fadiga muscular (IFM); **f)** da taxa de tempo de desenvolvimento da força (TTDF); **g)** da taxa de queda da força (TQF).

As análises abrangem os seguintes aspectos:

- **PT ou FO (N.m)**: representa a força máxima desenvolvida pelo músculo, medida em Newton por metro, ou seja, a força aplicada no movimento;
- **TT (J)**: reflete o torque desenvolvido em toda amplitude de movimento, medida em *Joules*, ou seja, a média da força aplicada em todo o movimento.
- **P (W)**: potência, trabalho muscular por um período, medida em *Watts*, reflete a energia pelo tempo;
- **TTS (J)**: soma do trabalho desenvolvido em 20 repetições medida, *Joules*;
- **IFM (%)**: Índice de fadiga muscular, representa a queda de desempenho ao longo da série realizada;
- **TTDF**: avalia a rapidez em que o torque é atingido;
- **TQF**: demonstra o declive da curva de torque.

Em todos variáveis é possível quantificar a FM pelo declínio (20-30%) durante a realização dos protocolos. Sendo a análise da força a mais indicada e a mais empregada (COSTA, 2016).

2.4 TERMOGRAFIA

A termografia infravermelha é uma ferramenta não invasiva, rápida e segura, sem emissão de radiação, altamente reprodutível, sem contato físico com o avaliado, permitindo monitorar a temperatura corporal, em tempo real, do indivíduo (SANTOS *et al.*, 2017).

Esta ferramenta já é utilizada na medicina, com diversas finalidades, como assistência em diagnósticos e monitoramento de doenças vasculares, cardíacas e câncer (MARINS *et al.*, 2015). No meio esportivo, o uso da termografia infravermelha consiste na análise de alterações térmicas no sistema musculoesquelético por meio de imagens, e vem sendo utilizada com o principal objetivo de acompanhar o desgaste físico dos atletas de alto rendimento (DA SILVA *et al.*, 2018).

A pele humana é um excelente emissor de radiação infravermelha e com isso é possível calcular com exatidão sua temperatura (SANTANA, 2018).

Por meio da análise termográfica periódica do atleta é possível indentificar um perfil térmico específico muscular, assim, auxiliar no diagnóstico e no tratamento mais

eficiente para a recuperação física e prevenção das lesões nos atletas (CÔRTE, HERNANDEZ, 2016; SANTANA, 2018).

Contudo, modificações térmicas caracterizadas por redução (hiporradiante: processo degenerativo) ou aumentos (hiperradiante: processo inflamatório) na superfície da pele contribuem como diagnóstico preciso de lesões mesmo que sejam assintomáticas (MAIOR *et al.*, 2017).

Segundo Côrte e Hernandez, (2016) para a realização de uma análise termográfica, é adequado conhecer todos os fatores que influenciam no resultado da análise, entre eles: fatores ambientais (tamanho da sala de coleta, temperatura ambiental, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e radiação), fatores técnicos (câmera, protocolo, software, análise estatística) e fatores individuais (sexo, idade, antropometria, ritmo circadiano, emissividade da pele, uso de medicamentos e prática de exercício físico).

Essa análise vem sendo amplamente empregada para a avaliação do risco de lesão em atletas após a prática esportiva. Visto que a fadiga muscular e, conseqüentemente, o dano muscular estão relacionados ao estresse bioquímico e mecânico no nível microscópico no sarcômero, gerando a inflamação local e alta sensibilidade dos receptores de dor. Neste contexto, a termografia infravermelha é aplicada em esportes sob a justificativa de que as mudanças na temperatura da pele podem se correlacionar com processos inflamatórios (DA SILVA *et al.*, 2018; GÓMEZ-CARMONA *et al.*, 2020).

Outra vantagem deste método é o fato de a análise termográfica gear resultados instantâneos e ser considerados de baixo custo, quando comparado aos exames sanguíneos específicos para marcadores de lesões musculares (DA SILVA *et al.*, 2018).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

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

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a influência da fotobiomodulação na força muscular por meio do dinamômetro isocinético;

- Verificar a influência da fotobiomodulação na fadiga muscular durante análise da temperatura do bíceps braquial, por meio da termografia infravermelha.

- Verificar o comportamento termográfico do musculo após exercício ou após a fotobiomodulação

4 METODOLOGIA

O presente trabalho foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa (CEP) da Universidade do Vale do Paraíba (CAAE 94812618.8.0000.5503). O estudo também devidamente registrado no banco internacional de dados de ensaio clínicos (*ClinicalTrials.gov* - NCT03753984). Todos os participantes concordaram e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice A).

4.1 DESENHO DO ESTUDO

Trata-se de um ensaio clínico transversal, 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).

4.2 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 (Grupo Controle) – Os voluntários realizaram o protocolo de indução da fadiga muscular por meio do dinamômetro computadorizado, como modo de adaptação ao protocolo de pesquisa. Nesta etapa foi realizada a mensuração da temperatura.

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

- **Grupo fotobiomodulação (Laser ou PBMT)** - Os indivíduos foram submetidos previamente à fotobiomodulação e posteriormente realizaram o protocolo de indução da fadiga muscular por meio do dinamômetro computadorizado. Foi mensurada a 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 força muscular.

4.3 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.

4.4 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO

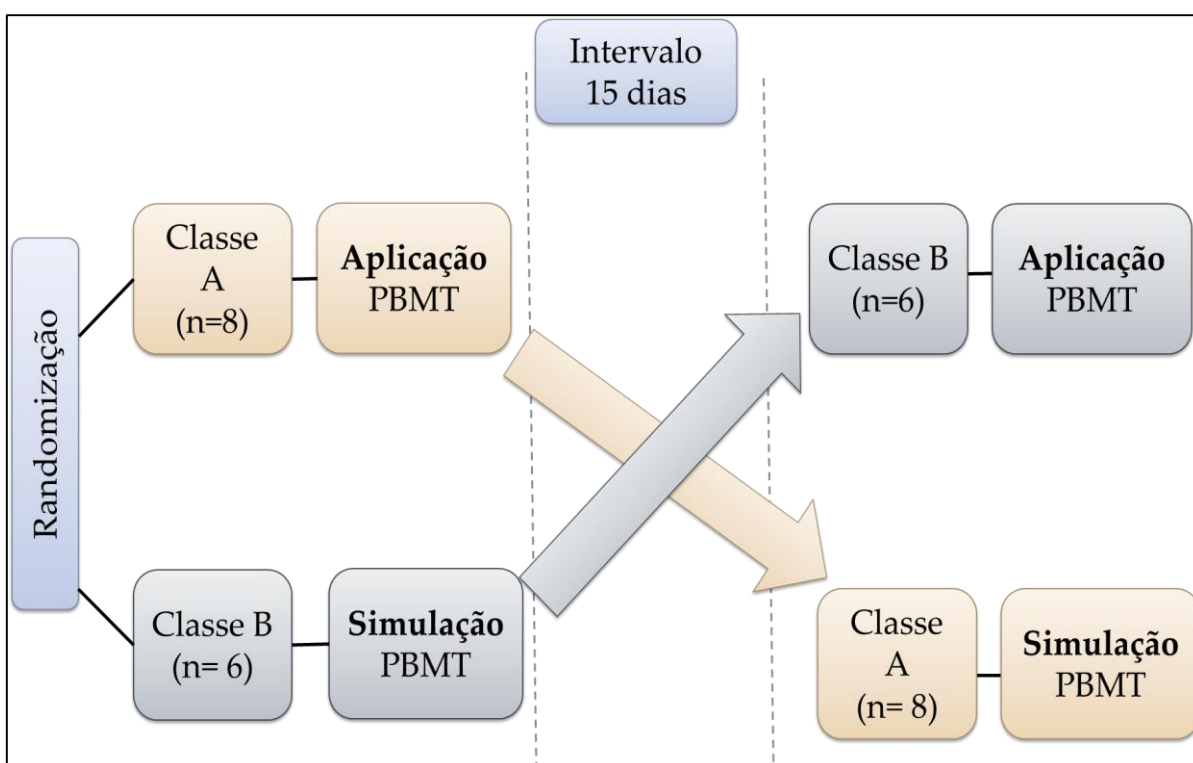
- Possuir comprometimento musculoesquelético ou de pele do membro superior dominante;
- Praticar atividade física com carga;
- Presença de infecção ativa e erupções no membro superior dominante;
- Dor limitante que impossibilite a realização do protocolo de avaliação;
- Ingestão de medicamentos analgésicos 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 e/ou da análise da temperatura;
- Hipoestesia e/ou hiperestesia e/ ou anestesia do membro em que foi aplicada a fotobiomodulação;
- Ausência do uso de qualquer produto do tipo creme, gel ou sóis que pudesse influenciar a perfusão cutânea.

4.5 RANDOMIZAÇÃO DOS GRUPOS

O procedimento de randomização 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 sorteados com a Classe A iniciaram no Grupo PBMT e finalizaram no Grupo Placebo, enquanto os sorteados com a Classe B iniciaram no Grupo Placebo e posteriormente o protocolo para 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 3 auxilia para melhor compreensão da randomização do estudo.

Figura 3 - Fluxograma do processo de randomização dos voluntários.



Fonte: Autor.

4.6 INSTRUMENTAÇÃO PARA AVALIAÇÃO

A seguir são descritos os métodos de avaliação empregados no presente estudo.

4.6.1 Dinamômetro Isocinético (DI)

Associado à captação do EMG, permitiu a mensuração da força muscular a partir da Contração Isométrica Voluntária Máxima (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.

4.6.2 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 , $X_{\text{min}} -2000$, $Y_{\text{máx}} 2000$, Coef. A 0 e Coef.B 500, acoplado a um computador.

Foram utilizados eletrodos duplos de superfície descartáveis, compostos 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 foi avaliado.

