

Universidade Estadual do Norte do Paraná

Repositório Institucional UENP

<https://repositorio.uenp.edu.br>

Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano Dissertações

2024-08-14

# Efeito agudo da Terapia de Fotobiomodulação sobre a resistência muscular: uma revisão sistemática e meta-análise

Aguirra, Pablo

Universidade Estadual do Norte do Paraná

<https://repositorio.uenp.edu.br/handle/123456789/382>

*Baixado de Repositório Institucional UENP*

PABLO AGUIRRA



**EFEITO AGUDO DA TERAPIA DE  
FOTOBIMODULAÇÃO SOBRE A  
RESISTÊNCIA MUSCULAR: UMA REVISÃO  
SISTEMÁTICA E META-ANÁLISE**

# **EFEITO AGUDO DA TERAPIA DE FOTOBIMODULAÇÃO SOBRE A RESISTÊNCIA MUSCULAR: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA E META-ANÁLISE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano – PPGCMH/UENP, do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Estadual do Norte do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências do Movimento Humano.

Orientador(a): Prof. Dr. Andreo Fernando Aguiar

Ficha catalográfica elaborada por Lidia Orlandini Feriato Andrade, CRB 9/1556, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UENP

A284e Aguirra, Pablo  
Efeito agudo da Terapia de Fotobiomodulação sobre a resistência muscular: uma revisão sistemática e meta-análise / Pablo Aguirra; orientador Andreo Fernando Aguiar - Jacarezinho, 2024.  
53 p. :il.

Dissertação (Mestrado Acadêmico CMH) - Universidade Estadual do Norte do Paraná, Centro de Ciências da Saúde, Programa de Pós-graduação em Ciências do Movimento Humano, 2024.

1. Número de repetições. 2. Diodos emissores de luz. 3. Fototerapia. 4. Desempenho. 5. Laser. I. Aguiar, Andreo Fernando, orient. II. Título.

CDD: 615.831

PABLO AGUIRRA

**EFEITO AGUDO DA TERAPIA DE FOTOBIMODULAÇÃO  
SOBRE A RESISTÊNCIA MUSCULAR: UMA REVISÃO  
SISTEMÁTICA E META-ANÁLISE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano – PPGCMH/UENP, do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Estadual do Norte do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências do Movimento Humano.

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Andreo Fernando Aguiar  
Universidade Estadual do Norte do Paraná

---

Prof. Dr. Raphael Gonçalves de Oliveira  
Universidade Estadual do Norte do Paraná

---

Prof. Dr. Juliano Cassonatto  
Universidade Pitágoras Anhanguera UNOPAR

Jacarezinho, 14 de agosto de 2024

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho a Deus, sem ele eu não teria capacidade para desenvolver este trabalho e, a minha família, minha base para o resultado do esforço realizado durante o percurso.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, por me fortalecer, me ajudar, e sempre me segurar com a sua mão direita vitoriosa. A Deus toda Honra e Glória.

Agradeço, a minha família, minha vida, minha esposa Franciele, Minhas filhas Maria Clara e Eduarda, minha Mãe Ana Silvia, e meus irmãos Diego e Luana. O bem mais precioso, não é o que nós temos na vida, mas quem nós temos em nossas vidas que importa. Amo minha família.

E não posso deixar de agradecer ao Professor e orientador Prof. Dr. Andreo Fernando Aguiar e também a Professora e orientadora Prof. Me. Ana Paula do Nascimento, sempre prontos, me ajudando e orientando com maestria. Obrigado por toda paciência, todos conselhos, ensinamentos e momentos que compartilhamos juntos.

Agradeço também aos componentes da banca, Prof. Dr. Raphael Gonçalves de Oliveira e ao Prof. Dr. Juliano Cassonato pelas orientações, correções, sugestões e ensinamentos.

## RESUMO

**Objetivo:** A proposta deste trabalho foi conduzir uma meta-análise para investigar os possíveis efeitos da terapia de fotobiomodulação (TFBM), e a influência de potenciais fatores moderadores (fonte de luz [laser *vs.* diodos emissores de luz, LEDs], membro tratado [m. superior *vs.* m. inferior], sexo [homens *vs.* mulheres], e dose irradiada), sobre o número de repetições máximas em exercício resistidos em adultos saudáveis. **Métodos:** Uma pesquisa eletrônica foi conduzida nas bases de dados *PubMed*, *Web of Science*, *Scopus*, *SportDiscus*, *CENTRAL* e *Embase*, até maio de 2024. Os critérios de elegibilidade foram determinados pelo método PICO. O risco de viés dos estudos incluídos foi analisado por meio da ferramenta RoB 2, e a qualidade/certeza da evidência foi determinada pelo sistema GRADE. Os dados foram agrupados usando o modelo de efeito fixo, e expressos como diferença média padronizada (DMP) e intervalo de confiança de 95% (IC 95%). **Resultados:** Treze estudos foram incluídos na análise ( $n = 186$  participantes). Houve um efeito global a favor da TFBM, comparado ao placebo (DMP<sub>95%</sub> = 0,44,  $p < 0,0001$ ). Houve um efeito significativo a favor do laser, comparado ao placebo (DMP<sub>95%</sub> = 0,53,  $p < 0,0001$ ), mas não a favor dos LEDs (DMP<sub>95%</sub> = 0,22,  $p = 0,28$ ). Na comparação entre os subgrupos, não houve diferença significativa entre o laser *vs.* LEDs (interação,  $p = 0,15$ ). Houve um efeito significativo da TFBM em ambos os membros inferiores (DMP<sub>95%</sub> = 0,36,  $p = 0,013$ ) e superiores (DMP<sub>95%</sub> = 0,54,  $p < 0,001$ ), comparados ao placebo. Na comparação entre os subgrupos, não houve diferença significativa nos efeitos da TFBM entre os m. superiores *vs.* inferiores (interação,  $p = 0,36$ ). Houve um efeito significativo da TFBM, comparado ao placebo, nos estudos envolvendo somente homens (DMP<sub>95%</sub> = 0,61,  $p < 0,0001$ ) e homens + mulheres (DMP<sub>95%</sub> = 0,43,  $p = 0,02$ ), mas nenhum efeito foi encontrado nos estudos envolvendo somente mulheres (DMP<sub>95%</sub> = 0,17,  $p = 0,41$ ). Na comparação entre os subgrupos, não houve diferença significativa nos efeitos da TFBM entre os homens *vs.* mulheres *vs.* homens + mulheres (interação,  $p = 0,30$ ). Não houve um efeito dose-resposta da TFBM (*Slope*;  $p = 0,68$ ). **Conclusão:** A TFBM com laser (contrário aos LEDs) aumenta o número de repetições máximas em exercício resistido dinâmico em adultos jovens saudáveis, e este efeito parece não ser dose-dependente. A TFBM é eficaz para ambos os membros do corpo, com maior magnitude de efeito para os músculos do membro superior (bíceps braquial). Além disso, a TFBM apresentou eficácia somente nos estudos que incluíram homens. Os estudos apresentaram classificação boa a excelente, e a qualidade/certeza da evidência foi considerada moderada.

**Palavras-chave:** número de repetições, diodos emissores de luz, fototerapia, desempenho, laser

## ABSTRACT

**Objective:** The purpose of this work was to conduct a meta-analysis to investigate the possible effects of photobiomodulation therapy (PBMT), and the influence of potential moderating factors (light source [laser *vs.* light-emitting diodes, LEDs], treated limb [upper m. *vs.* lower m.], sex [men *vs.* women], and irradiated dose), on the number of maximum repetitions in resistance exercise in healthy adults. **Methods:** An electronic search was conducted in the PubMed, Web of Science, Scopus, SportDiscus, CENTRAL and Embase databases until May 2024. Eligibility criteria were determined using the PICO method. The risk of bias of the included studies was analyzed using the RoB 2 tool, and the quality/certainty of the evidence was determined using the GRADE system. Data were grouped using the fixed effect model and expressed as standardized mean difference (SMD) and 95% confidence interval (95% CI). **Results:** Thirteen studies were included in the analysis ( $n = 186$  participants). There was an overall effect in favor of PBMT, compared to placebo (SMD 95% = 0.44,  $p < 0.0001$ ). There was a significant effect in favor of the laser, compared to placebo (SMD 95% = 0.53,  $p < 0.0001$ ), but not in favor of LEDs (SMD 95% = 0.22,  $p = 0.28$ ). When comparing subgroups, there was no significant difference between laser *vs.* LEDs (interaction,  $p = 0.15$ ). There was a significant effect of TFBM on both lower (SMD 95% = 0.36,  $p = 0.013$ ) and upper limbs (SMD 95% = 0.54,  $p < 0.001$ ), compared to placebo. When comparing subgroups, there was no significant difference in the effects of TFBM between m. superiors *vs.* superiors (interaction,  $p = 0.36$ ). There was a significant effect of TFBM, compared to placebo, in studies involving only men (SMD 95% = 0.61,  $p < 0.0001$ ) and men + women (SMD 95% = 0.43,  $p = 0.02$ ), but no effect was found in studies involving only women (SMD 95% = 0.17,  $p = 0.41$ ). When comparing subgroups, there was no significant difference in the effects of TFBM between men *vs.* men. women *vs.* men + women (interaction,  $p = 0.30$ ). There was no dose-response effect of PBMT (Slope;  $p = 0.68$ ). **Conclusion:** PBMT with laser (opposite to LEDs) increases the number of maximum repetitions in dynamic resistance exercise in healthy young adults, and this effect does not appear to be dose dependent. PBMT is effective for both limbs of the body, with a greater magnitude of effect for the muscles of the upper limb (biceps brachii). Furthermore, PBMT was only effective in studies that included men. The studies were classified as good to excellent, and the quality/certainty of the evidence was considered moderate.

**Keywords:** number of repetitions, light-emitting diodes, phototherapy, performance, laser

## SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT .....	8
1 INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS E HIPÓTESES .....	12
2.1. Objetivo geral.....	12
2.2. Objetivos específicos .....	12
2.3 Hipóteses.....	12
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
3.1 Terapia de Fotobiomodulação: conceitos, dispositivos e parâmetros .....	13
3.2 Mecanismos ergogênicos da terapia de Fotobiomodulação.....	17
3.3 Efeitos da terapia de Fotobiomodulação no número de repetições máximas .....	18
4. REFERÊNCIAS .....	21
5. ARTIGO CIENTÍFICO .....	27
INTRODUÇÃO .....	28
MÉTODOS .....	30
Critérios de elegibilidade .....	30
Pesquisa nas bases de dados .....	31
Seleção dos estudos.....	31
Extração de dados .....	32
Qualidade/certeza da Evidência.....	33
Análise estatística.....	33
RESULTADOS .....	34
Resultados da pesquisa .....	34
Características dos estudos .....	34
Principais resultados .....	38
Risco de viés dos estudos.....	41
Qualidade/certeza da evidência.....	41
DISCUSSÃO .....	43
REFERÊNCIAS.....	47
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	51
APÊNDICE I .....	52

## 1 INTRODUÇÃO

A terapia de Fotobiomodulação (TFBM) é uma terapia de fótons que envolve o uso de formas não ionizantes de fontes de luz, incluindo os lasers e os diodos emissores de luz (do inglês: *light-emitting diodes* [LEDs]), do espectro vermelho (visível) ao infravermelho próximo, a fim de causar alterações fisiológicas e benefícios terapêuticos<sup>1</sup>. A TFBM tem sido postulada como uma potencial estratégia ergogênica para atenuar a fadiga e aumentar a resistência muscular, por meio do aumento da produção aeróbica de energia<sup>2-4</sup>, e da melhora na biodisponibilidade de O<sub>2</sub> e suprimento sanguíneo tecidual<sup>5, 6</sup> via aumento da biodisponibilidade de óxido nítrico (do inglês: *Nitric Oxide* [NO])<sup>7</sup>. A TFBM atua pela interação da luz irradiada com os cromóforos - fotorreceptores (por exemplo, o citocromo c-oxidase [Cox]), localizados na membrana interna das mitocôndrias, resultando no aumento da transferência de prótons H<sup>+</sup> da matriz para o espaço intermembrana<sup>3</sup> e, conseqüentemente, no aumento da síntese de adenosina trifosfato (ATP)<sup>2-4</sup>. Adicionalmente, a luz pode dissociar o NO dos seus locais de ligação nos centros 'heme' de ferro e cobre da Cox e de outros cromóforos (ex: proteínas heme na hemoglobina e mioglobina), onde compete com o oxigênio e atua como um inibidor reversível de Cox em baixas concentrações<sup>7</sup>, modulando a atividade da cadeia de transporte de elétrons<sup>2, 7</sup>. O aumento da biodisponibilidade de NO<sup>7</sup> pode resultar no aumento da vasodilatação e, conseqüentemente, na melhora da microcirculação e oxigenação tecidual<sup>5, 6</sup>. Desta forma, a TFBM tem despertado o interesse de pesquisadores e profissionais da saúde como uma estratégia promissora para aprimoramento dos diversos componentes da aptidão física relacionados à saúde e ao desempenho físico, incluindo a força muscular, a resistência cardiorrespiratória e a resistência muscular localizada (RML).

A RML é definida como a capacidade de resistir à fadiga muscular em atividades de carga submáxima<sup>8</sup>, sendo comumente determinada pelo número máximo de repetições até a falha concêntrica em testes com carga absoluta (ex: carga fixa como 100 kg) ou relativa (ex: carga baseada no %1RM)<sup>9</sup>. A melhoria da RML é crucial para a manutenção de uma boa estabilidade postural por um período prolongado, aumentar a capacidade aeróbica dos músculos ativos, melhorar a aptidão para executar as atividades funcionais da vida diária, assim como melhorar o desempenho físico em esportes relacionados à resistência. Vários ensaios clínicos randomizados (ECR) foram conduzidos com a proposta de examinar os efeitos da TFBM sobre a RML, com alguns estudos relatando efeitos positivos<sup>10-13</sup> e outros efeitos nulos<sup>14-16</sup>. A maioria destas evidências foram compiladas em três estudos prévios de meta-análise<sup>17-19</sup>, que reportaram um efeito significativo a favor da TFBM, comparada ao placebo, sobre parâmetros

relacionados à RML. Por exemplo, Leal-Junior et al. (2015)<sup>18</sup> encontraram um aumento significativo no tempo até a exaustão (diferença média [DM] = 4,12 seg.; 95 % CI 1,21–7,02,  $p < 0,005$ ) e número de repetições máximas (DM = 5,47 rep.; 95% IC, 2,35–8,59,  $p < 0,0006$ ) após o tratamento com TFBM, comparado a condição placebo. Adicionalmente, Vanin et al. (2018)<sup>19</sup> reportaram um efeito significativo a favor da TFBM no tempo até a exaustão (DM = 3,55 seg.; 95% IC, 1,09–6,00,  $p = 0,005$ ) e número de repetições máximas (MD = 4,88; 95% IC, 0,14–9,62,  $p = 0,04$ ), comparado a condição placebo. Mais recentemente, Dutra et al. (2022)<sup>17</sup> também encontraram um efeito positivo da TFBM sobre um compilado de métricas de RML (isto é, número de repetições máximas, tempo até exaustão, e produção de força média em exercícios isométrico e isocinético) em exercícios monoarticulares (DM padronizada = 0,27; 95% IC, 0,12–0,41,  $p < 0,01$ ), comparado a condição placebo.

Apesar destes estudos supracitados mostrarem um efeito positivo da TFBM sobre a RML, os mesmos não levaram em consideração se potenciais fatores moderadores, tais como o tipo de dispositivo/fonte de luz (laser vs. LEDs), o membro tratado (membro inferior vs. superior) e a diferença entre os sexos (homens vs. mulheres), poderiam modular os efeitos da TFBM. Além disso, estes estudos não incluíram uma análise de meta-regressão para examinar o possível efeito dose-resposta da TFBM sobre a RML. Considerando que a RML tem repercussões benéficas para a saúde e desempenho físico, compreender a influência da fonte de luz, membro tratado, sexo, e dose irradiada é crucial para nortear a aplicação desta terapia no contexto clínico e esportivo.