4.6.3 Termografia infravermelha

Para a coleta da termografia infravermelha, foi empregada uma câmera infravermelha (modelo FLIR S65), acoplada a um tripé fotográfico profissional (Canon 1,5 metros), conectado a um computador com o Software Thermo Cam Researcher Professional 2.10. A câmera foi colocada a um metro do local da captura da imagem, seguindo a padronização dos parâmetros de emissividade (0,98 da pele humana), temperatura ambiente 22° C ($\pm 0,9^\circ$ C) e umidade relativa a 60%. as temperaturas foram capturadas em graus celsius ($^\circ$ C).

Cinco imagens foram capturadas durante cada protocolo (basal, PBMT e placebo):

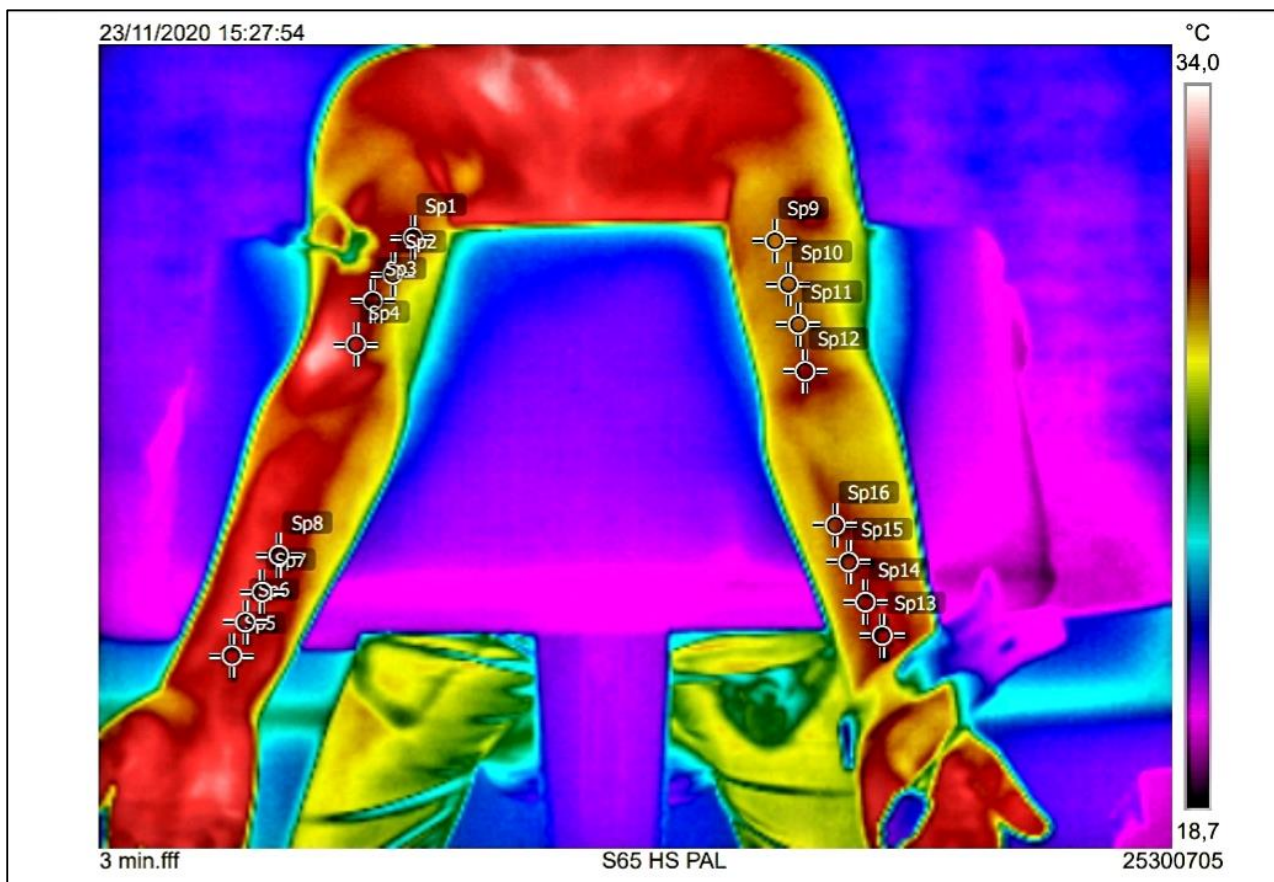
- A imagem 1 (captura basal) foi registrada após a climatização antes da aplicação ou a simulação da irradiação eletromagnética.
- A imagem 2 (captura basal pós-PBMT) foi registrada após a aplicação do *cluster* de LASER (grupo placebo e PBMT) e antes da contração voluntária isométrica máxima (CIVM);

As imagens 3, 4 e 5 foram registradas após o CIVM do indivíduo:

- A imagem 3 foi gravada 5 minutos após a CIVM;
- A imagem 4 foi gravada 10 minutos após a CIVM;
- A imagem 5 foi gravada 15 minutos após a CIVM;

Assim, a captura das imagens (figura 4) ocorreu antes da CIVM (basal), após a PBMT (pós basais PBMT) e 5, 10 e 15 minutos após a CIVM.

Figura 4 - Captura das imagens por câmera termográfica.



Fonte: Acervo do autor

4.7 FOTOBIMODULAÇÃO

Foi empregado um *cluster* de *LASER* 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), utilizando-se estudo foi utilizado apenas o *LASER* no comprimento de onda na região do infravermelho (808nm).

O comprimento de onda do clstuter de Laser infravermelho utilizado era de $\lambda=808$ nm, potência de 100 mW/ponto, 30 segundos/ponto e energia de 3 Joules/ponto. A área de cada feixe foi de 0,028 cm². No total foram aplicados 9 pontos no músculo bíceps braquial, totalizando 27J de energia.

Durante a irradiação do *LASER* o cluster não teve contato direto com a pele (distância de 1,5 cm) do voluntário para não promover alterações na temperatura da pele, tornando mais fidedigno a avaliação por meio da termografia. 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 5).

Figura 5 - Aplicação da fotobiomodulação antes da indução do protocolo de fadiga muscular.



Fonte: Souza (2020a)

4.8 PROTOCOLO DE PESQUISA

Todos os voluntários iniciaram na Fase I como modo de adaptação do voluntário ao protocolo de pesquisa e aos equipamentos. Na fase II o voluntário passou pela randomização do estudo.

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, 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 fixada no dinamômetro computadorizado e a outra extremidade posicionada no antebraço do voluntário para realização do protocolo de CIVM do músculo bíceps braquial (Figura 6).

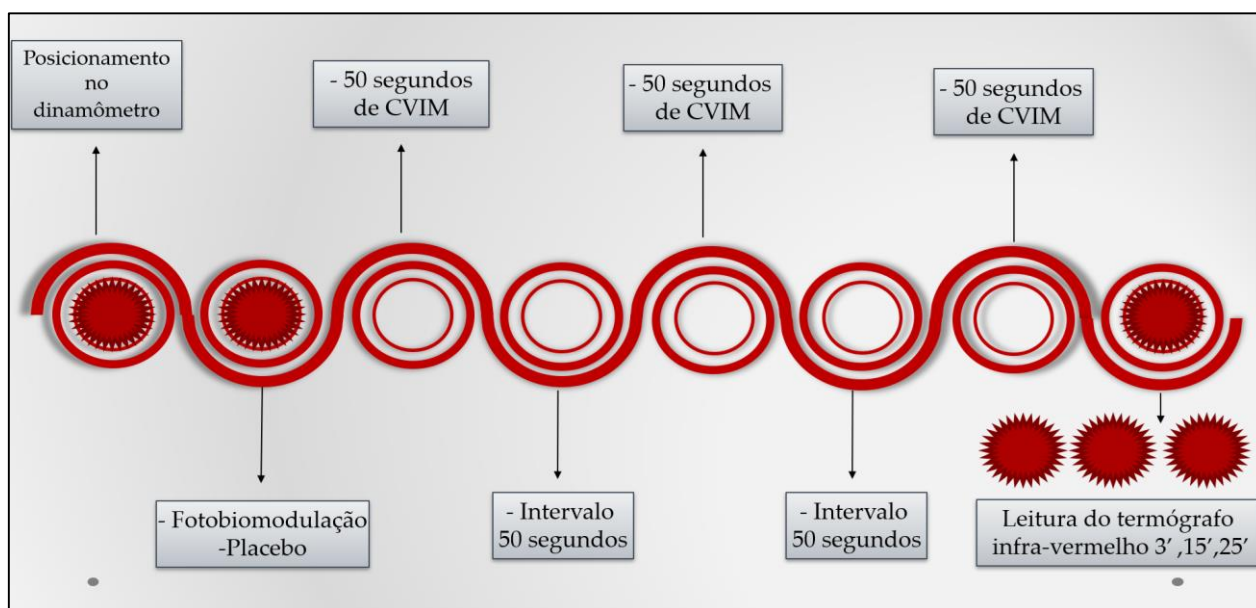
Figura 6 - Posicionamento do voluntário no banco Scott para a realização do protocolo de indução da fadiga muscular.



Fonte: Souza (2020a)

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, conforme esquematizado na figura 7. Durante as contrações a atividade mioelétrica e força muscular foram coletadas de modo sincrônico.

Figura 7 - Esquema dos protocolos de fadiga e instrumentação.



Fonte: Autor.

4.9 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS PELA DINAMOMETRIA

A dinamometria foi coletada em conjunto com a eletromiografia de superfície (EMG), essa associação foi necessária para obtenção dos dados referentes à força. 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 empregado.

Para iniciar o processamento dos sinais foram abertos os arquivos em .txt fornecidos 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 foi 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 50 s para cada teste, sendo assim o *ELEDA* possibilita o janelamento de 2,5 s (20 janelas), 5 s (10 janelas), 10 s (5 janelas) 25 s (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 o programa (ELEDA) 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; WISNIEWSKI, 2014) calculado por meio do janelamento $\left(\frac{Janela\ 20}{Janela\ 1} \times 100\right)$.

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. O presente estudo utilizou apenas os dados provenientes da força relacionada a Dinamometria.