Portanto, para ampliar a literatura existente, a proposta deste trabalho foi conduzir uma revisão sistemática e meta-análise para investigar a influência de potenciais fatores moderadores (fonte de luz, membro tratado, sexo, e dose irradiada) sobre os efeitos da TFBM na RML em termos de repetições até a falha em exercício resistidos em adultos saudáveis. Esperamos que os achados do presente estudo possam contribuir para a tomada de decisão em relação ao uso da TFBM entre praticantes de atividades recreacionais e esportivas, e profissionais da saúde que atuam em atividades associadas à resistência muscular.

## **2. OBJETIVOS E HIPÓTESES**

### **2.1. Objetivo geral**

Conduzir uma revisão sistemática com meta-análise com a proposta de investigar os efeitos da TFBM sobre a RML em termos de repetições máximas em exercícios resistidos em adultos saudáveis.

### **2.2. Objetivos específicos**

Analisar a influência de potenciais fatores moderadores (fonte de luz [laser vs. diodos emissores de luz, LEDs], membro tratado [m. superior vs. m. inferior], sexo [homens vs. mulheres], e dose irradiada) sobre os efeitos da TFBM no número de repetições máximas em exercício resistidos em adultos saudáveis

### **2.3 Hipóteses**

Testamos a hipótese de que a TFBM seria mais efetiva do que o placebo para aumentar o número de repetições máximas, e que os efeitos da TFBM seriam influenciados por potenciais fatores moderadores (fonte de luz, membro tratado, sexo e dose irradiada).

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

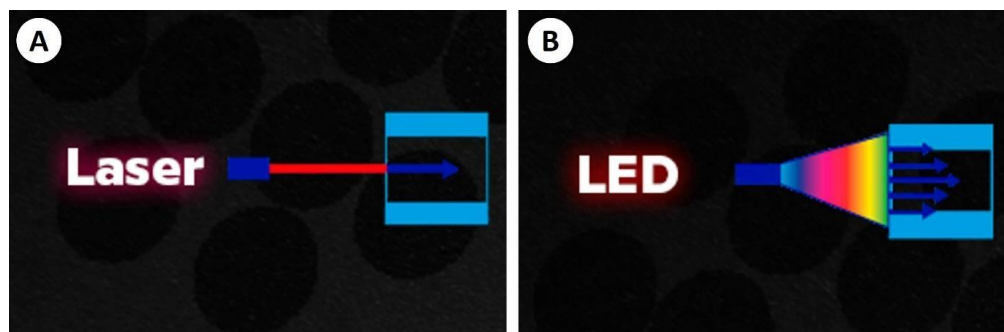
#### 3.1 Terapia de Fotobiomodulação: conceitos, dispositivos e parâmetros

A TFBM vem sendo muito utilizada na prática clínica, associada com exercícios físicos<sup>20-26</sup> para otimização do desempenho muscular. Essa terapia emite luz que vai do vermelho ao infravermelho do espectro, podendo ser irradiada pelo laser de baixa potência (LBT) ou LEDs. Estudos publicados sobre o assunto apontam possíveis efeitos na regeneração muscular, diminuição da inflamação, aptidão física e melhora da dor muscular após a prática de exercícios<sup>20, 22, 25, 27, 28</sup>.

O laser (do inglês: *light amplification by stimulated emission of radiation*) apresenta um único comprimento de onda, monocromático e coerente, emitindo assim uma única cor com uniformidade de fase (Figura 1). Devido ao seu raio ser colimado é possível concentrar a irradiação em uma pequena área, permitindo um maior volume de potência e uma maior densidade de energia irradiada, sendo assim, com alcance de luz longo e uma penetração profunda nos tecidos quando comparada a diversas fontes de luz. O laser Arseneto de Gálio (As-Ga) devido a seu alto comprimento de onda (904 nm), que penetra em média 30-50 mm no tecido vem sendo comumente utilizado nas patologias musculoesqueléticas<sup>29-32</sup>. O uso do laser de baixa frequência com uma onda abaixo de 904 nm (entre 655- 830nm) também vem demonstrando benefícios no sistema musculoesquelético, mesmo com uma alta utilização do laser Ga-As (904 nm) no sistema muscular. Sendo assim, também existem diversos estudos que demonstram a eficiência do laser de baixa potência, sobre o desempenho físico em jovens e idosos<sup>10, 11, 18, 33-38</sup>.

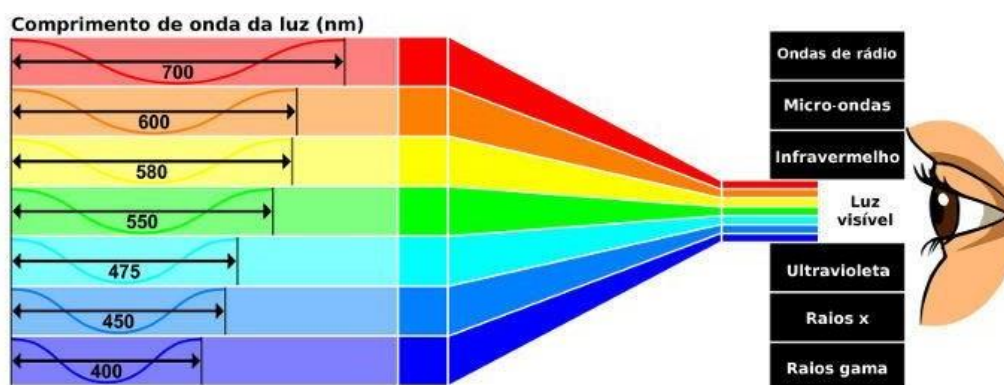
Os LEDs surgiram após a criação do Laser e consistem em um semicondutor que apresenta ondas visíveis, que vai de ultravioleta a infravermelho com claridade considerada alta. O seu efeito é chamado de eletroluminescência, ou seja, a cor da luz está intimamente ligada à diferença dos elementos ópticos integrados e a energia do semicondutor<sup>39</sup>. Esses dois equipamentos são análogos, os LEDs possuem uma coerência menor e uma largura de banda com mais amplitude (figura 1). Os LEDs vem sendo estudados no meio científico e auxiliam no tratamento de lesões esportivas, analgesia, recuperação após treinamentos, melhora da performance e na prevenção de patologias<sup>40, 41</sup>. Porém, ainda são necessários mais estudos que utilizem esse equipamento para a determinação de parâmetros, por exemplo. As vantagens da utilização dos LEDs são a eficiência no tratamento de diversas patologias, além da longa durabilidade, baixo custo operacional, não geração de calor, alta eficiência energética, menor

tempo para a exposição da irradiação e adaptações nas dimensões de acordo com a área a ser tratada, potencializando a performance muscular, reduzindo os sinais de fadiga muscular e dor, reparando os tecidos, prevenindo as atrofias musculares <sup>19,42</sup>.



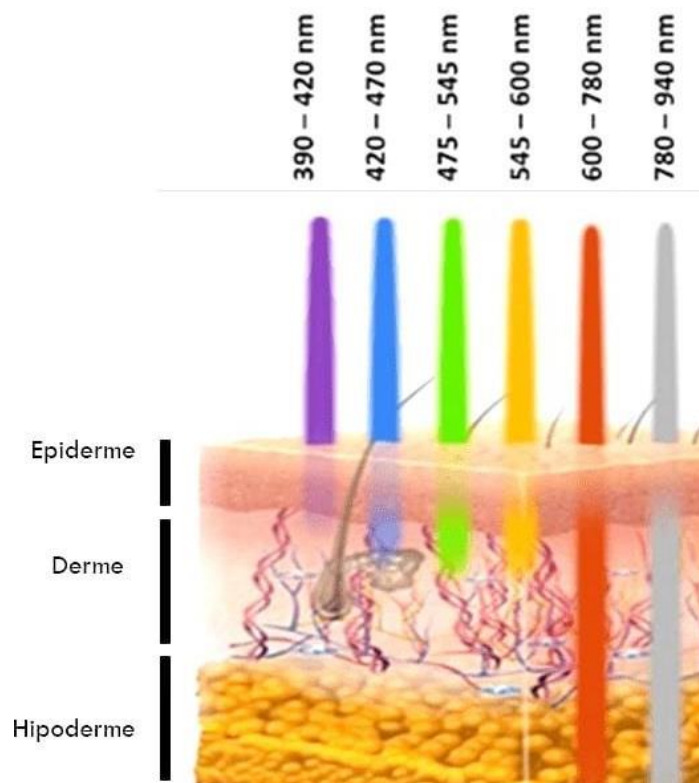
**Figura 1.** Figura representativa dos feixes de luz de laser (A) e LEDs (B).

Em um espectro de luz que vai do vermelho ao infravermelho (Figura 2), ondas eletromagnéticas estimulam ou inibem diversas reações metabólicas e celulares trazendo benefícios ao organismo, a TFBM se concentra em uma faixa expressa em nm de 660-1100, sendo assim, considerada uma fonte de luz artificial de baixa potência, entre 1-500mW <sup>39,43,44</sup>.



**Figura 2.** Espectro eletromagnético, ressaltando as regiões de luz visível.

Existem diversos tipos de ondas que são medidas em nm e de acordo com a cor emitida são identificadas em uma escala decrescente: infravermelha (700-200nm) e vermelha (630-700nm), verde (470-550nm) e azul (400-470nm) e ultravioleta (200-400nm) (Figura 2). No Laser, seus dissemelhantes tipos de onda se apresentam de seguinte maneira em ordem decrescente: arseneto de gálio (904nm), arseneto de gálio e alumínio (830nm), fosfato de arsênio índio gálio (660nm), hélio-neônio (632,8nm). Em um contexto geral, quanto maior o comprimento de onda, a penetração nos tecidos será mais profunda <sup>45,46</sup> (Figura 3).



**Figura 3.** Diferentes comprimentos de onda (390 – 940 nm) e profundidade de penetração. Note que a faixa de comprimento de onda ‘vermelho ao infravermelho’ (600-1100 nm) apresenta maior penetração tecidual quando comparado a comprimentos de onda menores (< 600 nm).

Não somente o comprimento de onda, mas também existem outros parâmetros a serem controlados como por exemplo a densidade de energia, área irradiada, densidade de potência, energia e potência. A potência trata-se da quantidade de energia liberada por unidade de tempo, independente da duração do tratamento para uma área. Os fótons são capazes de estimular um grupo de células, se compararmos um aparelho de laser terapêutico de 500 mW de potência, com um aparelho laser de potência de 1300mW, eles podem fornecer o mesmo padrão de potência, mas o de maior vai oferecer em um período mais curto, quando comparado com um aparelho de potência mais baixa. A equação da potência é calculada da seguinte forma:  $P = E/T$ , onde E = energia (dose) irradiada (em J) e T = tempo de irradiação (em s), onde a potência (P) é expressada em (em W ou mW) <sup>47</sup>. Um dos parâmetros mais importantes no controle da efetividade da TFBM é a energia, também chamada de dose irradiada (em J) que equivale a quantidade de energia direcionada durante o tempo de tratamento:  $E = P \times T$ . A densidade de potência (DP) está ligada à potência (W) por unidade de área (A) irradiada (em W/cm<sup>2</sup>), sendo

o seu cálculo feito através dessa equação:  $DP = \frac{P}{A}$ . No entanto, a densidade de energia (DE) medida em (em J/cm<sup>2</sup>) é descrita como a quantidade total de energia (j) pela área irradiada (A), utilizando a seguinte equação:  $DE = \frac{P \times T}{A}$ . Existe um consentimento que aconteça uma resposta bifásica da TFBM, na qual altos níveis geram efeitos inibitórios e os baixos níveis gerem efeitos estimulantes <sup>44, 48</sup>.

A resposta terapêutica da TFBM esta intimamente ligada com o tempo de irradiação, e isso pode variar, em média o tempo de aplicação esta entre 3 a 10 minutos. Em uma aplicação no músculo quadríceps, o aparelho de TFBM foi aplicado por 4 minutos, um minuto em cada ponto, dois pontos no quadríceps, dois pontos nos isquiritibiais ipsilateral ou contralateral <sup>13</sup>. Em uma aplicação nos músculos gastrocnêmios, o aparelho de TFBM foi aplicado por 7 minutos, distribuído em 6 pontos nos gastrocnêmios, 64 segundos em cada ponto <sup>49</sup>. Para membros superiores, o tempo de irradiação para o desempenho variam de acordo com o grupo muscular, em uma aplicação no músculo bíceps braquial, foi realizado a aplicação em 4 pontos, 50 segundos em cada ponto <sup>11</sup>. Para se obter uma resposta terapêutica, também existe uma relação com o tempo estimado para realizar a aplicação da FBM e isso está ligado a potência do aparelho e a densidade da potência do mesmo (em W/cm<sup>2</sup>), considerando assim a energia transmitida (em J) e também a fluência (em J/cm<sup>2</sup>) <sup>47, 50</sup>. Por exemplo: Para se obter uma energia (E) irradiada de 6 J é preciso aplicar uma potência (P) de 0,1 W no tempo (T) de 60 seg. em cada ponto, conforme a seguinte equação:  $E = P \times T$ . Para chegar em uma densidade de potência (DP) de 3,57 W/cm<sup>2</sup> é preciso aplicar (P) de 0,1 W em uma área (A) de 0,028 cm<sup>2</sup>, conforme descrito na equação:  $DP = \frac{P}{A}$ . Para uma densidade de energia (DE) de 250 J/cm<sup>2</sup> precisa de uma energia (E) de 7 J e uma área (A) de 0,028 cm<sup>2</sup>, conforme a seguinte equação:  $DE = \frac{P \times T}{A}$ . Para atingir uma energia total (ET) de 56 J usa uma energia (E) de 7 J em cada ponto e 8 pontos de aplicação, com a seguinte equação:  $ET (J) = 7 \times 8$ .

### 3.2 Mecanismos ergogênicos da terapia de Fotobiomodulação

Os benefícios da TFBM acontecem através dos mecanismos moleculares e celulares: produção de adenosina trifosfato (ATP) através da modulação da atividade mitocondrial; aumento da excitabilidade das fibras musculares; aumento de genes relacionados a síntese protéica; aumento da capacidade regenerativa do tecido; ocorre também uma proliferação celular pelas vias anti-inflamatórias e enzimas antioxidantes. Estes mecanismos ocorrem no tecido muscular gerando alterações nas células, mais especificamente na atividade mitocondrial <sup>2</sup>.

O mecanismo mais aceito para otimização do desempenho muscular é o aumento da produção de ATP. De acordo com os fenômenos da fotoquímica, os fótons de luz são absorvidos pelos fotorreceptores moleculares, o que resulta em processos biológicos nas células. O principal responsável por absorver esses fótons é o cromóforo citocromo c oxidase (Cox) que fica localizado na unidade IV da cadeia mitocondrial respiratória <sup>23, 44</sup>. O Cox, por sua vez, funciona como um fotoceptor e transdutor de fotosinais no espectro de luz que vai do vermelho ( $\gamma$ : 600 to 700 nm) ao infravermelho ( $\gamma$ : 770-1200 nm) com 2 centros de heme (a e a<sub>3</sub>) e 2 com cobre (Cu<sub>A</sub> e Cu<sub>B</sub>). Ocorre a separação dos fótons e liberam o óxido nítrico (ON) (do inglês: *nitric oxide*) inibitório para reduzir a atividade enzimática necessária nos centros heme e cobre da Cox, onde há competição com o oxigênio, diminuindo a atividade enzimática (proporção de bloqueio do oxigênio 1:10). Todo esse processo de liberação do óxido nítrico vai permitir um influxo imediato de oxigênio, reintegrando a respiração e assim, gerando espécies de oxigênio (EROs) e produção de ATP. Através da hemoglobina nitrosilada e mioglobina, também podem ser liberados fótons de outros locais <sup>2</sup>.