Para a avaliação da força foram considerada as seguintes análises:

Força média (Fmédia): Corresponde ao valor médio obtido durante a coleta;

Valor Máxima (Fx): Maior valor obtido durante a realização do CIVM;

Valor Mínimo (Fm): Menor valor obtido durante a realização do CIVM;

Varição do Fx-Fm (Vfx-vfm%): É a variação em porcentagem (%) dos valores do fx e Fm;

Varição do instante inicial com o final (Cvi-f%): É a variação dos valores iniciais (0-2 segundos) do CIVM com os instantes finais (78-80 segundos).

4.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram analisados com o auxílio do programa Graphpad Prism v.5, empregando-se o teste de Shapiro-Wilk para análise da distribuição dos grupos, na qual foi confirmada a distribuição paramétrica dos dados. Os testes empregados foram o teste *T paried* (teste pareado, para a análise da força na comparação do Placebo com o Laser) e o teste ANOVA com o teste de Turkey (comparações múltiplas), considerando um nível de significância de 5% ($p < 0,05$) e intervalo de confiança de 95%.

5 RESULTADOS

A amostra do estudo foi constituída por 27 voluntários. Entretanto, onze voluntários foram excluídos conforme descrito na tabela 2.. A amostra final foi composta por 14 voluntários do sexo masculino, que apresentaram 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.

Tabela 2 - Motivos para exclusão dos voluntários.

Motivos para exclusão	n¹
Não compareceram as coletas (falta)	5
Não finalizaram todas as etapas (falta)	2
Não apresentaram queda da força muscular maior que 20%	6

Legenda: n¹=Número de voluntários excluídos durante o experimento.

5.1 ANÁLISE DA FORÇA (INTRAGRUPPO)

Na análise intragrupos dos voluntários, durante a fase experimental da irradiação (*LASER*), foi possível observar que não houve diferenças significativas na comparação dos 3 testes (Tabela 3). Entretanto, na Fmédia é verificado diminuição da média ao decorrer dos testes. Na Fx o maior valor obtido foi durante a realização do segundo teste. O menor valor da Fm foi evidenciado no último teste. Tanto na Vfx-vfm (%) como na Cvi-f (%) as maiores variações (perda de força) ocorreram no último teste.

Tabela 3 - Análise intragrupo do grupo PBMT.

Avaliação da Força (N)		Laser			AIG		
		t1	t2	t3	t ¹⁻²	t ¹⁻³	t ²⁻³
Fmédia	Valor	0,78	0,78	0,72			
	DSVP (±)	0,13	0,13	0,13	ns	ns	ns
	EP (±)	0,03	0,034	0,036			
FX	Valor	1,03	1,09	1,07			
	DSVP (±)	0,13	0,16	0,16	ns	ns	ns
	EP (±)	0,03	0,04	0,04			
Fm	Valor	0,56	0,52	0,48			
	DSVP (±)	0,15	0,17	0,15	ns	ns	ns
	EP (±)	0,04	0,04	0,04			
Vfx-vfm (%)	Valor	-46,26	-51,99	-55,39			
	DSVP (±)	12,18	15,18	13,09	ns	ns	ns
	EP (±)	3,14	3,92	3,38			
Cvi-f (%)	Valor	-41,22	-45,55	-50,22			
	DSVP (±)	16,68	20,62	16,67	ns	ns	ns
	EP (±)	4,31	5,33	4,31			

Legenda: **t1**= teste 1; **t2**= teste 2; **t3**= teste 3; **DSVP**= Desvio padrão; **EP**= erro padrão; **AIG**= Análise intragrupo; **t¹⁻²**= Análise intragrupo entre o primeiro e segundo teste; **t¹⁻³**= Análise intragrupo entre o primeiro e o terceiro teste; **t²⁻³**= Análise intragrupo entre o segundo e o terceiro teste; **ns**= diferença não significativa ($p > 0,05$).

Na avaliação do Placebo nenhuma diferença foi reportada entre os protocolos (Tabela 4). Contudo, é evidenciada redução dos valores da Fmédia e FM ao decorrer dos testes. No Fx o maior valor é observado no último teste. Na Vfx-vfm a maior redução é constatada no último teste, enquanto, no Cvi-f a maior variação ocorre no segundo teste.

Tabela 4 - Avaliação intragrupo dos voluntários durante a fase experimental do placebo.

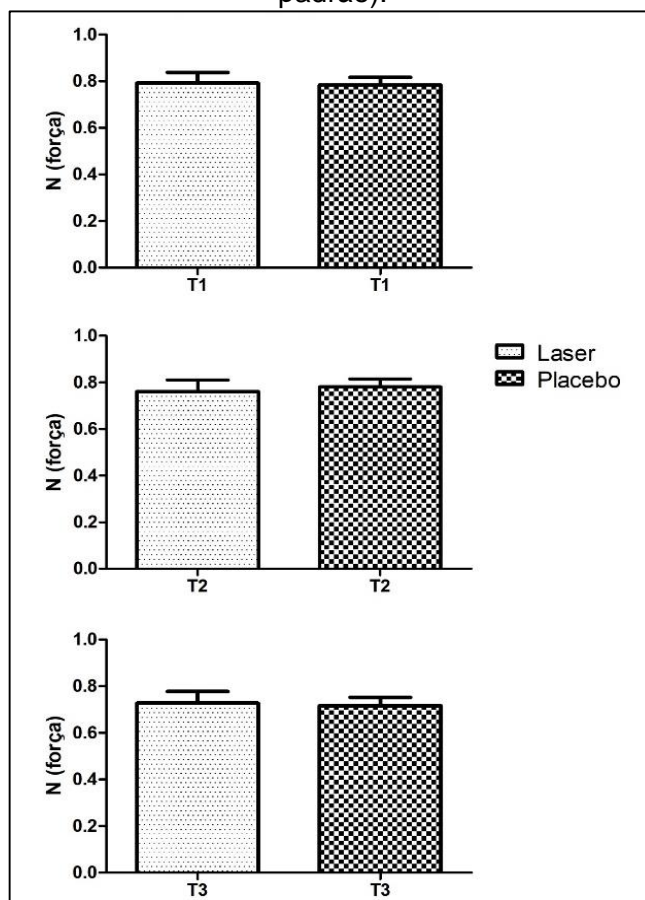
Avaliação da Força (N)		Placebo			AIG		
		t1	t2	t3	t ¹⁻²	t ¹⁻³	t ²⁻³
Fmédia	Valor	0,79	0,76	0,73			
	DSVP (±)	0,17	0,19	0,20	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	EP (±)	0,04	0,05	0,05			
Fx	Valor	1,08	1,14	1,17			
	DSVP (±)	0,23	0,29	0,32	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	EP (±)	0,06	0,07	0,08			
Fm	Valor	0,54	0,48	0,47			
	DSVP (±)	0,20	0,22	0,22	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	EP (±)	0,05	0,06	0,06			
Vfx-vfm (%)	Valor	-50,10	-57,80	-61,05			
	DSVP (±)	12,79	16,51	16,66	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	EP (±)	3,30	4,26	4,30			
Cvi-f (%)	Valor	-40,49	-53,07	-52,53			
	DSVP (±)	19,49	22,29	31,9	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	EP (±)	5,03	5,76	8,24			

Legenda: **t1**= teste 1; **t2**= teste 2; **t3**= teste 3; **DSVP**= Desvio padrão; **EP**= erro padrão; **AIG**= Análise intragrupo; **t¹⁻²**= Análise intragrupo entre o primeiro e segundo teste; **t¹⁻³**= Análise intragrupo entre o primeiro e o terceiro teste; **t²⁻³**= Análise intragrupo entre o segundo e o terceiro teste; **ns**= diferença não significativa ($p>0,05$).

5.2 ANÁLISE DA FORÇA (INTERGRUPOS)

Observa-se, na figura 8 a análise da Fmédia entre o Laser vs. Placebo. A qual não apresentou nenhuma diferença significativa entre os grupos nos diferentes testes.

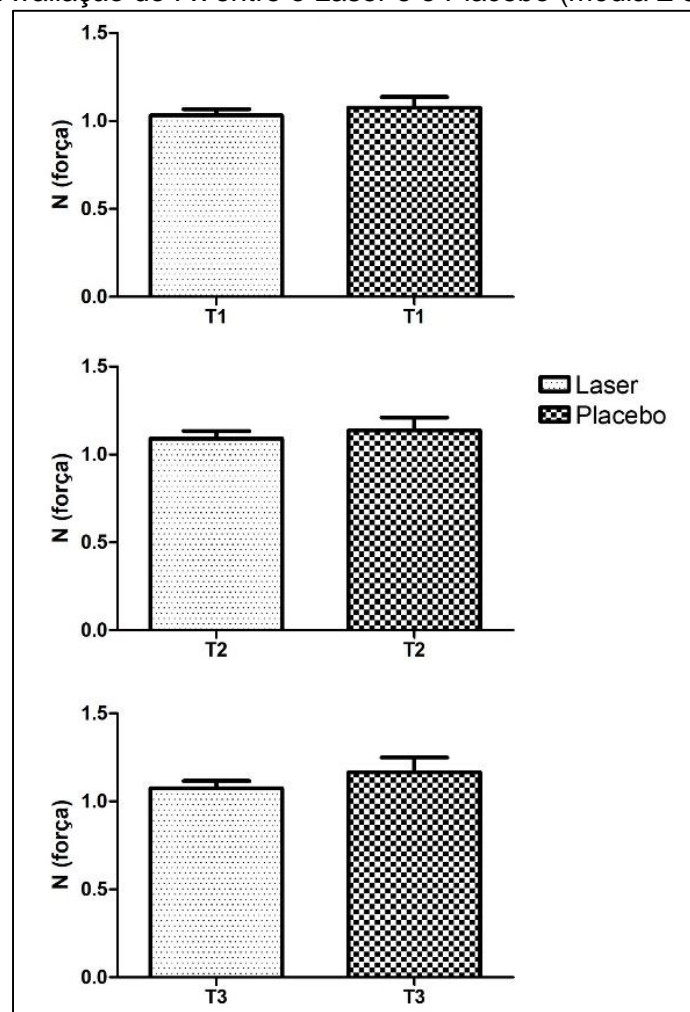
Figura 8 - Análise da Fmédia durante os protocolos de 50 segundos (média \pm erro padrão).



Legenda: T1= teste 1; T2= teste 2; T3= teste 3.

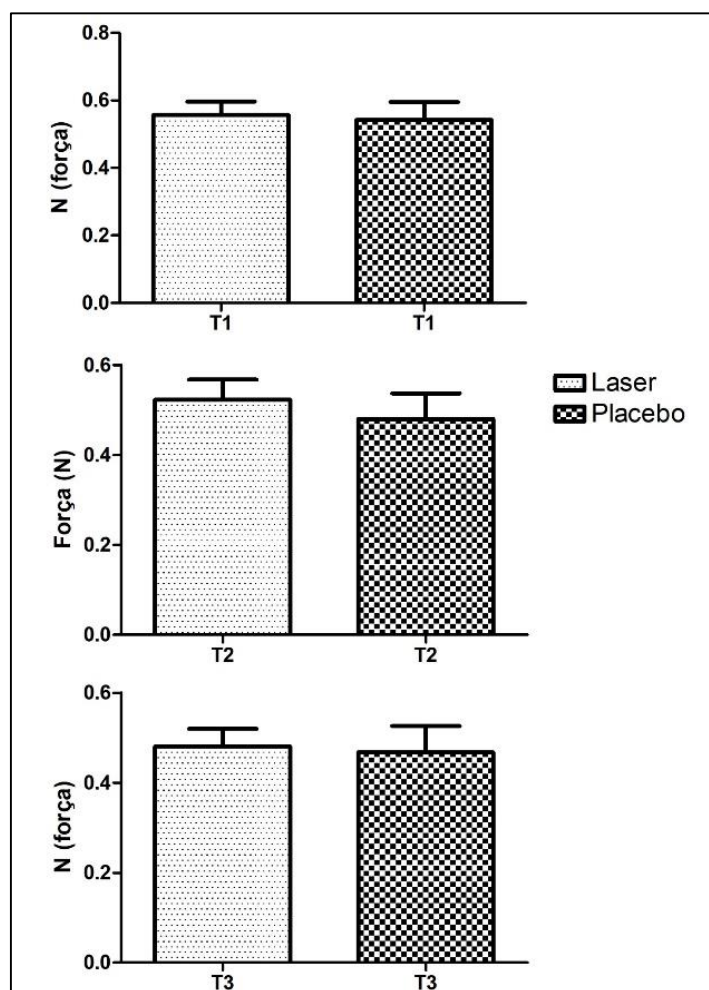
Na análise do Fx foram observados valores muito próximos entre o Laser e o Placebo, não sendo evidenciada diferença significativa em nenhum dos testes (Figura 9).

Figura 9 - Avaliação do Fx entre o Laser e o Placebo (média \pm erro padrão).



Legenda: T1= teste 1; T2= teste 2; T3= teste 3.

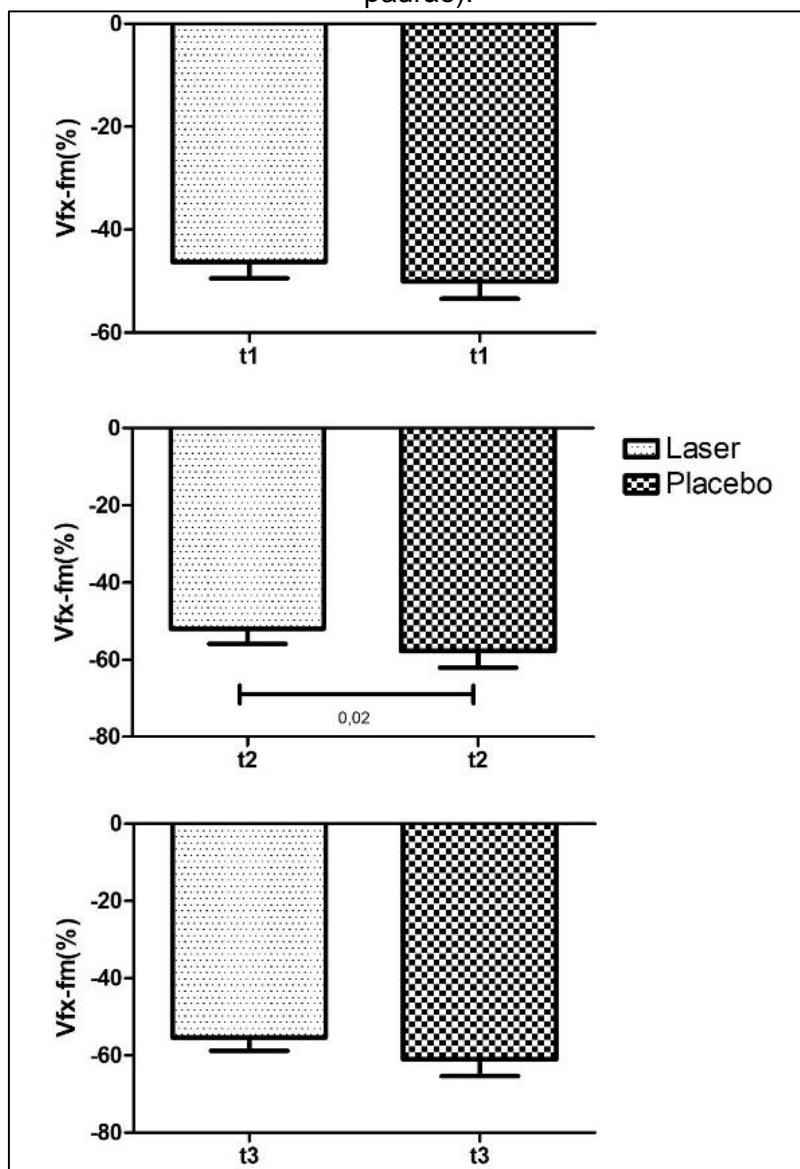
Na figura 10 são apresentados os resultados comparativos entre os grupos Laser e Placebo na Fm, constatando-se que no segundo teste que os voluntários irradiados apresentaram maior média em relação ao placebo. Entretanto, essa diferença não foi significativa.

Figura 10 - Análise da Fm (média \pm erro padrão).

Legenda: T1= teste 1; T2= teste 2; T3= teste 3.

Na análise da Vfx-vfm (%) (Figura 11), foi observada diferença significativa no segundo teste ($p=0,02$), sendo que o Placebo apresentou uma maior variação entre a força máxima e mínima, ou seja, houve uma menor manutenção da força durante esse teste. Nos outros dois testes não foram evidenciadas diferenças significativas.

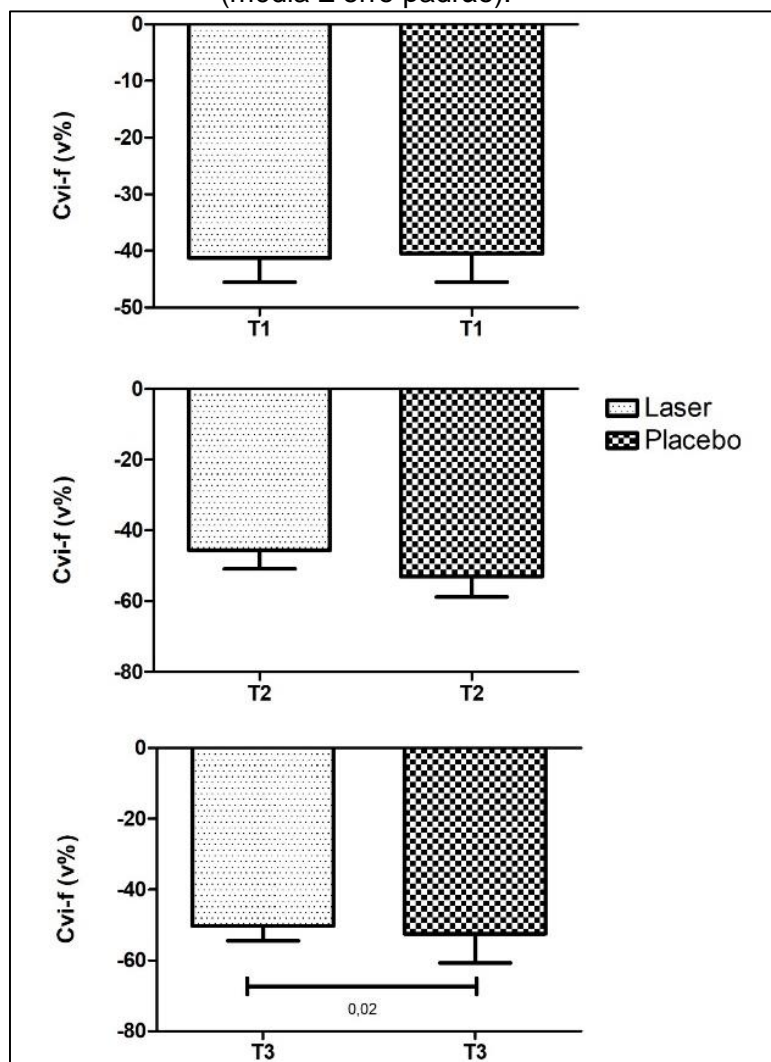
Figura 11 - Avaliação da variação entre a Força máxima com a mínima (média \pm erro padrão).



Legenda: T1= teste 1; T2= teste 2; T3= teste 3.

Observa-se na figura 12, a análise da Cvi-f (%) entre o Laser vs. Placebo, observando-se uma maior variação do Placebo no último teste em relação ao Laser ($p=0,02$). Demonstrando expressiva redução no placebo durante a execução do teste (50 segundos).