Teoricamente, a FBM pode atuar no aumento da disponibilidade de elétrons para a redução do oxigênio molecular, no centro catalítico do citocromo, elevando os níveis de ATP, elevando o nível das EROS e atuando também no potencial da membrana mitocondrial. Essa suposição é sustentada pela elevação do consumo de oxigênio durante a emissão de luz de baixo nível, reduzindo assim a azida de sódio, que inibe o citocromo, bloqueando o efeito benéfico da TFBM. Contudo, essas modificações participam na elevação da disponibilidade de energia para que ocorra as atividades celulares e que as vias aeróbias se tornem mais eficazes <sup>2</sup>.

Os efeitos da TFBM não são somente mediados pelos cromóforos, existem outras vias moleculares e celulares que mediam os efeitos da TFBM sobre o funcionamento muscular, vias essas: ativação de fatores transcricionais, via produção de EROS, canais de Ca<sup>2+</sup>, via no ON, mudanças na permeabilidade e mecanismos de transporte da membrana celular, canais de íons

sensíveis a luz, via AMP cíclico e a sinalização mitocondrial retrógrada. É importante frisar que os mecanismos biológicos e funções mediadas pela TFBM não são totalmente conhecidos. Também há evidências sobre a inibição da TFBM na função enzimática, em especial na enzima citrato sintase (CS) e na enzima lactato desidrogenase (LDH) que atuam sobre a ação oxidativa mitocondrial, e na alta atividade quando predomina o metabolismo anaeróbio láctico. Há explicações sobre a TFBM nas proteínas: p63, CK10, CK14, aumentando as proteínas através da capacidade da TFBM em realizar <sup>2</sup>. Ademais, existe uma teoria para a radiação fotônica sobre o DNA e o grupo de genoma, direta ou indiretamente, através do mecanismo de ação da TFBM nas células. Na melhora da cicatrização dos tecidos, sobre os efeitos nas células progenitoras e nas células-tronco <sup>51</sup>.

A TFBM vem apresentando resultados favoráveis na fadiga muscular, no entanto, a fadiga muscular é algo que envolve vários fatores e acaba sendo inevitável <sup>18, 52, 53</sup>. Os fatores que fazem parte e que envolvem a fadiga muscular ainda não são plenamente esclarecidos, uma vez que a fadiga periférica que parece estar relacionada com a inibição dos neurônios motores e a fadiga central com a diminuição do estímulo descendente infraespinhal. A fadiga pode interferir diretamente no controle da força e resultar em dor muscular <sup>54</sup> devido ao acúmulo de metabólitos como: Ca<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, ADP, H<sup>+</sup>. Com a síntese de ON através de um mecanismo dependente, a TFBM pode elevar a microcirculação e auxiliar a reduzir a fadiga, reduzindo metabólitos <sup>54</sup>. Adicionalmente, estudos vem demonstrando a relação da TFBM na redução dos níveis de lactato sanguíneo e creatina quinase (CK) <sup>38</sup>.

### **3.3 Efeitos da terapia de Fotobiomodulação no número de repetições máximas**

A resistência muscular localizada (RML) é definida como a capacidade dos músculos em resistir a fadiga, gerando benefícios como diminuição da fadiga muscular, melhora da força, e desempenho. Recentemente a TFBM vem sendo investigada quanto seus possíveis efeitos na RML, seja nos músculos dos membros inferiores quanto nos membros superiores. No estudo de Vieira et al., 2014 <sup>55</sup> foi utilizado um dinamômetro isocinético para avaliar o número de repetições realizadas no movimento de flexão/extensão de joelho a 60°/s após aplicação de Laser AsGaAl (808 nm) no intervalo entre as séries e os resultados apontaram aumento da RML. Da mesma forma, Hemmings et al., 2017 <sup>12</sup> avaliando o músculo quadríceps do membro dominante com a aplicação de um aparelho Laser de baixa intensidade no pré-teste com um dinamômetro isocinético, houve um ganho no número de repetições realizadas. Adicionalmente, Ferreira et al., 2018 <sup>13</sup> analisaram a RML dos músculos quadríceps e isquiotibiais após aplicação

de LEDs pré-teste de *leg press* horizontal e no intervalo entre as séries e, encontraram melhora na RML apenas no membro ipsilateral comparado com placebo. Igualmente, Yekta et al., 2021<sup>56</sup> utilizado aparelho laser (810 nm) no músculo quadríceps, relataram aumento do número de repetições realizadas. Em contrapartida, Reis et al., 2014<sup>57</sup> e Cabreira et al., 2022<sup>15</sup> não relataram aumento do número de repetições no exercício após aplicação de Laser e LEDs, respectivamente.

Alguns estudos também buscaram efeitos da TFBM na RML dos membros superiores, Higashi et al., 2013<sup>14</sup> testaram o músculo bíceps braquial em exercício com peso livre após aplicação de Laser (808nm) e não houve melhora no número de repetições realizadas até a falha. Igualmente, Azuma et al., 2021<sup>16</sup> analisaram a RML do músculo bíceps braquial no exercício de rosca direta, com aplicação prévia do Laser infravermelho AsGaAl (808 nm) e não descreveram melhora no desempenho. Em adição, Junior et al., 2009<sup>26</sup> e Vieira et al., 2019<sup>58</sup> também analisaram a RML do bíceps braquial com exercício no banco *scott* após aplicação de TFBM com um *cluster* de LEDs (660 e 850 nm) e não houve aumento do número de repetições. Por outro lado, Junior et al., 2008<sup>10</sup> e Junior et al., 2009<sup>11</sup> avaliaram o músculo bíceps o exercício na cadeira *scott* (45°) após irradiação com Laser (830nm) e Laser (655nm), respectivamente e relataram aumento do número de repetições executadas. Ademais, Junior et al., 2010<sup>24</sup> analisaram o músculo bíceps braquial não dominante utilizando uma cadeira *scott*, com aplicação de Laser (810nm) pré-teste e evidenciaram melhora da RML e diminuição da fadiga muscular com a utilização da TFBM.

A maioria destas evidências foram compiladas em 03 estudos de meta-análise que incluíram 04<sup>18</sup>, 12<sup>19</sup> e 15 ECRs<sup>17</sup> sobre os efeitos da TFBM na RML em indivíduos adultos jovens. No entanto, estes estudos meta-analíticos apresentam algumas limitações metodológicas que dificultam confirmar a eficácia ergogênica da TFBM sobre a RML em termos de desempenho em teste de repetições máximas. Primeiramente, do total de ECRs incluídos nos estudos de Dutra et al., 2022 e Vanin et al., 2018<sup>17, 19</sup> apenas 8 e 7 ECRs, respectivamente, analisaram o número máximo de repetições até a falha muscular em exercícios resistidos dinâmicos-isotônicos; os demais ECRs avaliaram a RML em termos de tempo até exaustão em teste de contratação isométrica, indicadores de fadiga e trabalho muscular e produção de força média em exercício isocinético. Considerando a natureza funcional e metabólica dos diferentes tipos de exercícios (dinâmico-isotônico, isométrico e isocinético), a análise específica do desempenho nos diferentes tipos de testes/exercícios seria fundamental para discriminar os exatos efeitos da TFBM sobre a RML, particularmente sobre o número máximo de repetições até a falha muscular em exercícios resistidos dinâmicos. No entanto, os

autores das meta-análises <sup>17-19</sup> realizaram a análise agrupada (não-dissimilar) dos diferentes tipos de exercícios/testes, o que pode aumentar a chance de um “falso” efeito a favor da TFBM (comparada ao placebo), devido às discrepâncias inerentes aos diferentes padrões de testes neuromusculares. Além disso, nenhum dos estudos supracitados analisou a influência de fatores moderadores (fonte de luz, membro tratado, sexo, e dose irradiada) sobre o número máximo de repetições até a falha muscular em exercícios resistidos dinâmicos. Portanto, novos estudos de meta-análise são necessários para confirmar os efeitos específicos da TFBM sobre o número máximo de repetições em exercícios resistidos dinâmicos e estabelecer possíveis fatores moderadores dos efeitos desta intervenção.

#### 4. REFERÊNCIAS

1. Anders JJ, Arany PR, Baxter GD, Lanzafame RJ. Light-Emitting Diode Therapy and Low-Level Light Therapy Are Photobiomodulation Therapy. *Photobiomodul Photomed Laser Surg.* 2019;37(2):63-5.
2. de Freitas LF, Hamblin MR. Proposed Mechanisms of Photobiomodulation or Low-Level Light Therapy. *IEEE journal of selected topics in quantum electronics : a publication of the IEEE Lasers and Electro-optics Society.* 2016;22(3).
3. Ferraresi C, Kaippert B, Avci P, Huang YY, de Sousa MV, Bagnato VS, et al. Low-level laser (light) therapy increases mitochondrial membrane potential and ATP synthesis in C2C12 myotubes with a peak response at 3-6 h. *Photochem Photobiol.* 2015;91(2):411-6.
4. Ferraresi C, de Sousa MV, Huang YY, Bagnato VS, Parizotto NA, Hamblin MR. Time response of increases in ATP and muscle resistance to fatigue after low-level laser (light) therapy (LLLT) in mice. *Lasers Med Sci.* 2015;30(4):1259-67.
5. Wang X, Tian F, Soni SS, Gonzalez-Lima F, Liu H. Interplay between up-regulation of cytochrome-c-oxidase and hemoglobin oxygenation induced by near-infrared laser. *Sci Rep.* 2016;6:30540.
6. Linares SN, Beltrame T, Ferraresi C, Galdino GAM, Catai AM. Photobiomodulation effect on local hemoglobin concentration assessed by near-infrared spectroscopy in humans. *Lasers Med Sci.* 2020;35(3):641-9.
7. Kashiwagi S, Morita A, Yokomizo S, Ogawa E, Komai E, Huang PL, et al. Photobiomodulation and nitric oxide signaling. *Nitric Oxide.* 2023;130:58-68.
8. Deschenes MR, Kraemer WJ. Performance and physiologic adaptations to resistance training. *Am J Phys Med Rehabil.* 2002;81(11 Suppl):S3-16.
9. Schoenfeld BJ, Grgic J, Van Every DW, Plotkin DL. Loading Recommendations for Muscle Strength, Hypertrophy, and Local Endurance: A Re-Examination of the Repetition Continuum. *Sports (Basel).* 2021;9(2).
10. Leal Junior EC, Lopes-Martins RA, Dalan F, Ferrari M, Sbabo FM, Generosi RA, et al. Effect of 655-nm low-level laser therapy on exercise-induced skeletal muscle fatigue in humans. *Photomed Laser Surg.* 2008;26(5):419-24.

11. Leal Junior EC, Lopes-Martins RA, Vanin AA, Baroni BM, Grosselli D, De Marchi T, et al. Effect of 830 nm low-level laser therapy in exercise-induced skeletal muscle fatigue in humans. *Lasers Med Sci.* 2009;24(3):425-31.
12. Hemmings TJ, Kendall KL, Dobson JL. Identifying Dosage Effect of Light-Emitting Diode Therapy on Muscular Fatigue in Quadriceps. *J Strength Cond Res.* 2017;31(2):395-402.
13. Ferreira Junior A, Schamne JC, de Moraes SMF, Okuno NM. Cardiac autonomic responses and number of repetitions maximum after LED irradiation in the ipsilateral and contralateral lower limb. *Lasers Med Sci.* 2018;33(2):353-9.
14. Higashi RH, Toma RL, Tucci HT, Pedroni CR, Ferreira PD, Baldini G, et al. Effects of low-level laser therapy on biceps braquialis muscle fatigue in young women. *Photomed Laser Surg.* 2013;31(12):586-94.
15. Cabreira LMB, Merlo JK, Jacinto JL, Nunes JP, Ribeiro AS, Aguiar AF. Photobiomodulation therapy with light-emitting diode does not improve lower-body muscle performance and delayed-onset muscle soreness in resistance-trained women: A randomized, controlled, crossover trial. *Science & Sports.* 2022;37(7):635.e1-.e9.
16. Azuma RHE, Merlo JK, Jacinto JL, Borim JM, da Silva RA, Pacagnelli FL, et al. Photobiomodulation Therapy at 808 nm Does Not Improve Biceps Brachii Performance to Exhaustion and Delayed-Onset Muscle Soreness in Young Adult Women: A Randomized, Controlled, Crossover Trial. *Front Physiol.* 2021;12:664582.
17. Dutra YM, Malta ES, Elias AS, Broatch JR, Zagatto AM. Deconstructing the Ergogenic Effects of Photobiomodulation: A Systematic Review and Meta-analysis of its Efficacy in Improving Mode-Specific Exercise Performance in Humans. *Sports Med.* 2022;52(11):2733-57.
18. Leal-Junior EC, Vanin AA, Miranda EF, de Carvalho Pde T, Dal Corso S, Bjordal JM. Effect of phototherapy (low-level laser therapy and light-emitting diode therapy) on exercise performance and markers of exercise recovery: a systematic review with meta-analysis. *Lasers Med Sci.* 2015;30(2):925-39.
19. Vanin AA, Verhagen E, Barboza SD, Costa LOP, Leal-Junior ECP. Photobiomodulation therapy for the improvement of muscular performance and reduction of muscular fatigue associated with exercise in healthy people: a systematic review and meta-analysis. *Lasers Med Sci.* 2018;33(1):181-214.

20. Antonialli FC, De Marchi T, Tomazoni SS, Vanin AA, dos Santos Grandinetti V, de Paiva PR, et al. Phototherapy in skeletal muscle performance and recovery after exercise: effect of combination of super-pulsed laser and light-emitting diodes. *Lasers Med Sci.* 2014;29(6):1967-76.
21. Baroni BM, Rodrigues R, Freire BB, Franke Rde A, Geremia JM, Vaz MA. Effect of low-level laser therapy on muscle adaptation to knee extensor eccentric training. *Eur J Appl Physiol.* 2015;115(3):639-47.
22. Ferraresi C, Bertucci D, Schiavinato J, Reiff R, Araujo A, Panepucci R, et al. Effects of Light-Emitting Diode Therapy on Muscle Hypertrophy, Gene Expression, Performance, Damage, and Delayed-Onset Muscle Soreness: Case-control Study with a Pair of Identical Twins. *Am J Phys Med Rehabil.* 2016;95(10):746-57.
23. Ferraresi C, Huang YY, Hamblin MR. Photobiomodulation in human muscle tissue: an advantage in sports performance? *J Biophotonics.* 2016;9(11-12):1273-99.
24. Leal Junior EC, Lopes-Martins RA, Frigo L, De Marchi T, Rossi RP, de Godoi V, et al. Effects of low-level laser therapy (LLLT) in the development of exercise-induced skeletal muscle fatigue and changes in biochemical markers related to postexercise recovery. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2010;40(8):524-32.
25. Leal Junior EC, de Godoi V, Mancalossi JL, Rossi RP, De Marchi T, Parente M, et al. Comparison between cold water immersion therapy (CWIT) and light emitting diode therapy (LEDT) in short-term skeletal muscle recovery after high-intensity exercise in athletes--preliminary results. *Lasers Med Sci.* 2011;26(4):493-501.
26. Leal Junior EC, Lopes-Martins RA, Rossi RP, De Marchi T, Baroni BM, de Godoi V, 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.* 2009;41(8):572-7.
27. Alves AN, Fernandes KP, Deana AM, Bussadori SK, Mesquita-Ferrari RA. Effects of low-level laser therapy on skeletal muscle repair: a systematic review. *Am J Phys Med Rehabil.* 2014;93(12):1073-85.
28. Santos CP, Aguiar AF, Giometti IC, Mariano TB, de Freitas CEA, Nai GA, et al. High final energy of gallium arsenide laser increases MyoD gene expression during the intermediate phase of muscle regeneration after cryoinjury in rats. *Lasers Med Sci.* 2018;33(4):843-50.