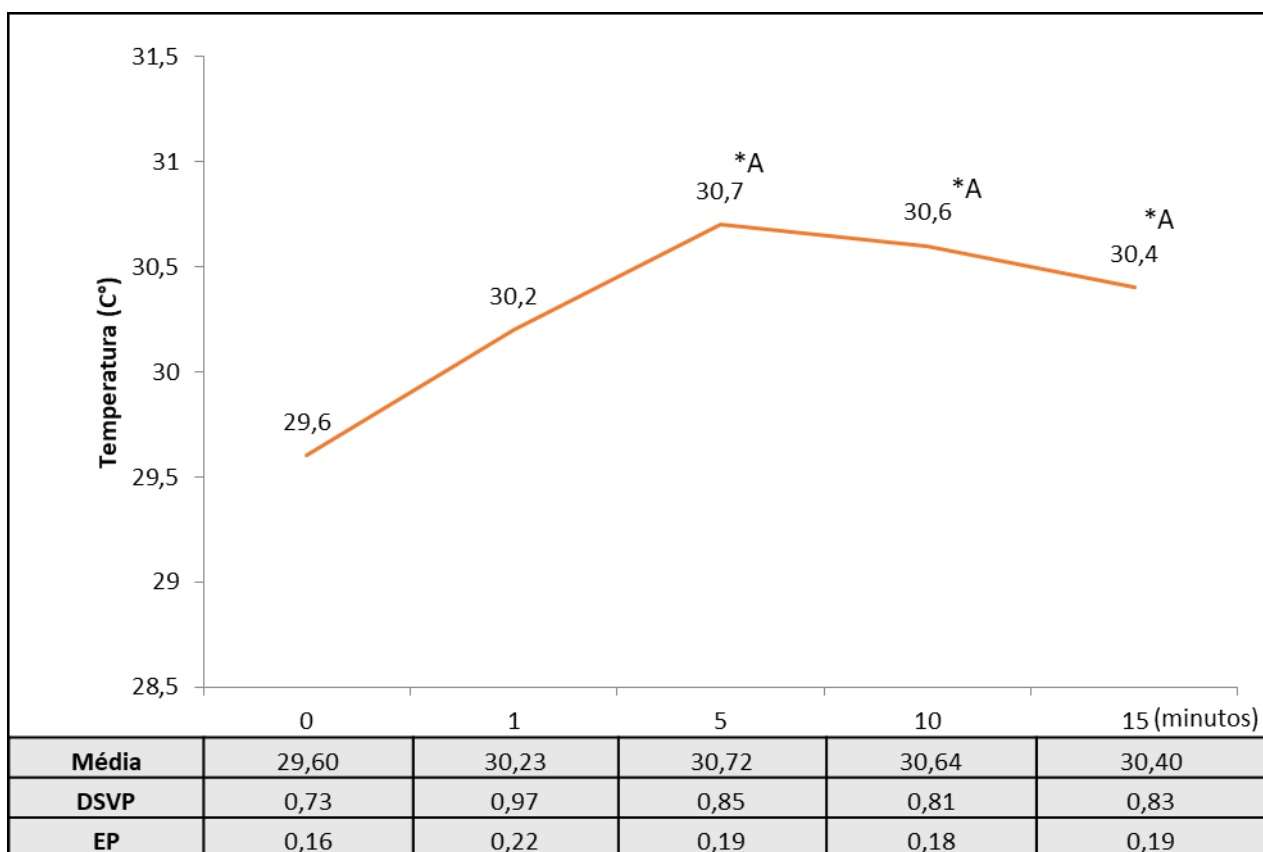
Figura 12 - Mensuração da variação da força nos instantes iniciais com os finais (Cvi-f) (média \pm erro padrão).



Legenda: T1= teste 1; T2= teste 2; T3= teste 3.

5.3 ANÁLISE POR TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA (INTRAGRUPPO)

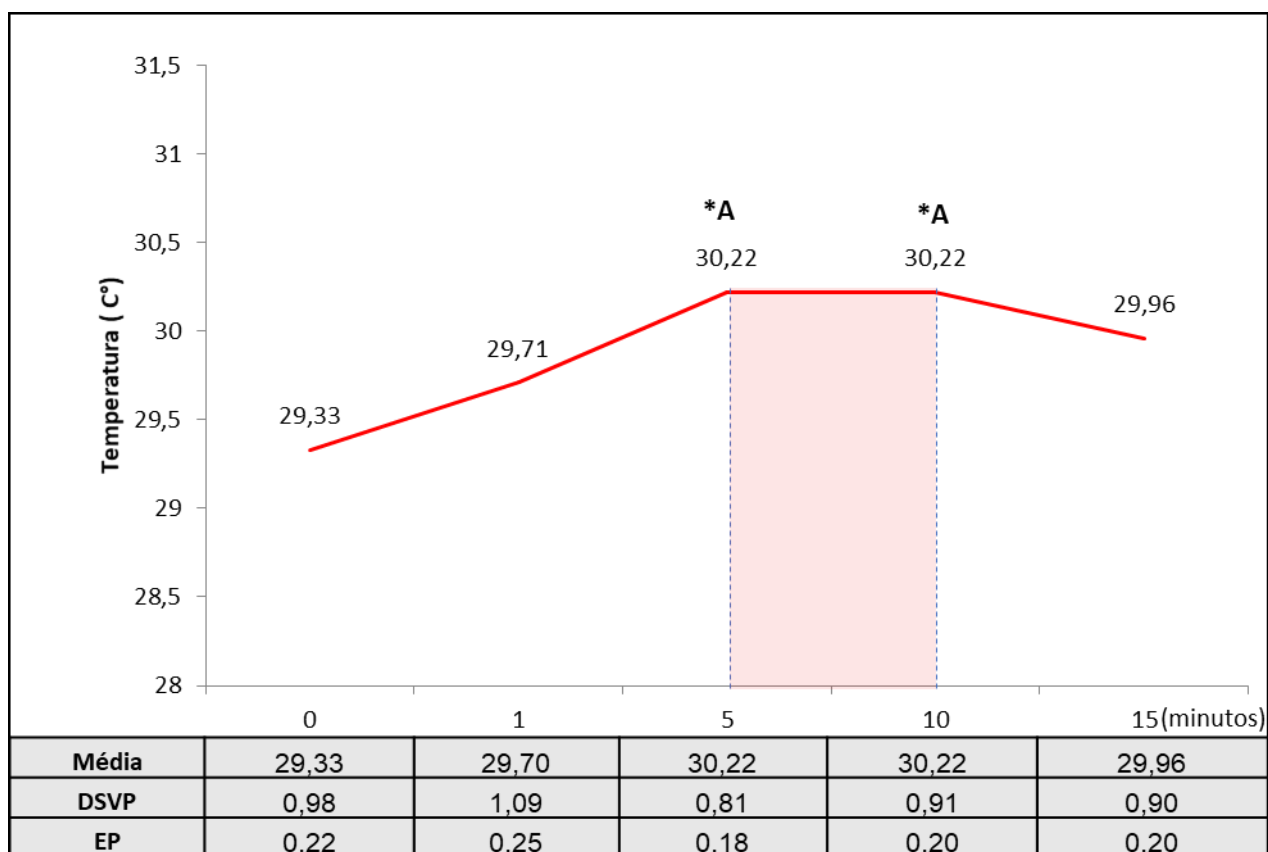
Na avaliação do Controle (Figura 13) é possível observar o aumento da temperatura até os primeiros cinco minutos, em seguida de uma diminuição da temperatura (10 e 15 minutos). A análise intragrupo revelou que o aumento registrado nos 5, 10 e 15 minutos foram significativos ($p < 0,05$) em relação ao tempo de 0 minutos.

Figura 13 - Análise do comportamento da temperatura do controle durante os 15 minutos.

Legenda: **A***= Diferença significativa em relação a análise basal (0 minutos) ($p < 0,05$); **DSVP**= Desvio Padrão (\pm); **EP**= Erro padrão (\pm).

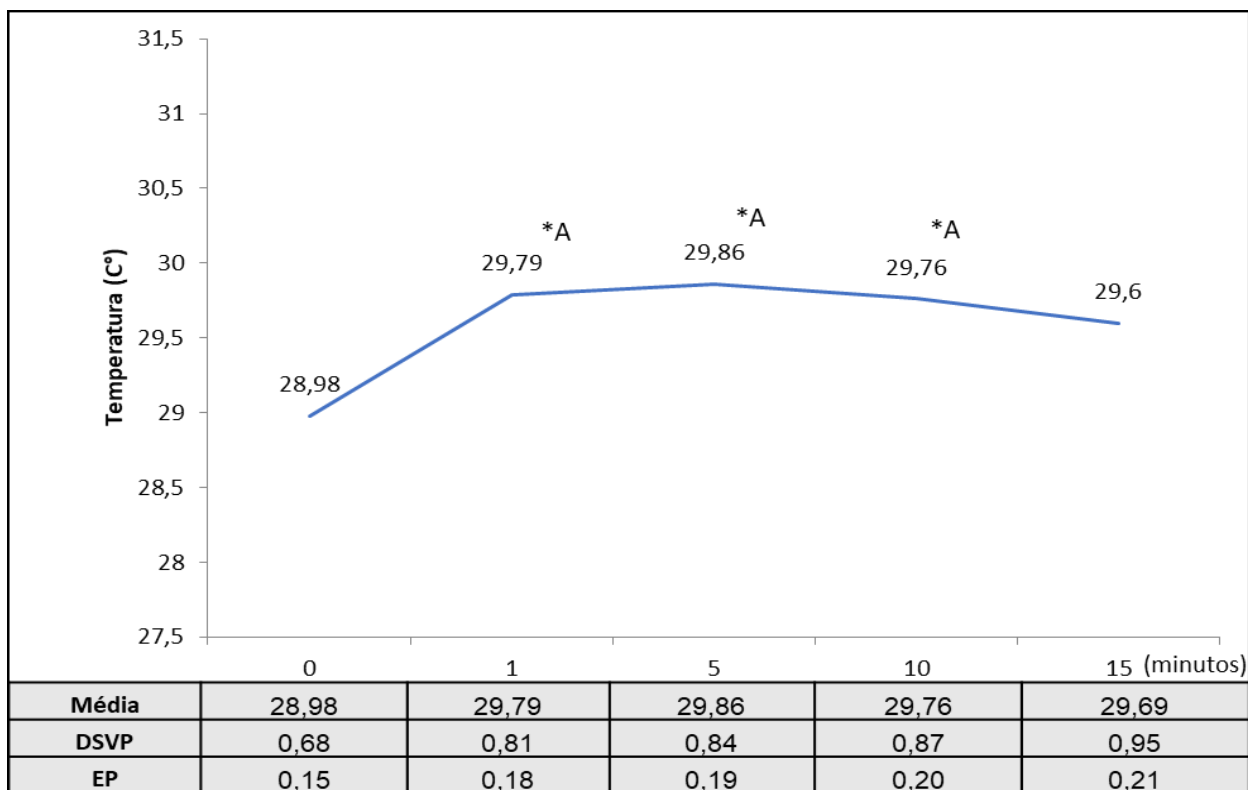
Quando os voluntários foram irradiados, foi evidenciado que houve um aumento da temperatura até os 5 minutos, a qual se manteve constante até os 10 minutos. A área de manutenção da temperatura, dos 5 aos 10 minutos, apresentou aumento significativo ($p < 0,05$) em relação aos 0 minutos. Na figura 14 é apresentada a análise do comportamento da temperatura, na qual é possível verificar, na área em destaque (cor vermelha), o período da manutenção de temperatura.

Figura 14 - Avaliação intragrupo dos voluntários que foram irradiados (fotobiomodulação).



Legenda: **A***= Diferença significativa em relação a análise basal (0 minutos) ($p < 0,05$); **DSVP**= Desvio Padrão (\pm); **EP**= Erro padrão (\pm); **Área em destaque (---)** = período da manutenção de temperatura.

Observa-se na figura 15 a análise do grupo Placebo, constatando-se um aumento da temperatura até os 10 minutos e uma ligeira redução após esse período. Os intervalos de 1, 5 e 10 minutos demonstraram aumento significativo ($p < 0,05$) comparado aos 0 minutos.

Figura 15 - Avaliação do Placebo da temperatura por infravermelho.

Legenda: **A***= Diferença significativa em relação a análise basal (0 minutos) ($p < 0,05$); **DSVP**= Desvio Padrão (\pm); **EP**= Erro padrão (\pm).

5.3 ANÁLISE POR TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA (INTERGRUPOS)

Na avaliação entre os grupos (Tabela 5), foi verificado que o controle apresentou as maiores temperaturas em todos os períodos analisados, seguindo do Laser e Placebo.

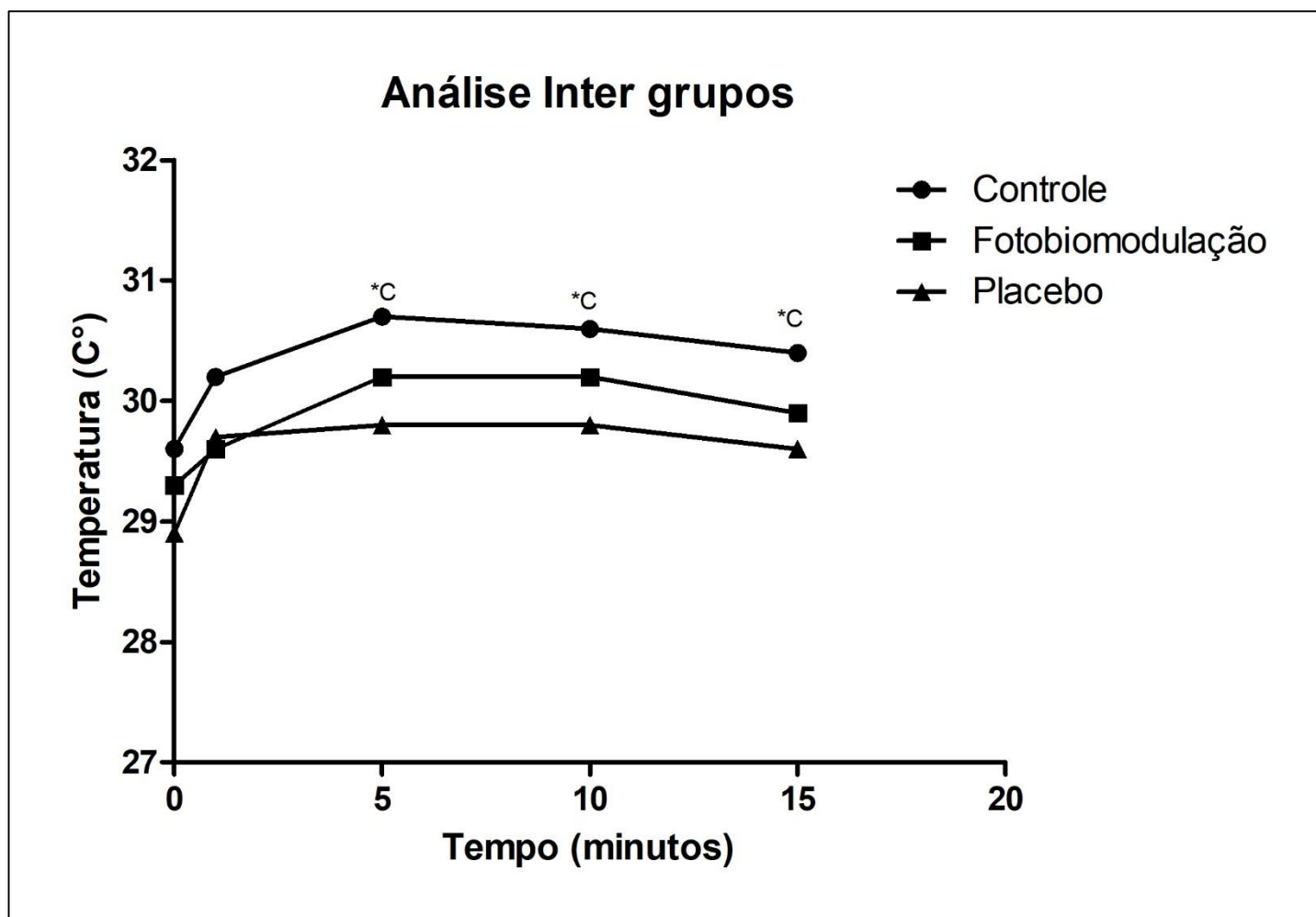
Tabela 5 - Análise intergrupos da temperatura durante os 15 minutos (média \pm erro padrão).

Tempo (minutos)	Grupos			AIE		
	Controle	Laser	Placebo	C-L	C-P	L-P
0	29,6 \pm 0,17	29,3 \pm 0,23	28,9 \pm 0,16	ns	ns	ns
1	30,2 \pm 0,22	29,6 \pm 0,25	29,7 \pm 0,19	ns	ns	ns
5	30,7 \pm 0,20	30,2 \pm 0,19	29,8 \pm 0,19	ns	↓*	ns
10	30,6 \pm 0,19	30,2 \pm 0,21	29,7 \pm 0,21	ns	↓*	ns
15	30,4 \pm 0,19	29,9 \pm 0,21	29,6 \pm 0,22	ns	↓*	ns

Legenda: **AIE**= Análise intergrupos; **C-L**= Controle vs. Laser; **C-P**= Controle vs. Placebo; **L-P**= Laser vs. placebo; **ns**= diferença não significativa ($p > 0,05$); **↓***= redução significativa ($p < 0,05$).

Na figura 16 é possível observar que o placebo apresentou uma redução significativa de temperatura em relação ao controle aos 5, 10 e 15 minutos ($p < 0.05$). Já os voluntários irradiados não evidenciaram nenhuma diferença significativa com os demais grupos.

Figura 16 - Análise intergrupos da temperatura durante os 15 minutos.



Legenda: C* = Diferença significativa do controle para o Placebo ($p < 0,05$)

6 DISCUSSÃO

No presente estudo a PBMT foi aplicada sobre o músculo braquial antes da realização de protocolos de fadiga, sendo que a avaliação dos resultados foram realizados pelas análises de temperatura (termografia) e de força (dinamometria). Bartuzi, Roman Liu e Wisniewski (2012) também investigaram a fadiga muscular por protocolos de CIVM e constataram ser um método eficaz para a análise da força muscular e do seu declínio, ocasionado pela FM. Entretanto, até o presente momento nenhum estudo fez a associação da PBMT com a análise de força e termografia.

De acordo com Souza *et al.* (2020b) as câmeras termográficas são capazes de gerar imagens pela detecção de luz infravermelha. Essa luz identifica o calor dissipado pelo corpo e fornece esse dado por meio de imagens, tornando possível a visualização de mudanças na temperatura corporal provenientes de alterações do fluxo sanguíneo.

Dentro desta premissa, o emprego do dinamômetro e da termografia infravermelha pode ser de suma importância para elucidação dos reais efeitos e mecanismos da PBMT sobre o sistema musculoesquelético, além de suas consequências no ato motor e na termorregulação corporal (DORNELLES *et al.*, 2019). Deste modo, o objetivo do presente estudo foi de verificar a influência da PBMT na fadiga muscular e na temperatura do bíceps braquial, por meio da termografia infravermelha.

Em nossa análise intragrupo da capacidade da força, foi verificado um decréscimo nos valores no decorrer dos testes. Segundo Vassão *et al.* (2020a), esse decréscimo de performance pode ser denominada de FM, que ocasiona o declínio da capacidade de um músculo de gerar e/ou manter a força mecânica (COSTA *et al.*, 2018; PESSOA *et al.*, 2018).

Essa condição pode ocorrer pela diminuição da capacidade nervosa de gerar um sinal neural (fadiga neural), da capacidade de contração da fibra muscular (fadiga periférica) e pela redução da perfusão do sangue e de energia disponível. Isso leva a uma diminuição na força muscular, que influencia na execução dos movimentos, desempenho de treinamento, comprometimento do controle motor, dor muscular, e distúrbios musculoesqueléticos (COSTA *et al.*, 2018; PESSOA *et al.*, 2018; VASSÃO

et al. 2020b). Portanto, foi eminente a instauração da FM em todos os protocolos experimentais.