29. Gur A, Sarac AJ, Cevik R, Altindag O, Sarac S. Efficacy of 904 nm gallium arsenide low level laser therapy in the management of chronic myofascial pain in the neck: a double-blind and randomize-controlled trial. *Lasers Surg Med.* 2004;35(3):229-35.
30. Mandić M, Rancié N. [Low power laser in the treatment of the acute low back pain]. *Vojnosanit Pregl.* 2011;68(1):57-61.
31. Jovicić M, Konstantinović L, Lazović M, Jovicić V. Clinical and functional evaluation of patients with acute low back pain and radiculopathy treated with different energy doses of low level laser therapy. *Vojnosanit Pregl.* 2012;69(8):656-62.
32. Bingöl U, Altan L, Yurtkuran M. Low-power laser treatment for shoulder pain. *Photomed Laser Surg.* 2005;23(5):459-64.
33. Baroni BM, Leal Junior EC, De Marchi T, Lopes AL, Salvador M, Vaz MA. Low level laser therapy before eccentric exercise reduces muscle damage markers in humans. *Eur J Appl Physiol.* 2010;110(4):789-96.
34. Ferraresi C, de Brito Oliveira T, de Oliveira Zafalon L, de Menezes Reiff RB, Baldissera V, de Andrade Perez SE, et al. Effects of low level laser therapy (808 nm) on physical strength training in humans. *Lasers Med Sci.* 2011;26(3):349-58.
35. Vieira WH, Ferraresi C, Perez SE, Baldissera V, Parizotto NA. Effects of low-level laser therapy (808 nm) on isokinetic muscle performance of young women submitted to endurance training: a randomized controlled clinical trial. *Lasers Med Sci.* 2012;27(2):497-504.
36. Toma RL, Tucci HT, Antunes HK, Pedroni CR, de Oliveira AS, Buck I, et al. Effect of 808 nm low-level laser therapy in exercise-induced skeletal muscle fatigue in elderly women. *Lasers Med Sci.* 2013;28(5):1375-82.
37. Toma RL, Vassão PG, Assis L, Antunes HK, Renno AC. Low level laser therapy associated with a strength training program on muscle performance in elderly women: a randomized double blind control study. *Lasers Med Sci.* 2016;31(6):1219-29.
38. Vassão PG, Toma RL, Antunes HK, Tucci HT, Renno AC. Effects of photobiomodulation on the fatigue level in elderly women: an isokinetic dynamometry evaluation. *Lasers Med Sci.* 2016;31(2):275-82.
39. Chung H, Dai T, Sharma SK, Huang YY, Carroll JD, Hamblin MR. The nuts and bolts of low-level laser (light) therapy. *Ann Biomed Eng.* 2012;40(2):516-33.

40. Vanin AA, Miranda EF, Machado CS, de Paiva PR, Albuquerque-Pontes GM, Casalechi HL, et al. What is the best moment to apply phototherapy when associated to a strength training program? A randomized, double-blinded, placebo-controlled trial : Phototherapy in association to strength training. *Lasers Med Sci.* 2016;31(8):1555-64.
41. Mezzaroba PV, Pessôa Filho DM, Zagatto AM, Machado FA. LED session prior incremental step test enhance VO(2max) in running. *Lasers Med Sci.* 2018;33(6):1263-70.
42. Pinheiro AL, Soares LG, Cangussú MC, Santos NR, Barbosa AF, Silveira Júnior L. Effects of LED phototherapy on bone defects grafted with MTA, bone morphogenetic proteins and guided bone regeneration: a Raman spectroscopic study. *Lasers Med Sci.* 2012;27(5):903-16.
43. Barolet D. Light-emitting diodes (LEDs) in dermatology. *Semin Cutan Med Surg.* 2008;27(4):227-38.
44. Huang YY, Sharma SK, Carroll J, Hamblin MR. Biphasic dose response in low level light therapy - an update. *Dose Response.* 2011;9(4):602-18.
45. Brosseau L, Robinson V, Wells G, Debie R, Gam A, Harman K, et al. Low level laser therapy (Classes I, II and III) for treating rheumatoid arthritis. *The Cochrane database of systematic reviews.* 2005;2005(4):Cd002049.
46. Meinhardt M, Krebs R, Anders A, Heinrich U, Tronnier H. Wavelength-dependent penetration depths of ultraviolet radiation in human skin. *J Biomed Opt.* 2008;13(4):044030.
47. Enwemeka CS. Intricacies of dose in laser phototherapy for tissue repair and pain relief. *Photomed Laser Surg.* 2009;27(3):387-93.
48. Hamblin MR. Mechanisms and applications of the anti-inflammatory effects of photobiomodulation. *AIMS Biophys.* 2017;4(3):337-61.
49. Orssatto LBR, Rossato M, Vargas M, Diefenthaler F, de la Rocha Freitas C. Photobiomodulation Therapy Effects on Resistance Training Volume and Discomfort in Well-Trained Adults: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial. *Photobiomodul Photomed Laser Surg.* 2020;38(12):720-6.
50. Castano AP, Dai T, Yaroslavsky I, Cohen R, Apruzzese WA, Smotrich MH, et al. Low-level laser therapy for zymosan-induced arthritis in rats: Importance of illumination time. *Lasers Surg Med.* 2007;39(6):543-50.

51. Dompe C, Moncrieff L, Matys J, Grzech-Lesniak K, Kocherova I, Bryja A, et al. Photobiomodulation-Underlying Mechanism and Clinical Applications. *J Clin Med*. 2020;9(6).
52. Borsa PA, Larkin KA, True JM. Does phototherapy enhance skeletal muscle contractile function and postexercise recovery? A systematic review. *J Athl Train*. 2013;48(1):57-67.
53. Ferraresi C, Hamblin MR, Parizotto NA. Low-level laser (light) therapy (LLLT) on muscle tissue: performance, fatigue and repair benefited by the power of light. *Photonics & lasers in medicine*. 2012;1(4):267-86.
54. Rossato M, Dellagrana RA, Sakugawa RL, Lazzari CD, Baroni BM, Diefenthaler F. Time Response of Photobiomodulation Therapy on Muscular Fatigue in Humans. *J Strength Cond Res*. 2018;32(11):3285-93.
55. de Brito Vieira WH, Bezerra RM, Queiroz RA, Maciel NF, Parizotto NA, Ferraresi C. Use of low-level laser therapy (808 nm) to muscle fatigue resistance: a randomized double-blind crossover trial. *Photomed Laser Surg*. 2014;32(12):678-85.
56. Abedi Yekta AH, Tabei F, Salehi S, Sohrabi M-R, Poursaeidesfahani M, Hassabi M, et al. Effect of Low-Level Laser Therapy on Muscle Strength and Endurance and Post-Exercise Recovery of Young Adult: A Double-Blind, Placebo-Controlled, Randomized Clinical Trial. *Annals of Applied Sport Science*. 2021.
57. Dos Reis FA, da Silva BA, Laraia EM, de Melo RM, Silva PH, Leal-Junior EC, et al. Effects of pre- or post-exercise low-level laser therapy (830 nm) on skeletal muscle fatigue and biochemical markers of recovery in humans: double-blind placebo-controlled trial. *Photomed Laser Surg*. 2014;32(2):106-12.
58. Vieira K, Ciol MA, Azevedo PH, Pinfildi CE, Renno ACM, Colantonio E, et al. Effects of Light-Emitting Diode Therapy on the Performance of Biceps Brachii Muscle of Young Healthy Males After 8 Weeks of Strength Training: A Randomized Controlled Clinical Trial. *J Strength Cond Res*. 2019;33(2):433-42.

## 5. ARTIGO CIENTÍFICO

### EFEITOS DA TERAPIA DE FOTOBIMODULAÇÃO SOBRE A RESISTÊNCIA MUSCULAR LOCALIZADA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA E META-ANÁLISE

Pablo Aguirra, Ana Paula do Nascimento, Juliano Casonatto, Alex Silva Ribeiro, Francis Lopes Pacagnelli, Raphael Gonçalves de Oliveira, Andreo Fernando Aguiar.

Este artigo será submetido ao periódico *Lasers in Medical Science*.

#### RESUMO

**Objetivo:** A proposta desta meta-análise foi investigar os efeitos da terapia de fotobiomodulação (TFBM), e a influência de potenciais fatores moderadores (fonte de luz [laser vs. diodos emissores de luz, LEDs], membro tratado [m. superior vs. m. inferior], sexo [homens vs. mulheres], e dose irradiada), sobre o número de repetições máximas em exercício resistidos em adultos saudáveis. **Métodos:** Uma pesquisa eletrônica foi conduzida nas bases de dados *PubMed*, *Web of Science*, *Scopus*, *SportDiscus*, *CENTRAL* e *Embase*, até maio de 2024. Os critérios de elegibilidade foram determinados pelo método PICO. O risco de viés dos estudos incluídos foi analisado por meio da ferramenta RoB 2, e a qualidade/certeza da evidência foi determinada pelo sistema GRADE. Os dados foram agrupados usando o modelo de efeito fixo, e expressos como diferença média padronizada (DMP) e intervalo de confiança de 90% (IC 90%). **Resultados:** Treze estudos foram incluídos na análise ( $n = 186$  participantes). Houve um efeito global a favor da TFBM, comparado ao placebo ( $DMP_{95\%} = 0,44, p < 0,0001$ ). Houve um efeito significativo a favor do laser, comparado ao placebo ( $DMP_{95\%} = 0,53, p < 0,0001$ ), mas não a favor dos LEDs ( $DMP_{95\%} = 0,22, p = 0,28$ ). Na comparação entre os subgrupos, não houve diferença significativa entre o laser vs. LEDs (interação,  $p = 0,15$ ). Houve um efeito significativo da TFBM em ambos os membros inferiores ( $DMP_{95\%} = 0,36, p = 0,013$ ) e superiores ( $DMP_{95\%} = 0,54, p < 0,001$ ), comparados ao placebo. Na comparação entre os subgrupos, não houve diferença significativa nos efeitos da TFBM entre os m. superiores vs. inferiores (interação,  $p = 0,36$ ). Houve um efeito significativo da TFBM, comparado ao placebo, nos estudos envolvendo somente homens ( $DMP_{95\%} = 0,61, p < 0,0001$ ) e homens + mulheres ( $DMP_{95\%} = 0,43, p = 0,02$ ), mas nenhum efeito foi encontrado nos estudos envolvendo somente mulheres ( $DMP_{95\%} = 0,17, p = 0,41$ ). Na comparação entre os subgrupos, não houve diferença significativa nos efeitos da TFBM entre os homens vs. mulheres vs. homens + mulheres (interação,  $p = 0,30$ ). Não houve um efeito dose-resposta da TFBM (*Slope*;  $p = 0,68$ ). **Conclusão:** A TFBM com laser (contrário aos LEDs) aumenta o número de repetições máximas em exercício resistido dinâmico em adultos jovens saudáveis, e este efeito parece não ser dose-dependente. A TFBM é eficaz para ambos os membros do corpo, com maior magnitude de efeito para os músculos do membro superior (bíceps braquial). Além disso, a TFBM apresentou eficácia somente nos estudos que incluíram homens. Os estudos apresentaram classificação boa a excelente, e a qualidade/certeza da evidência foi considerada moderada.

**Palavras-chave:** número de repetições, diodos emissores de luz, fototerapia, desempenho, laser

## INTRODUÇÃO

A terapia de Fotobiomodulação (TFBM) é uma terapia de fótons que envolve o uso de formas não ionizantes de fontes de luz, incluindo os lasers e os diodos emissores de luz (do inglês: *light-emitting diodes* [LEDs]), do espectro vermelho (visível) ao infravermelho próximo, a fim de causar alterações fisiológicas e benefícios terapêuticos<sup>1</sup>. A TFBM tem sido postulada como uma potencial estratégia ergogênica para atenuar a fadiga e aumentar a resistência muscular, por meio do aumento da produção aeróbica de energia<sup>2-4</sup>, e da melhora na biodisponibilidade de O<sub>2</sub> e suprimento sanguíneo tecidual<sup>5, 6</sup> via aumento da biodisponibilidade de óxido nítrico (do inglês: *Nitric Oxide* [NO])<sup>7</sup>. A TFBM atua pela interação da luz irradiada com os cromóforos - fotorreceptores (por exemplo, o citocromo c-oxidase [Cox]), localizados na membrana interna das mitocôndrias, resultando no aumento da transferência de prótons H<sup>+</sup> da matriz para o espaço intermembrana<sup>3</sup> e, conseqüentemente, no aumento da síntese de adenosina trifosfato (ATP)<sup>2-4</sup>. Adicionalmente, a luz pode dissociar o NO dos seus locais de ligação nos centros 'heme' de ferro e cobre da Cox e de outros cromóforos (ex: proteínas heme na hemoglobina e mioglobina), onde compete com o oxigênio e atua como um inibidor reversível de Cox em baixas concentrações<sup>7</sup>, modulando a atividade da cadeia de transporte de elétrons<sup>2, 7</sup>. O aumento da biodisponibilidade de NO<sup>7</sup> pode resultar no aumento da vasodilatação e, conseqüentemente, na melhora da microcirculação e oxigenação tecidual<sup>5, 6</sup>. Desta forma, a TFBM tem despertado o interesse de pesquisadores e profissionais da saúde como uma estratégia promissora para aprimoramento dos diversos componentes da aptidão física relacionados à saúde e ao desempenho físico, incluindo a força muscular, a resistência cardiorrespiratória e a resistência muscular localizada (RML).

A RML é definida como a capacidade de resistir à fadiga muscular em atividades de carga submáxima<sup>8</sup>, sendo comumente determinada pelo número máximo de repetições até a falha concêntrica em testes com carga absoluta (ex: carga fixa como 100 kg) ou relativa (ex: carga baseada no %1RM)<sup>9</sup>. A melhoria da RML é crucial para a manutenção de uma boa estabilidade postural por um período prolongado, aumentar a capacidade aeróbica dos músculos ativos, melhorar a aptidão para executar as atividades funcionais da vida diária, assim como melhorar o desempenho físico em esportes relacionados à resistência. Vários ensaios clínicos randomizados (ECR) foram conduzidos com a proposta de examinar os efeitos da TFBM sobre a RML, com alguns estudos relatando efeitos positivos<sup>10-13</sup> e outros efeitos nulos<sup>14-16</sup>. A maioria destas evidências foram compiladas em três estudos prévios de meta-análise<sup>17-19</sup>, que reportaram um efeito significativo a favor da TFBM, comparada ao placebo, sobre parâmetros

relacionados à RML. Por exemplo, Leal-Junior et al. (2015)<sup>18</sup> encontraram um aumento significativo no tempo até a exaustão (diferença média [DM] = 4,12 seg.; 95 % CI 1,21–7,02,  $p < 0,005$ ) e número de repetições máximas (DM = 5,47 rep.; 95% IC, 2,35–8,59,  $p < 0,0006$ ) após o tratamento com TFBM, comparado a condição placebo. Adicionalmente, Vanin et al. (2018)<sup>19</sup> reportaram um efeito significativo a favor da TFBM no tempo até a exaustão (DM = 3,55 seg.; 95% IC, 1,09–6,00,  $p = 0,005$ ) e número de repetições máximas (MD = 4,88; 95% IC, 0,14–9,62,  $p = 0,04$ ), comparado a condição placebo. Mais recentemente, Dutra et al. (2022)<sup>17</sup> também encontraram um efeito positivo da TFBM sobre um compilado de métricas de RML (isto é, número de repetições máximas, tempo até exaustão, e produção de força média em exercícios isométrico e isocinético) em exercícios monoarticulares (DM padronizada = 0,27; 95% IC, 0,12–0,41,  $p < 0,01$ ), comparado a condição placebo.

Apesar destes estudos supracitados mostrarem um efeito positivo da TFBM sobre a RML, os mesmos não levaram em consideração se potenciais fatores moderadores, tais como o tipo de dispositivo/fonte de luz (laser *vs.* LEDs), o membro tratado (membro inferior *vs.* superior) e a diferença entre os sexos (homens *vs.* mulheres), poderiam modular os efeitos da TFBM. Além disso, estes estudos não incluíram uma análise de meta-regressão para examinar o possível efeito dose-resposta da TFBM sobre a RML. Considerando que a RML tem repercussões benéficas para a saúde e desempenho físico, compreender a influência da fonte de luz, membro tratado, sexo, e dose irradiada é crucial para nortear a aplicação desta terapia no contexto clínico e esportivo.