Na análise entre os grupos, foi possível observar que duas variáveis da força obtiveram diferenças significativas (Vfx-vfm% e Cvi-f%) para o grupo placebo. Tanto a Vfx-vfm% como Cvi-f% expressaram valores menores que o placebo, refletindo a manutenção da força aplicada no teste. Visto que quanto maior o valor dessas variáveis, menor é a capacidade do voluntário em manter a força aplicada durante os testes. Com esses achados é possível inferir que o grupo que recebeu a PBMT obteve maior índice de manutenção da força, ou seja, os voluntários apresentaram melhor desempenho.

Em concordância com resultados encontrados no presente estudo, Tsuk *et al.* (2020), ressaltam que a PBMT, provenientes de Lasers e/ou de diodos emissores de luz (LEDs), têm sido empregada amplamente nas últimas duas décadas para o aumento do desempenho muscular em humanos devido aos seus efeitos positivos. Dentre os principais efeitos da PBMT sobre o desempenho muscular são destacados o aumento/manutenção da força muscular e a resistência a FM (COSTA *et al.*, 2015; DELPASSO, 2017).

De Oliveira *et al.* (2017), atribuem esses efeitos positivos a estimulação do citocromo c-oxidase que são moléculas encontradas nas mitocôndrias celulares e participam ativamente da fosforilação oxidativa, aumento assim, a síntese de ATP e o metabolismo celular. O aumento da ATP fornece mais energia para os músculos e, paralelamente, diminui o estresse oxidativo e a produção reativa de espécies de oxigênio (DE OLIVEIRA *et al.*, 2017; LANFERDINI *et al.*, 2017). O que de fato pode explicar os resultados encontrados neste estudo.

Ao analisarmos a temperatura corporal, foi possível observar que todos os grupos (controle, placebo e Laser) obtiveram aumento significativo da temperatura corporal, principalmente em relação a temperatura basal com a de 5 minutos após o teste de força. Machado *et al.* (2017), reportam que a prática da atividade física pode aumentar a temperatura corporal de forma significativa em comparação com a temperatura de repouso. Sendo esse aumento de temperatura decorrente da contração muscular e da ativação do hipotálamo que estimula a vasodilatação das artérias, aumento o suporte de nutrientes para a região em questão.

Na análise intergrupos, foi verificado que o grupo controle apresentou as maiores temperaturas em todos os períodos, indicando que os voluntários exerceram um maior esforço em comparação com o Placebo e o Laser, e conseqüentemente, um maior índice de FM.

Visto que o corpo humano precisa manter a temperatura estável, em torno de 37°C, utilizando-se de mecanismos neurais e cardiovasculares. Sendo assim, indivíduos que apresentem comorbidades cardiovasculares ou/e FM em excesso podem apresentar os mecanismos de termorregulação prejudicados (DAMATTO CEZAR; SANTOS, 2019).

Em outro resultado, o grupo placebo apresentou uma redução significativa da temperatura em relação ao controle nos períodos de análises 5, 10 e 15 minutos. Esses achados podem ser explicados pelo estímulo psicológico, possivelmente proveniente da aplicação do placebo. Segundo Machado *et al.* (2017), fatores mentais também são responsáveis pelo controle da temperatura corporal, sendo que este é drasticamente influenciado pela frequência cardíaca e pressão arterial. Maciel *et al.* (2013), ao analisarem jogadores de volleyball constataram uma melhora significativa no desempenho do grupo placebo atribuído a simulação do PBMT. Denota-se, que efeitos atribuídos à estímulo psicológico derivado da simulação da aplicação de PBMT, já é reportado pela literatura.

Outro resultado importante encontrado na presente pesquisa, foi o fato de o grupo Laser não ter demonstrado nenhuma diferença significativa com os demais grupos, ou seja, com a irradiação não houve uma variação brusca de temperatura comparado aos demais grupos. Isso pode indicar que houve uma demanda energética satisfatório durante a ação muscular, provavelmente decorrente do aumento do ATP disponível para a contração muscular, favorecendo todo o metabolismo celular e a termorregulação.

Corroborando, Pinto *et al.* (2016), descrevem todos os benefícios da aplicação FBMT sobre a atenuação da FM e o aumento de performance sem gerar qualquer efeito térmico ao tecido. Costa *et al.* (2021), em seus estudos clínicos, também reportam o reequilíbrio neuromuscular em pacientes que apresentavam FM crônica, decorrente da desordem temporomandibular, após a PBMT.

Os resultados sugerem que PBMT teve um efeito positivo na atenuação da FM e na termorregulação corporal. Entretanto, apesar dos achados positivos observados

ao longo desta análise, é necessário apontar a necessidade de mais investigações com maior número de voluntários, diferentes parâmetros e protocolos.

7 CONCLUSÃO

No presente estudo, podemos concluir o seguinte:

- A PBMT aplicada no músculo bíceps braquial de indivíduos hígidos, durante a realização de protocolos de fadiga, promoveu a atenuação da FM;

- A análise da força muscular demonstrou que os voluntários irradiados apresentaram menor variação durante os protocolos testados, sugerindo otimização do desempenho muscular;

- A PBMT contribuiu para a melhora da termorregulação corporal, avaliado pela termografia infravermelha, durante os protocolos de FM.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE-PONTES, G.M. *et al.* Effect of pre-irradiation with different doses, wavelengths, and application intervals of low-level laser therapy on cytochrome c oxidase activity in intact skeletal muscle of rats. **Lasers Med Sci.**, v.30, n. 1, p. 59-66, 2015. doi: 10.1007/s10103-014-1616-2.
- ANDERS, J. J. *et al.* Light-Emitting Diode Therapy and Low-Level Light Therapy Are Photobiomodulation Therapy. **Photobiomodul. Photomed. Laser Surg.**, v. 37, n.2, p. 63-65, 2019. doi:10.1089/photob.2018.4600.
- BARTUZI, P.; ROMAN-LIU, D; WISNIEWSKI, T. The Influence of Fatigue on Muscle Temperature. **International journal of occupational safety and ergonomics**, v. 18, n. 2, p. 233-243, 2012.
- BERSOTTI, F. M. *et al.* Efeito de um protocolo experimental de fadiga aplicado ao músculo quadríceps femoral de pessoas fisicamente ativas. **Motriz: rev. educ.fis.**, Rio Claro, v. 25, n.4, e10190109, 2019.
- BOCCIA, G. *et al.* Central and peripheral fatigue in knee and elbow extensor muscles after a long-distance cross-country ski race. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 27, n. 9, p. 945–955, 2016. DOI:10.1111/sms.12718.
- CÔRTE, A.C.R.; HERNANDEZ, A.J. Termografia médica infravermelha aplicada à medicina do esporte. **Rev. Bras. Med. Esporte**, v.22, n.4, p.315-319, 2016.
- COSTA, D. R. **Efeito da terapia a laser de baixa intensidade sobre o desempenho muscular do bíceps braquial em praticantes de musculação.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2016.
- COSTA, D. R. *et al.* Wavelet transformed in the analysis of LED therapy effect on the activity of masseter muscles in women with temporomandibular disorder. **Sci. Med.**, v. 28, n. 2, p. ID29045, 2018. doi: <http://doi.org/10.15448/1980-6108.2018.2.29045>
- COSTA, D. R. *et al.* Bases fisiopatológicas da aplicação da terapia a laser de baixa intensidade no herpes zoster e neuralgia pós-herpética com acometimento orofacial. **Revista Univap**, v.23, n. 43, p.26-32, 2017.
- COSTA, D. R. *et al.* Efeito da fototerapia de baixa intensidade na fadiga muscular em humanos - revisão de literatura. *In*: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 19., ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 15., 2015, São José dos Campos. **Anais eletrônico [...]**. São José dos Campos: Univap, 2015. Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2015/ Acesso em: 14 fev. 2021.
- COSTA, D.R. *et al.* Orofacial evaluation of individuals with temporomandibular disorder after LED therapy associated or not of occlusal splint: a randomized double-blind controlled clinical study. **Lasers Med Sci.** 2021. <https://doi.org/10.1007/s10103->

021-03269-2

COUTO, P. G. **Efeito da cafeína no desempenho e na fadiga central e periférica em diferentes modelos de exercício aeróbio de alta intensidade**. 2017. Tese (Doutorado) Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

DA CUNHA, R. A. *et al.* Photobiomodulation therapy and NMES improve muscle strength and jumping performance in young volleyball athletes: a randomized controlled trial study in Brazil., **Lasers Med. Sci.**, v.35, n.3, p.621-631, 2020. Doi:10.1007/s10103-019-02858-6.

DA SILVA, W. *et al.* Can exercise-induced muscle damage be related to changes in skin temperature? **Physiol Meas.** v. 39, p.104007, 2018. DOI: 10.1088/1361-6579/aae6df

DAMATTO, R. L.; CEZAR, M. D. M.; SANTOS, P. P. Control of Body Temperature during Physical Exercise. **Arq. Bras. Cardiol.**, v.112, n.5, p.543-544, 2019. Disponível em: https://scihub.se/http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0066-782X2019000500543&lng=en&nrm=iso Acesso em: 14 fev. 2021. <https://scihub.se/https://doi.org/10.5935/abc.20190081>.

DELLAGRANA, R. A. *et al.* Photobiomodulation Therapy on Physiological and Performance Parameters During Running Tests. **Journal of Strength and Conditioning Research**, 32, n. 10, p. 2807-2815, 2018. doi:10.1519/jsc.0000000000002488.

DELPASSO, C. A. **Desempenho muscular em praticantes de musculação após o uso da terapia a laser de baixa intensidade**: estudo clínico controlado duplo-cego randomizado. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2017.

DE OLIVEIRA, A. R. *et al.* Pre-Exercise Infrared Photobiomodulation Therapy (810 nm) in Skeletal Muscle Performance and Postexercise Recovery in Humans: What Is the Optimal Power Output? **Photomedicine and Laser Surgery**, v. 35, n. 11, p. 595–603, 2017. DOI:10.1089/pho.2017.4343.