Portanto, para ampliar a literatura existente, a proposta desta meta-análise foi investigar a influência de fatores moderadores (fonte de luz, membro tratado, sexo, e dose irradiada) sobre os efeitos da TFBM na RML em termos de repetições até a falha em exercício resistidos em adultos saudáveis. Esperamos que os achados do presente estudo possam contribuir para a tomada de decisão em relação ao uso da TFBM entre praticantes de atividades recreacionais e esportivas, e profissionais da saúde que atuam em atividades associadas à resistência muscular.

## MÉTODOS

Esta revisão sistemática e meta-análise foi registrada de modo prospectivo no PROSPERO (*International Prospective Register of Systematic Reviews*) sob número CRD42023430324 e seguiu as recomendações do *Handbook da Cochrane*<sup>20</sup> e as diretrizes do PRISMA 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews*)<sup>21</sup>.

### CrITÉRIOS de elegibilidade

Os critérios de elegibilidade foram determinados pelo método PICO<sup>22</sup> (Tabela 1). Foram selecionados ensaios clínicos randomizados (ECRs), de acordo com os seguintes critérios de inclusão: (a) indivíduos adultos saudáveis ( $\geq 18$  e  $\leq 60$  anos), (b) tratamento com TFBM com laser ou LEDs, (c) comparação com placebo, e (d) desfecho: número repetições máximas em exercício resistido dinâmico (repetições até a falha muscular). Foram excluídos os estudos que (a) avaliaram indivíduos idosos ( $> 60$  anos) ou portadores de disfunções metabólicas ou neuromusculares, (b) utilizaram a TFBM combinada com outras fontes de luz ou aplicaram a TFBM com dispositivos mistos (lasers +LEDS), (c) não apresentaram grupo placebo, e (d) analisaram outras medidas de RML.

**Tabela 1.** Critérios de inclusão e exclusão dos estudos selecionados.

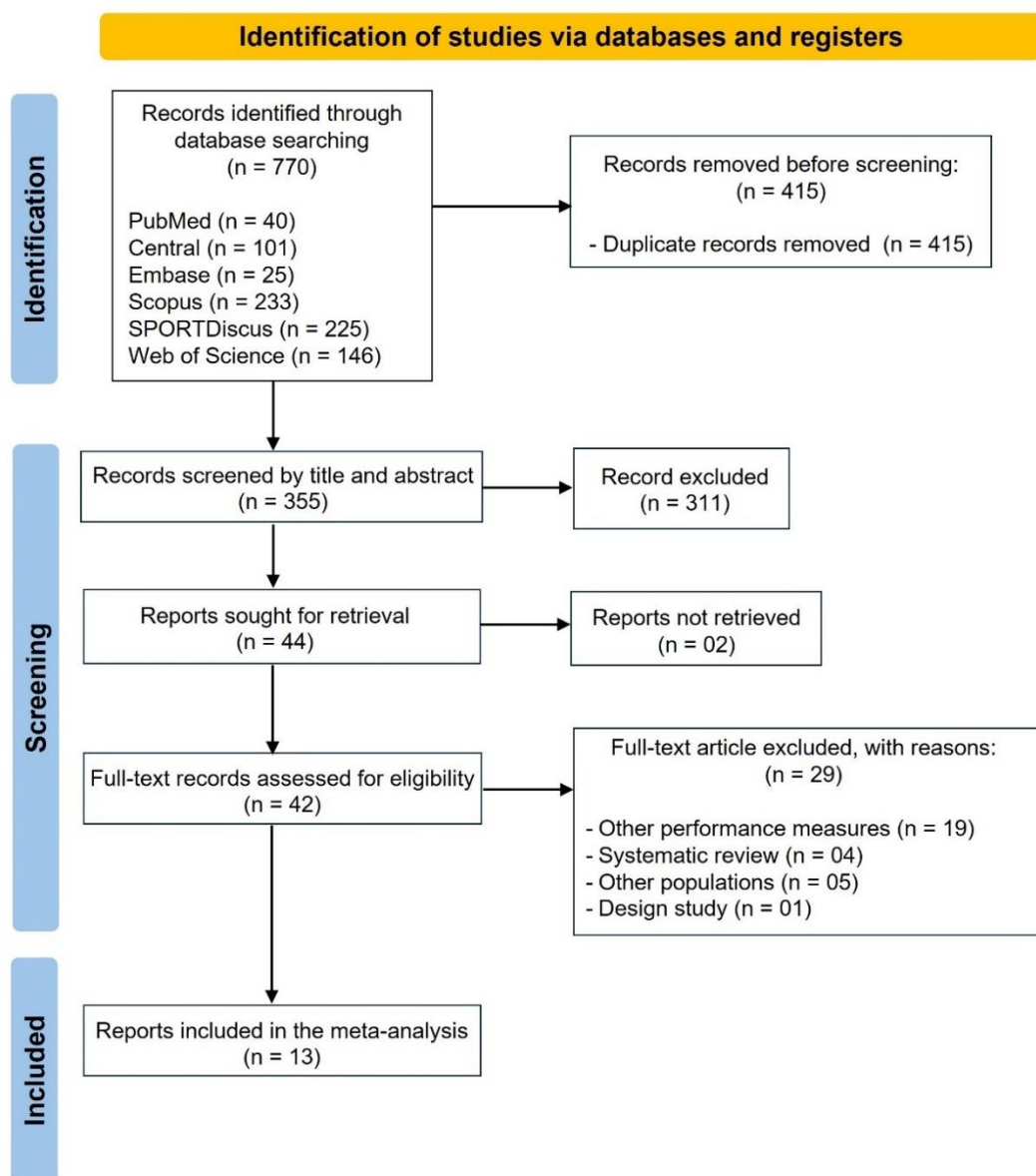
	<b>Critérios de Inclusão</b>	<b>Critérios de Exclusão</b>
<b>P População</b>	- Adultos saudáveis ( $\geq 18$ e $\leq 60$ anos)	- Idosos ( $> 60$ anos) ou indivíduos com alguma disfunção metabólica ou neuromuscular.
<b>I Intervenção</b>	- TFBM com Laser ou diodos emissores de luz (LEDs)	- TFBM combinada com outras fontes de luz, ou aplicação da TFBM com dispositivos mistos (lasers + LEDs)
<b>C Comparação</b>	- Placebo	- Estudo sem grupo placebo
<b>O Outcome</b>	- Número de repetições máximas em exercício resistido dinâmico	- Outras medidas de resistência muscular localizada (tempo até exaustão em exercício isométrico, manutenção da força isométrica ou isocinética, e marcadores indiretos de fadiga muscular.

## **Pesquisa nas bases de dados**

Uma pesquisa eletrônica com filtro para busca de ECRs foi conduzida nas bases de dados *PubMed*, *Web of Science*, *Scopus*, *SportDiscus*, *CENTRAL (Cochrane Library)* e *Embase*, sem a utilização de filtro para limite de data de publicação ou idioma. A última pesquisa foi realizada no dia 10 de maio de 2024. A seguinte estratégia de busca de alta sensibilidade foi adotada: (“*photobiomodulation*” OR “*phototherapy*” OR “*photobiomodulation therapy*” OR “*low-level laser therapy*” OR “*laser therapy*” OR “*light-emitting diode therapy*” OR “*LLLT*” OR “*LEDT*” OR “*LED therapy*” OR “*laser*” OR “*light-emitting diodes*” OR “*super-pulsed laser*”) AND (“*resistance training*” OR “*resistance exercise*” OR “*local muscular endurance*” OR “*local endurance*” OR “*repetition to failure*” OR “*repetitions to failure*” OR “*repetition-to-failure*” OR “*repetitions-to-failure*” OR “*maximum number of repetitions*” OR “*number of repetitions*” OR “*number of maximum repetitions*” OR “*total repetitions*” OR “*single-joint exercise*” OR “*Resistance Training Volume*”).

## **Seleção dos estudos**

Os títulos e resumos dos artigos obtidos nas bases de dados foram extraídos para o *software* RAYYAN. As duplicatas foram excluídas e, em seguida, dois autores (PA e APN) realizaram, de modo independente, a triagem dos estudos pela leitura do título e resumo. As discordâncias entre os autores foram resolvidas por um terceiro autor (AFA). Os estudos selecionados foram analisados na íntegra quanto aos critérios de elegibilidade. Finalmente, procedeu-se uma busca manual nas listas de referências de todos os artigos elegíveis, para encontrar novas referências. Todos os estudos não publicados em língua inglesa ou publicados na literatura cinzenta foram excluídos. O fluxograma do PRISMA que ilustra a seleção dos estudos está resumido na Figura 1.



**Figura 1.** Fluxograma (PRISMA) dos estudos incluídos na meta-análise.

### Extração de dados

Dois revisores (PA e APN) extraíram de forma independente os dados dos estudos elegíveis. Uma planilha Excel padronizada foi utilizada para extração dos seguintes dados: (a) Autor e ano de publicação, (b) número de participantes, (c) desenho do estudo (cruzado ou paralelo), (d) fonte de luz irradiada (laser ou LEDs), (e) dose total de irradiação para o corpo, (f) grupo muscular irradiado, (g) momento da aplicação da TFBM, (h) teste/protocolo de repetições até a falha, e (i) resultados dos estudos, expressos em média e desvio padrão (DP).

## Risco de viés dos estudos

O risco de viés dos estudos incluídos foi avaliado por dois revisores (PA e APN) usando a ferramenta RoB 2, conforme as recomendações do *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* (<https://training.cochrane.org/handbook/current/chapter-08>). A RoB 2 possui cinco domínios referentes a prováveis vieses nos estudos, incluindo o processo de randomização (1), desvios da intervenção pretendida (2), viés proveniente de dados ausentes (3), viés na aferição dos desfechos (4) e viés de relato (5). O julgamento do risco de viés de cada domínio é categorizado como “baixo risco de viés”, “algumas preocupações” ou “alto risco de viés”. Além disso, existe um julgamento de risco de viés geral para cada artigo incluso na revisão sistemática. As divergências foram discutidas e resolvidas entre os autores.

## Qualidade/certeza da Evidência

Para a avaliação da qualidade/certeza da evidência foi utilizado o sistema GRADE (*Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation*), conforme recomendado pelo *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* (<https://training.cochrane.org/handbook/current/chapter-14>). O sistema GRADE apresenta quatro níveis de evidência: alto, moderado, baixo e muito baixo, os quais representam a confiança na estimativa dos efeitos apresentados e a graduação da força de recomendação para tomada de decisão no contexto da saúde<sup>23</sup>.

## Análise estatística

Os dados foram analisados por meio do *software* Comprehensive Meta-Analysis (CMA, versão 2.2.064, Biostat, NJ, EUA). O desfecho principal analisado foi a resistência muscular localizada (isto é, número de repetições máximas em exercício resistido dinâmico). Os dados foram agrupados usando o modelo de efeito fixo, e expressos como diferença média padronizada (DMP) e intervalo de confiança de 95% (IC 95%). O tamanho do efeito da DMP foi categorizado como pequeno (DPM = 0,2), moderado (DPM = 0,5) e grande (DPM = 0,8), conforme proposto por Cohen (1988)<sup>24</sup>. A estatística  $I^2$  foi usada para explorar a heterogeneidade entre os estudos, com  $I^2 < 50\%$ , 50-75% e  $> 75\%$  indicando baixo, moderado e alto nível de heterogeneidade, respectivamente. O nível de significância foi fixado em  $p < 0,05$ . As diferenças entre os subgrupos (fonte de luz: laser vs. LEDs, membro irradiado: m. inferiores vs.

m. superiores, e sexo: homens vs. mulheres) foram analisadas por meio da análise de variância (ANOVA baseada no teste Q). O possível efeito dose-resposta da TFBM sobre a RML foi analisado por meio da análise de meta-regressão. Procedeu-se a inspeção visual da assimetria do gráfico de funil para identificar um possível viés de publicação, e os efeitos do viés de publicação sobre os resultados foram estimados com base no método ‘Trim and Fill’, proposto por Duval e Tweedie<sup>25</sup>.

## RESULTADOS

### Resultados da pesquisa

A pesquisa primária encontrou 770 estudos, sendo 40 do PubMed, 101 do CENTRAL, 25 do Embase, 233 do Scopus, 225 do SPORTDiscuss, e 146 do Web of Science. Após a remoção das duplicatas ( $n = 415$ ), 335 estudos foram analisados pelo título e resumo, resultando na seleção de 44 estudos para análise do texto completo para elegibilidade. Destes 44 estudos, 02 estudos não foram encontrados na íntegra e foram excluídos da análise. Dos 42 estudos remanescentes, 29 foram excluídos e 13 foram incluídos na análise. Os motivos para exclusão dos estudos são apresentados no material suplementar (Tabela 1 suplementar; APÊNDICE I). Nenhum estudo foi incluído de outras fontes de pesquisa após o processo de seleção.

### Características dos estudos

As características dos estudos incluídos são apresentadas na Tabela 2. Treze estudos<sup>10-16, 26-31</sup> foram incluídos na análise, envolvendo 186 participantes, na faixa de idade de 18 a 25 anos. Os estudos foram publicados entre os anos de 2008 e 2022. A maioria dos estudos<sup>10, 11, 13, 26-30</sup> incluiu somente homens, enquanto três estudos<sup>14-16</sup> incluíram somente mulheres e dois estudos<sup>12, 31</sup> incluíram homens e mulheres, com o tamanho da amostra variando entre 7 a 34 participantes/condição de tratamento. Nove estudos<sup>10-12, 14-16, 26, 28, 29</sup> usaram o desenho cruzado/*crossover*, três estudos<sup>27, 30, 31</sup> usaram o desenho paralelo, e um estudo<sup>13</sup> aplicou o desenho com membro contralateral placebo. Nove estudos<sup>10-12, 14, 16, 26-28, 31</sup> usaram dispositivos de laser e quatro estudos<sup>13, 15, 29, 30</sup> usaram dispositivos de LEDs. A dose total de irradiação para o corpo variou de 20 a 56 J (m. superiores) e 50 a 1000 J (m. inferiores), e os músculos tratados foram o bíceps braquial e quadríceps (total ou parcial).

**Tabela 2.** Características dos estudos incluídos na meta-análise.

Estudo	Participantes	Desenho	Fonte de luz	Dose de para corpo	total FBM o	Grupo muscular irradiado	Momento da aplicação da FBM	Teste (protocolo)	Resultado
Azuma et al., 2021	Mulheres adultas não treinadas (n = 13)	Cruzado, duplo-cego e controlado com placebo	Laser infravermelho AsGaAl ( $\lambda$ , 808 nm) equipamento <i>Therapy</i> XT; DMC, São Carlos, SP- Brasil	56 J		Bíceps braquial (ambos os braços)	Pré-teste (10 minutos antes)	Flexão de braço no banco <i>Scott</i> (6 séries à 60% de 1RM até a falha)	FBM: 93±22 PLA: 90±19
Cabreira et al., 2022	Mulheres adultas treinadas em força (n =10)	Cruzado, duplo-cego e controlado com placebo	Dispositivo de LED infravermelho (940 nm) customizado no Laboratório de Óptica e Optoeletrônica da Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Brasil	96 J		Quadríceps (ambas as pernas)	Pré-teste (imediatamente antes)	Extensão de pernas no <i>Leg Press</i> (6 séries à 80% de 1RM até a falha)	FBM: 5.9±16.3 PLA: 5.9±24.5
De Brito Vieira et al., 2014	Homens saudáveis (n=7)	Cruzado, duplo-cego e controlado com placebo	Laser AsGaAl (808nm) Aparelho III; DMC, São Carlos, SP- Brasil	60 J		Vastos lateral e medial, e reto femoral (perna dominante)	2 dias antes do teste durante uma sessão de exercício de extensão/flexão no dinamômetro isocinético consistindo em 3 séries de 20 repetições à 60°/seg.). A FBM foi aplicada no intervalo entre as 3 séries	Extensão de pernas no dinamômetro isocinético (1 série à 60°/seg. até a falha)	FBM: 20.7±41.8 PLA: 62.1±13.5
Dos reis et al., 2014	Jogadores profissionais de futebol (n=9/grupo)	ECR, duplo-cego e controlado com placebo	Protótipo dispositivo de laser de Arseneto de gálio- alumínio (GaAlAs) fabricado pela DMC, São Carlos – Brasil	50,4 J		Quadríceps (ambas as pernas)	Pré-teste (imediatamente antes)	Extensão de pernas (1 série à 75% de 1RM até a falha)	FBM: 37.8±13.1 PLA: 41.2±18.2

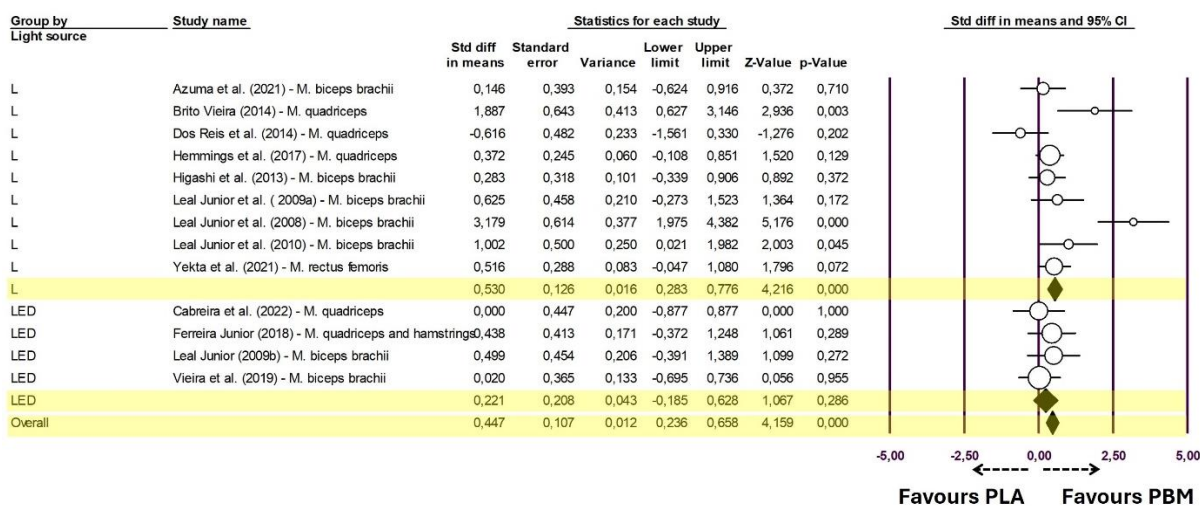
Ferreira-Junior et al., 2018	Homens treinados em força (n=12)	Estudo randomizado, com placebo contralateral	Dispositivo de LED vermelho (660 nm) e infravermelho (850 nm)	834 J	Quadríceps e isquiotibiais (ambas as pernas)	Pré-teste e intervalo entre as séries do teste	<i>Leg press</i> horizontal (4 séries à 80% de 1 RM até a falha)	FBM: 44.4±9.0 PLA: 39.9±11.4
Hemmings et al., 2017	Atletas recreativos treinados (18 homens e 16 mulheres) (n=34)	Cruzado, duplo-cego, randomizado, e controlado com placebo	Laser de baixa frequência ( <i>THOR, London, United Kingdom</i> )	1000 J	Quadríceps (perna dominante)	Pré-teste (3 minutos antes)	Dinamômetro isocinético unilateral - membro dominante (extensão excêntrica do joelho, com carga de 120% da extensão isométrica máxima à 60°/seg., até a falha)	FBM: 61.8±38.7 PLA: 48.6±32.0
Higashi et al., 2013	Mulheres saudáveis (n=20)	Cruzado, triplo-cego, randomizado, e controlado com placebo	Laser (DMC, São Carlos, SP, Brasil)	56 J	Bíceps braquial (braço dominante)	Pré-teste (imediatamente antes)	Flexão/extensão de cotovelo – braço não dominante (número de repetições durante 60s, com carga à 75% de 1RM, até a falha)	FBM: 25.1±9.9 PLA: 22.6±7.6
Leal Júnior et al., 2008	Jogadores profissionais de voleibol masculino (n= 12)	Cruzado, duplo-cego, randomizado, e controlado com placebo	Dispositivo de Laser (655 nm)	20 J	Bíceps braquial (braço não dominante)	Pré-teste (imediatamente antes)	Flexão/extensão de cotovelo no banco <i>Scott</i> com inclinação de 45° – braço não dominante (1 série com carga a 75% de 1RM até a falha)	PBM: 29±2,8 PLA: 19±3,4
Leal Junior et al., 2009a	Jogadores profissionais de voleibol masculino (n=10)	Cruzado, duplo-cego, randomizado, e controlado com placebo	Laser 830 nm, <i>Theralaser</i> Infravermelho, DMC, São Carlos – SP	20 J	Bíceps braquial (braço não dominante)	Pré-teste (imediatamente antes)	Flexão/extensão de cotovelo no banco <i>Scott</i> com inclinação de 45° – braço não dominante (1 série com carga a 75% de 1RM até a falha)	FBM: 30.1 ±8.0 PLA: 25.6±6.1
Leal Junior et al., 2009b	Jogadores profissionais	Cruzado, duplo-cego,	Conjunto de LED (660 e 850 nm), <i>Thor</i> ,	41.7 J	Bíceps braquial	Pré-teste (3 minutos antes)	Flexão/extensão de cotovelo no banco	FBM: 38.6±9.0 PLA: 34.2±8.6

	de voleibol masculino (n=10)	randomizado, e controlado com placebo	<i>Photomedicine, Londres, UK</i>		(braço não dominante)		<i>Scott</i> com inclinação de 45° – braço não dominante (1 série com carga a 75% de 1RM até a falha)	
Leal Junior et al., 2010	Jogadores de voleibol masculino saudáveis (n=9)	Cruzado, duplo-cego, randomizado, e controlado com placebo	Laser (810 nm), <i>Thor, photomedicine, Chesham, UK</i>	60 J	Bíceps braquial (braço não dominante)	Pré-teste (3 minutos antes)	Flexão/extensão de cotovelo no banco <i>Scott</i> com inclinação de 45° - braço não dominante (1 série com carga a 75% de 1RM até a falha)	FBM: 39.6±4.3 PLA: 34.6±5.6
Vieira et al., 2019	Homens não treinados (n=15/grupo)	ECR controlado com placebo	Cluster de LED (660 e 850 nm), DMC, São Carlos – SP.	28 J	Bíceps braquial (braço dominante)	Após cada sessão de TR (2 x/semana) durante 8 semanas	Flexão/extensão de cotovelo bilateral no banco <i>Scott</i> (última sessão de treino: 2 séries à 60-75% de 1 RM até a falha)	FBM: 125±49 PLA: 124±49
Yekta et al., 2021	Adultos sedentários (31 homens, 19 mulheres) (n=25/grupo)	ECR, duplo-cego e controlado com placebo	Laser 810 nm, <i>MPTC, LMPJ 200, Irã.</i>	10.8 J	Reto femoral	Pré-teste (imediatamente antes)	Extensão de pernas na cadeira extensora (1 série com 10 kg até a falha)	FBM: 12.5±1.8 PLA: 11.4±2.4

**Legenda:** ECR: Ensaio clínico randomizado, FBM: terapia de fotobiomodulação, PLA: placebo, 1RM: uma repetição máxima, TR: treinamento resistido

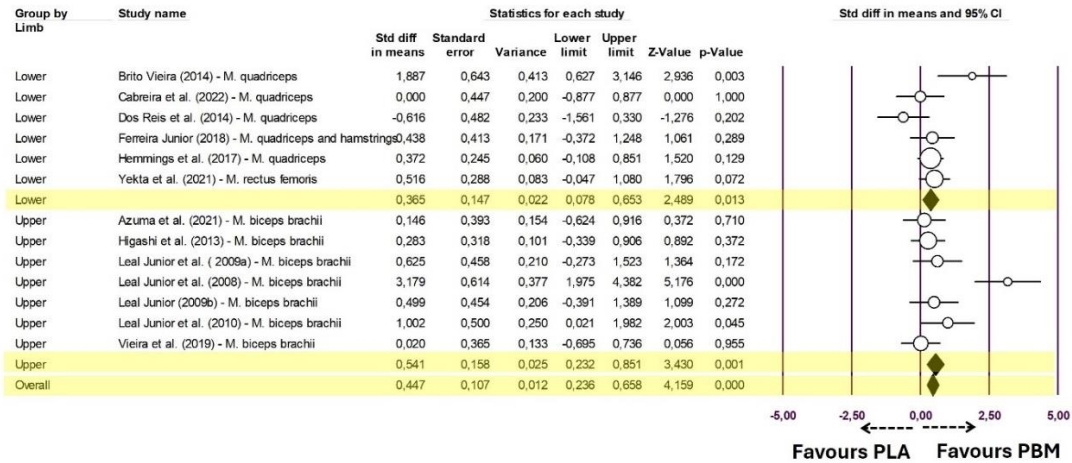
## Principais resultados

A Figura 2 apresenta o *Forest plot* comparando os efeitos da TFBM com diferentes fontes de luz (subgrupos: laser vs. LEDs) sobre o número de repetições máximas, e o efeito global incluindo todos os estudos. Houve um efeito global a favor da TFBM, comparado a condição placebo ( $DMP_{95\%} = 0,44 [0,23;0,65]$ ,  $p < 0,0001$ ). Em comparação com a condição placebo, houve uma efeito significativo a favor do laser ( $DMP_{95\%} = 0,53 [0,28;0,77]$ ,  $p < 0,0001$ ), mas não a favor do LED ( $DMP_{95\%} = 0,22 [-0,18;0,63]$ ,  $p = 0,28$ ). Na comparação entre os subgrupos, não houve diferença significativa entre o laser vs. LED (interação,  $p = 0,15$ ).



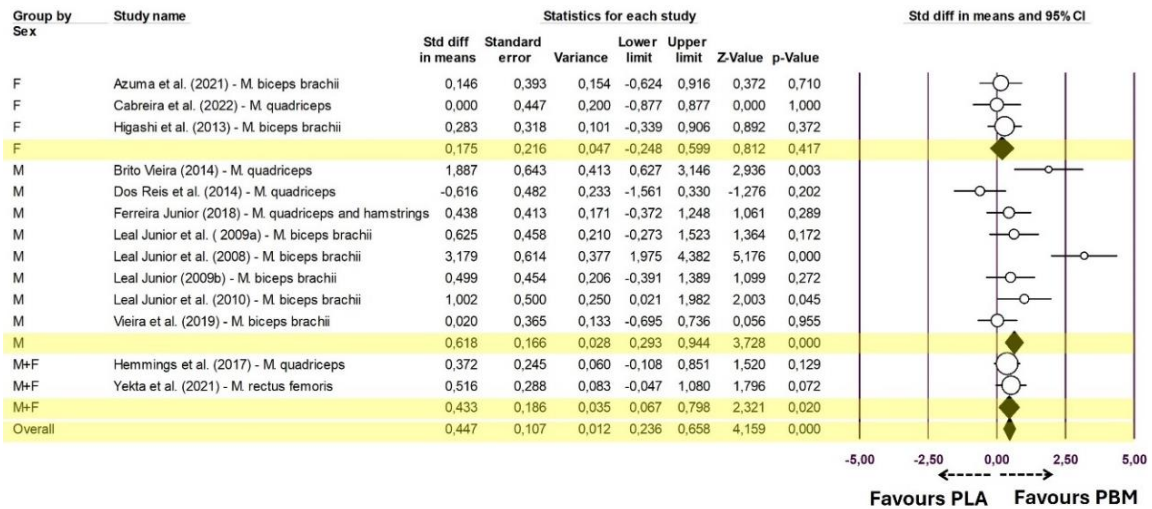
**Figura 2.** *Forest plot* comparando os efeitos da TFBM com diferentes fontes de luz (subgrupos: laser vs. LED) sobre o número de repetições máximas. L: laser; IC: intervalo de confiança.

A Figura 3 apresenta o *Forest plot* comparando os efeitos da TFBM sobre o número de repetições máximas em diferentes membros do corpo (subgrupos: m. inferiores vs. m. superiores), e o efeito global incluindo todos os estudos. Em comparação com a condição placebo, houve uma efeito significativo da TFBM em ambos os membros inferiores ( $DMP_{95\%} = 0,36 [0,07;0,65]$ ,  $p = 0,013$ ) e superiores ( $DMP_{95\%} = 0,54 [0,23;0,85]$ ,  $p < 0,001$ ). Na comparação entre os subgrupos, não houve diferença significativa nos efeitos da TFBM entre os m. superiores vs. superiores (interação,  $p = 0,36$ ).



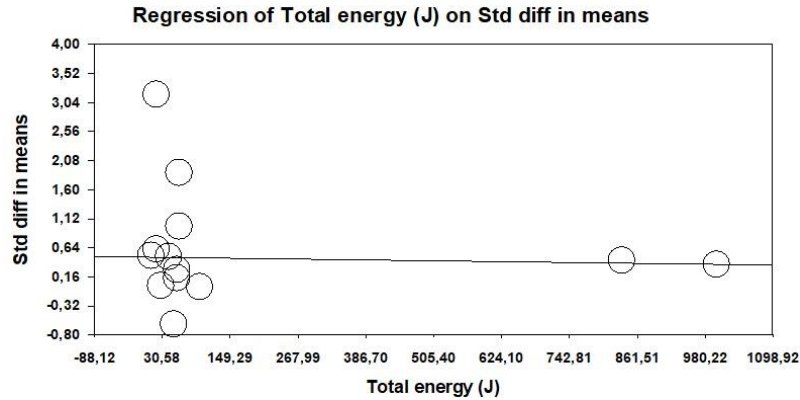
**Figura 3.** *Forest plot* comparando os efeitos da TFBM sobre o número de repetições máximas em diferentes membros do corpo (subgrupos: m. inferiores vs. m. superiores). IC: intervalo de confiança.

A Figura 4 apresenta o *Forest plot* comparando os efeitos da TFBM sobre o número de repetições máximas em ambos os sexos (subgrupos: homens vs. mulheres vs. homens + mulheres), e o efeito global incluindo todos os estudos. Em comparação com a condição placebo, houve uma efeito significativa da TFBM nos estudos envolvendo somente homens ( $DMP_{95\%} = 0,61 [0,29;0,94]$ ,  $p < 0,0001$ ) e homens + mulheres ( $DMP_{95\%} = 0,43 [0,06;0,79]$ ,  $p = 0,02$ ), mas nenhum efeito foi encontrado nos estudos envolvendo somente mulheres ( $DMP_{95\%} = 0,17 [-0,24;0,59]$ ,  $p = 0,41$ ) Na comparação entre os subgrupos, não houve diferença significativa nos efeitos da TFBM entre os homens vs. mulheres vs. homens + mulheres (interação,  $p = 0,30$ ).



**Figura 4.** *Forest plot* comparando os efeitos da TFBM sobre o número de repetições máximas em ambos os sexos (homens vs. mulheres vs. homens + mulheres). IC: intervalo de confiança.

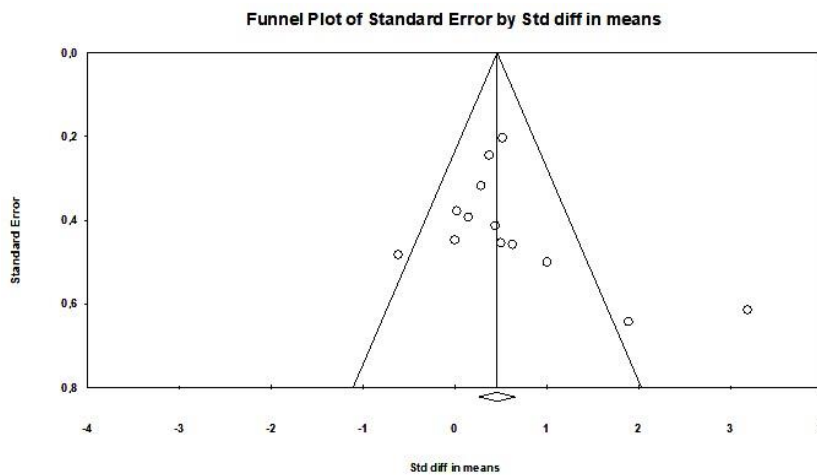
A Figura 5 apresenta a análise de meta-regressão do efeito da dose de irradiação (total de energia) sobre o número de repetições máximas nas condições de TFBM vs. placebo. Não houve um efeito dose-resposta da TFBM ( $Slope; p = 0,68$ ) sobre o número de repetições máximas.