DORNELLES, M. P. *et al.* Photobiomodulation therapy as a tool to prevent hamstring strain injuries by reducing soccer-induced fatigue on hamstring muscles. **Lasers in Medical Science**, v.34, n.6, p.1177-1184, 2019. doi:10.1007/s10103-018-02709-w.

FERNÁNDEZ-CUEVAS, I. *et al.* Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. **Infrared Physics & Technology**, v.71, p.28-55, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2015.02.007>

FERRARESI, C. *et al.* Time response of increases in ATP and muscle resistance to fatigue after low-level laser (light) therapy (LLLT) in mice. **Lasers Med Sci.**, v. 30, p. 1259–1267, 2015. DOI 10.1007/s10103-015-1723-8.

FERRARESI, C. *et al.* Effects of Light-Emitting Diode Therapy on Muscle

Hypertrophy, Gene Expression, Performance, Damage, and Delayed-Onset Muscle Soreness. **American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation**, v. 95, n.10, p. 746–757, 2016.

GÓMEZ-CARMONA, P. *et al.* Infrared Thermography Protocol on Reducing the Incidence of Soccer Injuries. **J. Sport Rehabil.**, v. 29, n. 8, p.1222-1227, 2020.

HEO, Y. R. *et al.* Third head of the biceps brachii muscle originated from the greater tubercle connecting long and short heads: A case report. **Int. J. Morphol.**, v. 38, n. 1, p. 23-25, 2020.

KAKIHATA, M. M. C. Influência do laser de baixa potência no salto vertical em indivíduos sedentários. **Einstein**.v.13, n.1, p. 41-6, 2015.

LANFERDINI, F. J. *et al.* Low-level laser therapy improves the VO₂ kinetics in competitive cyclists. **Lasers in Medical Science**, v. 33, n.3, p.453–460, 2017. DOI:10.1007/s10103-017-2347-y.

LEAL JR., E. C. *et al.* A laserterapia de baixa potência melhora o desempenho muscular mensurado por dinamometria isocinética em humanos. **Fisioter. Pesqu.**, São Paulo, v.17, n.4, p.317-21, out/dez. 2010.

LEHNEN, G. C. **Efeitos da fadiga muscular localizada na estabilidade e na variabilidade da marcha de mulheres jovens praticantes e não praticantes de musculação**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde) Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

LIPPERT, L. S. **Cinesiologia Clínica e Anatomia**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

LOPES-MARTINS, R. A. B. *et al.* Effect of low-level laser (Ga-Al-As 655nm) on skeletal muscle fatigue induced by electrical stimulation in rats. **J. Appl. Physiol.**, v.101, n.1, p.283-288, 2006.

MACHADO, A. *et al.* Sweat rate measurements after high intensity interval training using body weight. **Rev Bras Med Esporte**, v.24, n.3, p.197-201, 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-86922018000300197&lng=en&nrm=iso. Acesso em 14 fev. 2021. <https://doi.org/10.1590/1517-869220182403178641>.

MACIEL, T. S. *et al.* Phototherapy effect on the muscular activity of regular physical activity practitioners. **Lasers Med. Sci.**, v.29, p. 1145–1152, 2014. DOI 10.1007/s10103-013-1481-4.

MACIEL, T. S. *et al.* A influência do laser 830nm no desempenho do salto de atletas de voleibol. **Rev. Bras. Eng. Biom.**, v.29, n.2, 199-205, 2013.

MAIOR, A. S. *et al.* Profile of infrared thermography in elite soccer players. **Motriz: Revista de Educação Física**, v. 23, n. 2, p. e101654, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1980-6574201700020013>

MARINS, J. C. B. *et al.* Aplicaciones de la termografía infrarroja en el deporte. Una revision. **Rev. int. med. Cie .act. fís. deporte**, v. 15, n. 60, p. 805-824, 2015. Disponível em: <Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista60/artaplicaciones594.htm>

MCARDLE, W.D.; KATCH, F.I.; KATCH, V.L. **Fisiologia do Exercício: Nutrição, energia e desempenho humano**. 8ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

NETTER, F. H. **Netter Atlas de anatomia humana**. 5.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

NOVOTNY, J. A. N. *et al.* The influence of breaststroke swimming on the muscle activity of young men in thermographic imaging. **Acta of Bioengineering and Biomechanics**. n.17, v.2, p.121-129, 2015.

ORSSATTO, L. B. R. *et al.* Photobiomodulation Therapy Does Not Attenuate Fatigue and Muscle Damage in Judo Athletes: A Randomized, Triple-Blind, Placebo-Controlled Trial. **Frontiers in Physiology**, v.10, 2019. DOI:10.3389/fphys.2019.00811.

PRIANTI, B. M. *et al.* Evaluation of the therapeutic effects of led ($\lambda 627 \pm 10$ nm) on the initial phase of ankle sprain treatment: a randomised placebo-controlled clinical trial. **Lasers Med Sci.**, v. 33, n. 5, p. 1031-1038, 2018. DOI: 10.1007/s10103-018-2460-6

STAMBOROWSKI, S. F. *et al.* A Comprehensive Review on the Effects of Laser Photobiomodulation on Skeletal Muscle Fatigue in Spastic Patients. **International Journal of Photoenergy**, v. 2021, ID5519709, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1155/2021/5519709>

PAQUETTE, M.R. *et al.* Soreness-related changes in three-dimensional running biomechanics following eccentric knee extensor exercise. **Eur. J. Sport Sci.**, v. 17, n. 5, p. 546-54, 2017.

PANHOCA, V. H. *et al.* Comparative clinical study of light analgesic effect on temporomandibular disorder (TMD) using red and infrared led therapy. **Lasers Med Sci.**, v. 30, n. 2, p. 815-22, 2015. doi: 10.1007/s10103-013-1444-9

PESSOA, D. R. *et al.* Association of facial massage, dry needling, and laser therapy in Temporomandibular Disorder: case report. **Codas**, v. 30, n. 6, p. e20170265, 2018. doi:10.1590/2317-1782/20182017265

PINTO, H. D. *et al.* Photobiomodulation Therapy Improves Performance and Accelerates Recovery of High-Level Rugby Players in Field Test. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 30, n. 12, p. 3329–3338, 2016. doi:10.1519/jsc.0000000000001439

REIS, R. C. M. Immediate effects of low-intensity laser (808 nm) on fatigue and strength of spastic muscle. **Lasers Med. Sci.**, v.30, p. 1089–1096, 2015. DOI 10.1007/s10103-014-1702-5.

ROSSATO, M. *et al.* Time Response of Photobiomodulation Therapy on Muscular Fatigue in Humans. **J. Strength Cond. Res.**, v.32, n.11, p.3285-3293, 2018., doi:10.1519/jsc.0000000000002339.

SANTAMARIA, L. J.; WEBSTER K.E. The effect of fatigue on lower-limb biomechanics during single-limb landings: a systematic review. **J. Orthop. Sports Phys. Ther.**, v. 40, n. 8, p.464-73, 2010. doi: 10.2519/jospt.2010.3295.

SANTANA, P.V.A. **Correlação entre termografia infravermelha e marcadores de dano muscular após protocolo de saltos em ambiente controlado.** 2018. Dissertação (Mestrado em Educação Física) Universidade Federal do Maranhão, São Luiz, 2018.

SANTOS, R.M.C. *et al.* Análise termográfica dos esforços no futsal. **Coleção Pesquisa em Educação Física**, Várzea Paulista, v.16, n.1, p.15-22, 2017.

SANTOS, R. F. *et al.* Avaliação do índice de fadiga muscular de flexores e extensores de joelho em indivíduos ativos e sedentários. **Revista Brasileira de Ciências Do Esporte**, v. 42, p. 2e2008, 2020. DOI:10.1016/j.rbce.2018.10.002.

SOUZA, G. A, S. **Análise dos efeitos da fotobiomodulação na fadiga do músculo bíceps braquial: avaliação por eletromiografia de superfície e dinamometria.** Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Engenharia Biomédica da Universidade do Vale do Paraíba. 2020a

SOUZA, M. C. I. *et al.* Efeitos da massagem desportiva na temperatura corporal e na agilidade em mulheres praticantes de handebol. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 6, p.39682-39692, jun. 2020b.

TOMAZONI, S. S. *et al.* Infrared Low-Level Laser Therapy (Photobiomodulation Therapy) before Intense Progressive Running Test of High-Level Soccer Players: Effects on Functional, Muscle Damage, Inflammatory, and Oxidative Stress Markers—A Randomized Controlled Trial. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2019, 2019. DOI: 10.1155/2019/6239058,

TSUK, S. *et al.* Does Photobiomodulation Therapy Enhance Maximal Muscle Strength and Muscle Recovery? **J. Hum. Kinet.**, v.73, p.135-144, 2020. doi: 10.2478/hukin-2019-0138. PMID: 32774545; PMCID: PMC7386143.

VAN DRIESSCHE, S. *et al.* Test-retest reliability of knee extensor rate of velocity and power development in older adults using the isotonic mode on a Biodex System 3 dynamometer. **PLoS One**, v. 13, n.5, p.e0196838, 2018. doi: 10.1371/journal.pone.0196838.

VASSÃO, P. G. *et al.* Photobiomodulation Effects Through a Cluster Device on Skeletal Muscle Fatigue of Biceps Brachii in Young and Healthy Males: A Randomized Double-Blind Session. **Photobiomodul. Photomed. Laser Surg.**, v. 38, n. 12, p. 773-779, 2020a. doi: 10.1089/photob.2019.4786.

VASSÃO, P. G. *et al.* Level of pain, muscle strength and posture: effects of PBM on an exercise program in women with knee osteoarthritis - a randomized controlled trial.

Lasers Med Sci. v. 35, n. 9, p.1967-1974, 2020b. doi: 10.1007/s10103-020-02989-1.

ANEXO A: 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 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