**Figura 5.** Meta-regressão do efeito da dose de irradiação (total de energia) sobre o número de repetições máximas nas condições de TFBM vs. placebo.

### Risco de viés entre os estudos

O viés de publicação foi avaliado por meio de inspeção visual do gráfico de funil (Figura 6). Nenhum estudo *trimmed* foi identificado pelo modelo de correção de Duval e Tweedie<sup>25</sup>, indicando ausência de potencial viés de publicação. A análise da consistência pelo  $I^2$  [65,1 ( $p = 0,001$ )], indicou moderada heterogeneidade entre os estudos.



**Figura 6 -** Gráfico de funil para viés de publicação.

## Risco de viés dos estudos

A Figura 7 apresenta o risco de viés dos estudos incluídos. A classificação média da qualidade dos estudos avaliada pela escala RoB2 foi de baixo risco, indicando que o conjunto de estudos é de boa a excelente qualidade. Apenas dois estudos apresentaram ‘algumas preocupações’ no processo de randomização.

<u>Identificação do estudo</u>	<u>D1</u>	<u>D2</u>	<u>D3</u>	<u>D4</u>	<u>D5</u>	<u>Geral</u>	
Azuma., 2021	+	+	+	+	+	+	+
Vieira et al., 2014	+	+	+	+	+	+	!
Cabreira et al., 2022	+	+	+	+	+	+	-
Reis et al., 2014	+	+	+	+	+	+	
Ferreira Junior et al., 2017	+	+	+	+	+	+	
Hemmings et al., 2017	!	+	+	+	+	!	
Higashi et al., 2013	+	+	+	+	+	+	
leal Junior et al., 2008	+	+	+	+	+	+	
Leal Junior et al., 2009	+	+	+	+	+	+	
Leal Junior et al., 2009	+	+	+	+	+	+	
Leal Junior et al., 2010	+	+	+	+	+	+	
Vieira et al., 2017	!	+	+	+	+	!	
Yekta et al., 2021	+	+	+	+	+	+	

+	Baixo risco
!	Algumas preocupações
-	Alto Risco
D1	Processo de Randomização
D2	Desvio das intervenções pretendidas
D3	Dados dos resultados ausentes
D4	Medição do resultado
D5	Seleção do resultado relatado

**Figura 7.** Avaliação do risco de viés pela escala RoB2.

## Qualidade/certeza da evidência

A Tabela 3 apresenta a análise da qualidade/certeza da evidência para eficácia da TFBM comparada com placebo sobre a RML em adultos saudáveis. Na abordagem GRADE, avaliamos a certeza de um conjunto de evidências determinando o quão confiantes podemos estar de que uma estimativa de efeito ou associação é verdadeira. No presente estudo, apenas o desfecho Laser vs. placebo apresentou baixa certeza (95%IC – DMP 0.271, 0.015-0.556), enquanto os demais desfechos (TFBM vs. Placebo, LED vs. Placebo, TFBM vs. Placebo para membros superiores e inferiores) apresentaram moderada certeza de evidência.

**Tabela 3** - Certeza da evidência para eficácia da TFBM comparado com placebo para resistência muscular localizada em adultos saudáveis.

Certeza da Evidência							N° de pacientes		Efeito	Certeza	Importância
Nº dos estudos	Delineamento do estudo	Risco de viés	Inconsistência	Evidência indireta	Imprecisão	Outras considerações	FBM	Placebo	Absoluto (95% IC)		
<b>Certeza da evidência para os efeitos da TFBM vs Placebo na resistência muscular localizada</b>											
13	ECR	não grave	não grave	não grave	grave <sup>a</sup>	nenhum	186	186	DMP <b>0.343</b> (0.14, 0.546)	⊕⊕⊕○ Moderada	IMPORTANTE
<b>Certeza da evidência para os efeitos do Laser vs Placebo na resistência muscular localizada</b>											
9	ECR	não grave	não grave	não grave	grave <sup>a</sup>	nenhum	96	96	DMP <b>0.271</b> (0.015, 0.556)	⊕⊕○○ Baixa	IMPORTANTE
<b>Certeza da evidência para os efeitos do LED vs Placebo na resistência muscular localizada</b>											
4	ECR	não grave	não grave	não grave	grave <sup>a</sup>	nenhum	95	95	DMP <b>0.417</b> (0.128, 0.706)	⊕⊕⊕○ Moderada	IMPORTANTE
<b>Certeza da evidência para os efeitos da TFBM vs Placebo na resistência muscular localizada de MI</b>											
6	ECR	não grave	não grave	não grave	grave <sup>a</sup>	nenhum	115	114	DMP <b>0.332</b> (0.071, 0.594)	⊕⊕⊕○ Moderada	IMPORTANTE
<b>Certeza da evidência para os efeitos da TFBM vs Placebo na resistência muscular localizada de MS</b>											
7	ECR	não grave	não grave	não grave	grave <sup>a</sup>	nenhum	76	76	DMP <b>0.359</b> (0.037, 0.682)	⊕⊕⊕○ Moderada	IMPORTANTE

ECR: Ensaio clínico randomizado; IC: Intervalo de confiança; TFBM: terapia de fotobiomodulação; MI: Membros inferiores; MS: Membros superiores. Explicações: <sup>a</sup> tamanho da amostra abaixo do ideal

## DISCUSSÃO

A proposta da presente meta-análise foi investigar os efeitos da TFBM, e a influência de potenciais fatores moderadores (fonte de luz, membro tratado, sexo, e dose irradiada), sobre a RML em termos de repetições máximas em exercício resistidos em adultos saudáveis. A maioria dos estudos incluídos nesta meta-análise apresentaram baixo risco de viés, conforme análise realizada por meio da ferramenta RoB2 (*Revised Cochrane risk-of-bias tool for randomized trials*). A Rob 2 é recomendada pela colaboração *Cochrane* para avaliar o risco de viés de ensaios clínicos randomizados, evidenciando que as evidências apresentadas neste estudo são confiáveis e fornecem importantes recomendações para a prática clínica.

Os resultados mostraram que a TFBM aplicada antes do exercício (pré-condicionamento) é capaz de aumentar o número de repetições até a falha. A análise dos fatores moderadores (subgrupos) indicou (i) um efeito significativo somente para os dispositivos de laser, (ii) um efeito significativo para ambos os membros superiores e inferiores, com maior magnitude de efeito para os músculos do membro superior (isto é, bíceps braquial), e (iii) um efeito significativo somente para os estudos envolvendo homens. Adicionalmente, a maioria dos estudos aplicou uma dose total de irradiação na faixa de 20 a 100 J, e nenhum efeito dose-resposta foi observado.

Alguns mecanismos poderiam explicar os efeitos benéficos da TFBM no número de repetições máximas. Primeiramente, a TFBM pode melhorar a atividade mitocondrial, resultando no aumento da ATP<sup>12-14, 16, 27, 28</sup> e, conseqüentemente, no aumento da biodisponibilidade de energia para os músculos ativos. Alguns estudos também reportaram que TFBM pode aumentar a produção de óxido nítrico – um potente agente vasodilatador<sup>32-34</sup>, resultando no aumento do fornecimento de nutrientes e oxigênio aos tecidos ativos. Finalmente, tem sido sugerido que a TFBM pode melhorar a ressíntese de fosfocreatina (*phosphocreatine*, PCr)<sup>35</sup> e, conseqüentemente, fornecer a energia necessária para a ressíntese de ATP durante os períodos recuperação de exercícios intermitentes de alta intensidade (por exemplo, no repouso entre as séries de exercícios resistidos).

Este aumento da RML induzido pela TFBM pode ser favorável para diversos contextos da atividade física e esporte (ex: atividades relacionados à resistência muscular), assim como para a manutenção da capacidade funcional diária e tratamento de condições fisiológicas (ex: envelhecimento) e patológicas (ex: doença pulmonar obstrutiva crônica, DPOC)<sup>36</sup> associadas ao declínio da resistência muscular. Vale também ressaltar que a RML é negativamente

associada com fatores de risco cardiovasculares<sup>37</sup>, indicando que o aumento da RML pode ser fator de proteção contra eventos cardíacos.

Os estudos incluídos nesta meta-análise aplicaram o protocolo de TFBM antes do teste ou sessões de treinamento (pré-condicionamento), com comprimento de onda na faixa de 655 a 950 nm, e dose total de irradiação variando de 20-56 J e 50-1000 J (m. inferiores) para os músculos bíceps braquial e quadríceps, respectivamente. Contrários ao LEDs, os dispositivos de laser melhoraram o número de repetições máximas, com efeitos significantes para ambos os membros (m. inferiores e superiores). No entanto, a TFBM foi efetiva somente nos estudos que incluíram homens, indicando um possível efeito dependente do sexo. No entanto, o número reduzido de estudos com mulheres ( $n = 3$ ), não permite estabelecer conclusões consistentes sobre os efeitos da TFBM nesta população. Futuros estudos são necessários para examinar se (e como) as diferenças morfofisiológicas e metabólicas entre homens e mulheres podem influenciar os efeitos da TFBM sobre o número de repetições máximas. Considerando que os efeitos da TFBM são associados à área muscular irradiada, é possível especular que um maior volume muscular absoluto (homens: 33.0 vs. mulheres: 21.0 kg) e relativo (homens: 38.4 vs. mulheres: 30.6%) em homens<sup>38</sup>, poderia favorecer os efeitos da TFBM. No entanto, esta hipótese é meramente especulativa e necessita ser confirmada em futuros estudos.

Na análise de meta-regressão para investigar um possível efeito dose-resposta da TFBM no número de repetições máximas não encontramos um *slope* que indicasse esse efeito. Evidências científicas sugerem uma possível resposta bifásica da terapia com FBM sobre o desempenho físico, em que doses mais baixas podem resultar em efeitos estimulantes, enquanto doses muito elevadas podem promover um efeito potencialmente inibitório<sup>33</sup>. No entanto, nos resultados evidenciaram que a maioria dos estudos aplicou doses inferiores a 100 J, com apenas dois estudos<sup>12, 13</sup> usando doses superiores a 800 J. Isto sugere a necessidade de futuros adicionais com doses mais elevadas para confirmar se os efeitos da TFBM são dose-dependentes.

### **Forças e limitações**

Este estudos apresenta algumas força que devem ser mencionadas: 1) Esta é a primeira meta-análise que investigou a influência de fatores moderadores (fonte de luz, membro tratado, e sexo) sobre os efeitos da TFBM no número de repetições máximas em adultos saudáveis, 2) Nós incluímos também a análise de meta-regressão para investigar um possível efeito dose-resposta da TFBM sobre o número de repetições máximas, 3) Os estudos apresentam elevada

similaridade metodológica (ex: a maioria aplicou um desenho cruzado, somente adultos jovens, somente dois grupos musculares tratados [bíceps braquial e quadríceps]), somente duas fontes de irradiação [laser ou LEDs], momento de aplicação pré-teste, e teste de repetições máximas somente em dois exercícios [flexão de braços e extensão de pernas]), possibilitando estabelecer conclusões mais robustas sobre os efeitos da TFBM no número de repetições máximas, e 4) Os estudos apresentaram qualidade metodológica boa a excelente, e a certeza da evidência foi moderada, indicando que os achados da presente meta-análise fornecem recomendações práticas consistentes para indivíduos interessados em aumentar a resistência muscular localizada.

Algumas limitações também devem ser mencionadas. 1) Os estudos apresentaram elevada heterogeneidade em termos de aptidão física dos participantes, incluindo indivíduos sedentários, treinados em força, e atletas de futebol e voleibol. Um maior conteúdo mitocondrial em indivíduos fisicamente ativos ou atletas poderia ser um fator de confusão, uma vez que os efeitos da TFBM parecem ser mais pronunciados em músculos com maior número de mitocôndrias<sup>39</sup>, 2) A heterogeneidade dos parâmetros da TFBM também poderia ser um fator de confusão, visto que os efeitos desta terapia são dependentes de várias configurações dos dispositivos, tais como: a potência máxima, a densidade de energia irradiada, o comprimento de onda, o tamanho da área irradiada, etc.<sup>19</sup> Portanto, futuros estudos devem examinar a possível influência destes diferentes parâmetros sobre os efeitos da TFBM, e 3) A literatura sobre o tópico apresenta um número reduzido de estudos envolvendo dispositivos de LEDs e amostra com mulheres, dificultando o estabelecimento de um consenso sobre a eficácia da TFBM com LEDs, principalmente em mulheres. Estudos adicionais são necessários para determinar se as diferenças morfofisiológicas e metabólicas entre homens e mulheres podem afetar os efeitos da TFBM no número de repetições máximas.

### **Implicações práticas**

- A TFBM aplicada antes do exercício (pré-condicionamento) pode ser uma estratégia não invasiva, de baixo custo e de fácil aplicação para indivíduos interessados em melhorar a RML em termos de número de repetições máximas em exercícios resistidos dinâmicos.

- Enquanto a irradiação com laser mostrou-se efetiva, o número limitado de estudos com LEDs não possibilita estabelecer conclusões sobre a sua real eficácia.

- A TFBM é eficaz para ambos os membros do corpo (m. superiores e inferiores), com maior magnitude de efeito para os músculos do membro superior (bíceps braquial).

- Enquanto a TFBM mostrou-se efetiva somente nos estudos com homens, o número limitado de estudos com mulheres não possibilita estabelecer conclusões sobre um possível efeito dependente do sexo.

- Os efeitos da TFBM parecem não ser dose-dependente, e a maioria dos estudos aplicou uma dose total para o corpo variando de 20 a 100 J.

## **CONCLUSÃO**

Nossos achados indicam que a TFBM com laser (contrário aos LEDs), comparado ao placebo, melhora a resistência muscular em termos de repetições máximas em exercício resistido dinâmico em adultos jovens saudáveis, e este efeito parece não ser dose-dependente. A TFBM é eficaz para ambos os membros do corpo (superior e inferior), com maior magnitude de efeito para os músculos do membro superior (bíceps braquial). Além disso, a TFBM apresentou eficácia somente nos estudos que incluíram homens, indicando um possível efeito dependente do sexo.

Ressaltamos que os nossos achados indicando uma falta de eficácia dos LEDs sobre a resistência muscular, e a ausência de efeito da TFBM nas mulheres, devem ser interpretados com cautela, pois a literatura sobre o tópico apresenta um número escasso de estudos. Portanto, estudos adicionais de alta qualidade são necessários para estabelecer conclusões mais robustas sobre a eficácia dos LEDs na resistência muscular, e os possíveis efeitos da TFBM com laser e LEDs em mulheres.

## REFERÊNCIAS

1. Anders JJ, Arany PR, Baxter GD, Lanzafame RJ. Light-Emitting Diode Therapy and Low-Level Light Therapy Are Photobiomodulation Therapy. *Photobiomodul Photomed Laser Surg*. 2019;37(2):63-5.
2. de Freitas LF, Hamblin MR. Proposed Mechanisms of Photobiomodulation or Low-Level Light Therapy. *IEEE journal of selected topics in quantum electronics : a publication of the IEEE Lasers and Electro-optics Society*. 2016;22(3).
3. Ferraresi C, Kaippert B, Avci P, Huang YY, de Sousa MV, Bagnato VS, et al. Low-level laser (light) therapy increases mitochondrial membrane potential and ATP synthesis in C2C12 myotubes with a peak response at 3-6 h. *Photochem Photobiol*. 2015;91(2):411-6.
4. Ferraresi C, de Sousa MV, Huang YY, Bagnato VS, Parizotto NA, Hamblin MR. Time response of increases in ATP and muscle resistance to fatigue after low-level laser (light) therapy (LLLT) in mice. *Lasers Med Sci*. 2015;30(4):1259-67.
5. Wang X, Tian F, Soni SS, Gonzalez-Lima F, Liu H. Interplay between up-regulation of cytochrome-c-oxidase and hemoglobin oxygenation induced by near-infrared laser. *Sci Rep*. 2016;6:30540.
6. Linares SN, Beltrame T, Ferraresi C, Galdino GAM, Catai AM. Photobiomodulation effect on local hemoglobin concentration assessed by near-infrared spectroscopy in humans. *Lasers Med Sci*. 2020;35(3):641-9.
7. Kashiwagi S, Morita A, Yokomizo S, Ogawa E, Komai E, Huang PL, et al. Photobiomodulation and nitric oxide signaling. *Nitric Oxide*. 2023;130:58-68.
8. Deschenes MR, Kraemer WJ. Performance and physiologic adaptations to resistance training. *Am J Phys Med Rehabil*. 2002;81(11 Suppl):S3-16.
9. Schoenfeld BJ, Grgic J, Van Every DW, Plotkin DL. Loading Recommendations for Muscle Strength, Hypertrophy, and Local Endurance: A Re-Examination of the Repetition Continuum. *Sports (Basel)*. 2021;9(2).
10. Leal Junior EC, Lopes-Martins RA, Dalan F, Ferrari M, Sbabo FM, Generosi RA, et al. Effect of 655-nm low-level laser therapy on exercise-induced skeletal muscle fatigue in humans. *Photomed Laser Surg*. 2008;26(5):419-24.

11. Leal Junior EC, Lopes-Martins RA, Vanin AA, Baroni BM, Grosselli D, De Marchi T, et al. Effect of 830 nm low-level laser therapy in exercise-induced skeletal muscle fatigue in humans. *Lasers Med Sci.* 2009;24(3):425-31.
12. Hemmings TJ, Kendall KL, Dobson JL. Identifying Dosage Effect of Light-Emitting Diode Therapy on Muscular Fatigue in Quadriceps. *J Strength Cond Res.* 2017;31(2):395-402.
13. Ferreira Junior A, Schamne JC, de Moraes SMF, Okuno NM. Cardiac autonomic responses and number of repetitions maximum after LED irradiation in the ipsilateral and contralateral lower limb. *Lasers Med Sci.* 2018;33(2):353-9.
14. Higashi RH, Toma RL, Tucci HT, Pedroni CR, Ferreira PD, Baldini G, et al. Effects of low-level laser therapy on biceps braquialis muscle fatigue in young women. *Photomed Laser Surg.* 2013;31(12):586-94.
15. Cabreira LMB, Merlo JK, Jacinto JL, Nunes JP, Ribeiro AS, Aguiar AF. Photobiomodulation therapy with light-emitting diode does not improve lower-body muscle performance and delayed-onset muscle soreness in resistance-trained women: A randomized, controlled, crossover trial. *Science & Sports.* 2022;37(7):635.e1-.e9.
16. Azuma RHE, Merlo JK, Jacinto JL, Borim JM, da Silva RA, Pacagnelli FL, et al. Photobiomodulation Therapy at 808 nm Does Not Improve Biceps Brachii Performance to Exhaustion and Delayed-Onset Muscle Soreness in Young Adult Women: A Randomized, Controlled, Crossover Trial. *Front Physiol.* 2021;12:664582.
17. Dutra YM, Malta ES, Elias AS, Broatch JR, Zagatto AM. Deconstructing the Ergogenic Effects of Photobiomodulation: A Systematic Review and Meta-analysis of its Efficacy in Improving Mode-Specific Exercise Performance in Humans. *Sports Med.* 2022;52(11):2733-57.
18. Leal-Junior EC, Vanin AA, Miranda EF, de Carvalho Pde T, Dal Corso S, Bjordal JM. Effect of phototherapy (low-level laser therapy and light-emitting diode therapy) on exercise performance and markers of exercise recovery: a systematic review with meta-analysis. *Lasers Med Sci.* 2015;30(2):925-39.
19. Vanin AA, Verhagen E, Barboza SD, Costa LOP, Leal-Junior ECP. Photobiomodulation therapy for the improvement of muscular performance and reduction of muscular fatigue associated with exercise in healthy people: a systematic review and meta-analysis. *Lasers Med Sci.* 2018;33(1):181-214.

20. HIGGINS, J.P.T, THOMAS JCJ, CUMPSTON M, PAGE MJ, WELCH VA. Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions version 6.4 (updated August 2023). 2023 [Available from: <http://www.training.cochrane.org/handbook>].
21. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. [The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas]. Revista panamericana de salud publica = Pan American journal of public health. 2022;46:e112.
22. Methley AM, Campbell S, Chew-Graham C, McNally R, Cheraghi-Sohi S. PICO, PICOS and SPIDER: a comparison study of specificity and sensitivity in three search tools for qualitative systematic reviews. BMC Health Serv Res. 2014;14:579.
23. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência TeIEdDcET. Diretrizes metodológicas: Sistema GRADE-Manual de graduação da qualidade da evidência e força de recomendação para tomada de decisão em saúde. Ministério da Saúde Brasília; 2014.
24. Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2nd ed. New York: routledge; 1988. 567 p.
25. Duval S, Tweedie R. Trim and fill: A simple funnel-plot-based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. Biometrics. 2000;56(2):455-63.
26. de Brito Vieira WH, Bezerra RM, Queiroz RA, Maciel NF, Parizotto NA, Ferraresi C. Use of low-level laser therapy (808 nm) to muscle fatigue resistance: a randomized double-blind crossover trial. Photomed Laser Surg. 2014;32(12):678-85.
27. Dos Reis FA, da Silva BA, Laraia EM, de Melo RM, Silva PH, Leal-Junior EC, et al. Effects of pre- or post-exercise low-level laser therapy (830 nm) on skeletal muscle fatigue and biochemical markers of recovery in humans: double-blind placebo-controlled trial. Photomed Laser Surg. 2014;32(2):106-12.
28. Leal Junior EC, Lopes-Martins RA, Rossi RP, De Marchi T, Baroni BM, de Godoi V, 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. 2009;41(8):572-7.
29. Leal Junior EC, Lopes-Martins RA, Frigo L, De Marchi T, Rossi RP, de Godoi V, et al. Effects of low-level laser therapy (LLLT) in the development of exercise-induced skeletal muscle fatigue and changes in biochemical markers related to postexercise recovery. J Orthop Sports Phys Ther. 2010;40(8):524-32.

30. Vieira K, Ciol MA, Azevedo PH, Pinfildi CE, Renno ACM, Colantonio E, et al. Effects of Light-Emitting Diode Therapy on the Performance of Biceps Brachii Muscle of Young Healthy Males After 8 Weeks of Strength Training: A Randomized Controlled Clinical Trial. *J Strength Cond Res.* 2019;33(2):433-42.
31. Abedi Yekta AH, Tabei F, Salehi S, Sohrabi M-R, Poursaeidesfahani M, Hassabi M, et al. Effect of Low-Level Laser Therapy on Muscle Strength and Endurance and Post-Exercise Recovery of Young Adult: A Double-Blind, Placebo-Controlled, Randomized Clinical Trial. *Ann-Appl-Sport-Sci.* 2021;9(2):0-.
32. Ferraresi C, Huang YY, Hamblin MR. Photobiomodulation in human muscle tissue: an advantage in sports performance? *J Biophotonics.* 2016;9(11-12):1273-99.
33. Hamblin MR. Mechanisms and applications of the anti-inflammatory effects of photobiomodulation. *AIMS Biophys.* 2017;4(3):337-61.
34. Poyton RO, Ball KA. Therapeutic photobiomodulation: nitric oxide and a novel function of mitochondrial cytochrome c oxidase. *Discovery medicine.* 2011;11(57):154-9.
35. Ferraresi C, Hamblin MR, Parizotto NA. Low-level laser (light) therapy (LLLT) on muscle tissue: performance, fatigue and repair benefited by the power of light. *Photonics & lasers in medicine.* 2012;1(4):267-86.
36. Shah S, Nahar P, Vaidya S, Salvi S. Upper limb muscle strength & endurance in chronic obstructive pulmonary disease. *Indian J Med Res.* 2013;138(4):492-6.
37. Vaara JP, Fogelholm M, Vasankari T, Santtila M, Häkkinen K, Kyröläinen H. Associations of maximal strength and muscular endurance with cardiovascular risk factors. *Int J Sports Med.* 2014;35(4):356-60.
38. Janssen I, Heymsfield SB, Wang ZM, Ross R. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. *J Appl Physiol (1985).* 2000;89(1):81-8.
39. Zein R, Selting W, Hamblin MR. Review of light parameters and photobiomodulation efficacy: dive into complexity. *J Biomed Opt.* 2018;23(12):1-17.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A TFBM com laser (contrário aos LEDs) aplicada antes do exercício (pré-condicionamento) pode ser uma estratégia não invasiva, de baixo custo e de fácil aplicação para indivíduos interessados em melhorar a RML em termos de número de repetições máximas em exercícios resistidos dinâmicos. A TFBM é capaz de aumentar o número de repetições máximas em ambos os membros do corpo (superior e inferior), com maior magnitude de efeito para os músculos do membro superior (bíceps braquial). Além disso, a TFBM apresentou eficácia somente nos estudos que incluíram homens, indicando um possível efeito dependente do sexo.

Ressaltamos que os nossos achados indicando uma falta de eficácia dos LEDs sobre a resistência muscular, e a ausência de efeito da TFBM nas mulheres, devem ser interpretados com cautela, pois a literatura sobre o tópico apresenta um número escasso de estudos. Portanto, estudos adicionais de alta qualidade são necessários para estabelecer conclusões mais robustas sobre a eficácia dos LEDs na resistência muscular, e os possíveis efeitos da TFBM com laser e LEDs em mulheres.

Esperamos que os achados do presente estudo possam contribuir para a tomada de decisão em relação ao uso da TFBM entre praticantes de atividades recreacionais e esportivas, e profissionais da saúde que atuam em atividades associadas à resistência muscular.

## APÊNDICE I

**Tabela 1 complementar.** Estudos excluídos

<b>Nome do autor</b>	<b>Nome do estudo</b>	<b>Motivo da Exclusão</b>
Baroni <i>et al.</i> 2015	Effect of low-intensity laser therapy on muscular adaptation to eccentric training of knee extensors	Medida de avaliação: pico de torque, espessura muscular via Ultrassom
Rodrigues <i>et al.</i> 2021	Effects of Photobiomodulation/Laser Therapy Combined with Resistance Training on Quadriceps Hypertrophy and Strength and Postural Balance in Older Women: A Randomized, Triple-Blind, Placebo-Controlled Study	Medida de avaliação: teste de 1 RM e resistência muscular População: idosas
Maciel <i>et al.</i> 2014	Effect of Phototherapy on muscle activity in regular practitioners of physical activity	Medida de avaliação: pico de torque, eletromiografia
Felismino <i>et al.</i> 2014	Effect of low-level laser therapy (808 nm) on markers of muscle damage: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial	Medida de avaliação: teste de 1 RM
Vanin <i>et al.</i> 2016	When is the best time to apply Phototherapy associated with a strength training program? A randomized, double-blind, placebo-controlled trial: Phototherapy associated with strength training	Medida de avaliação: perimetria, contração voluntária máxima, 1 RM
Toma <i>et al.</i> 2021	Effect of 808 nm low-level laser therapy on exercise-induced skeletal muscle fatigue in elderly women	Medida de avaliação: 1 RM, eletromiografia População: idosas
Higashi <i>et al.</i> 2013	Effects of low-level laser therapy on biceps brachii muscle fatigue in young women	Medida de avaliação: 1 RM, eletromiografia
Fritsch <i>et al.</i> 2019	Effects of Photobiomodulation therapy associated with resistance training in elderly men: a randomized double-blind placebo-controlled trial	Medida de avaliação: 1 RM, pico de torque
Rossato <i>et al.</i> 2020	Dose-response effect of Photobiomodulation therapy on muscle performance and fatigue during a multiple-set knee extension exercise: a randomized, double-blind, placebo-controlled crossover trial	Medida de avaliação: pico de torque
Silva <i>et al.</i> 2022	Far-infrared emitting fabric improves neuromuscular performance of the knee extensor	Medida de avaliação: eletromiografia
Almeida <i>et al.</i> 2019	Effects of Photobiomodulation on muscle strength in postmenopausal women undergoing a resistance training program	Medida de avaliação: pico de torque
Fritsch <i>et al.</i> 2018	Effects of Photobiomodulation therapy associated with resistance training in elderly men: a randomized double-blind placebo-controlled trial	Medida de avaliação: 1 RM, pico de torque
Kaiser <i>et al.</i> 2014	Near-infrared light therapy to mitigate strength loss after strenuous resistance exercise	Medida de avaliação: contração muscular voluntária máxima

Tucci <i>et al.</i> 2019	Quadriceps femoris performance after resistance training with and without Photobiomodulation in elderly women: randomized clinical trial	Medida de avaliação: 1 RM, eletromiografia População: idosas
Sunemi <i>et al.</i> 2021	Post-resistance exercise Photobiomodulation therapy has a more effective antioxidant effect than pre-application on muscle oxidative stress	Medida de avaliação: medidas de estresse oxidativo
Tsuk <i>et al.</i> 2021	Does Photobiomodulation therapy increase maximal muscle strength and muscle recovery?	Medida de avaliação: teste de 5 RM
Barbosa <i>et al.</i> 2017	Effect of low-level laser therapy and strength training protocol on handgrip by dynamometry	Medida de avaliação: força de preensão manual
Ferraresi <i>et al.</i> 2011	Effects of low level laser therapy (808 nm) on physical strength training in humans	Medida de avaliação: Teste de 1 RM
Chang <i>et al.</i> 2019	Effects of laser acupuncture on delayed onset muscle soreness of the biceps brachii muscle: a randomized clinical trial	Medida de avaliação: Dor muscular
Borsa <i>et al.</i> 2013	Does phototherapy improve skeletal muscle contractile function and post-exercise recovery? A systematic review	Tipo de estudo: Revisão sistemática
Nampo <i>et al.</i> 2016	Low-intensity Phototherapy for improving exercise capacity and muscle performance: a systematic review and meta-analysis	Tipo de estudo: Revisão sistemática
Leal-Junior <i>et al.</i> 2015	Effect of Phototherapy (low-level laser therapy and light-emitting diode therapy) on exercise performance and markers of exercise recovery: a systematic review with meta-analysis	Tipo de estudo. Revisão sistemática
Vanin <i>et al.</i> 2017	Photobiomodulation therapy for improving muscle performance and reducing exercise-associated muscle fatigue in healthy subjects: a systematic review and meta-analysis	Tipo de estudo: Revisão sistemática
Campos <i>et al.</i> 2015	Low-intensity laser therapy (LLLT) associated with aerobic and resistance training to improve inflammatory biomarkers in obese adults	Método de Intervenção: treinamento resistido associado com treino aeróbio
Costa <i>et al.</i> 2017	Chronic effects of Photobiomodulation by light-emitting diode therapy on peripheral muscle function during a resistance training program in patients with difficult-to-control asthma: a randomized controlled clinical trial	Patologia: Asma.
Stausholm <i>et al.</i> 2022	Short and long-term efficacy of low-level laser therapy combined with strength training in knee osteoarthritis: a randomized placebo-controlled trial	Patologia: Osteoartrite.
Matos <i>et al.</i> 2016	Pre-exercise LED phototherapy (638 nm) prevents grip strength loss in elderly women: A double-blind randomized controlled trial	População: idosas
Orssatto <i>et al.</i> 2020	Photobiomodulation Therapy Effects on Resistance Training Volume and Discomfort in Well-Trained Adults: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial	População: idosas
Rodrigues <i>et al.</i> 2020	Effects of Laser Photobiomodulation Therapy at 808 nm on Muscle Performance and Perceived Exertion in Elderly Women	População: idosas