www.revistaft.com.br

Revista FT | ISSN 1678-0817 | v. 30, n. 164, 2026 | DOI: 10.69849/56aw5b70

Revisão literária sobre os efeitos do laser de baixa potência no processo de cicatrização em queimaduras de segundo grau.

Literature review on the effects of low-level laser therapy on the healing process of second-degree burns.

Ana Carolina Gomes Ferreira
Arthur da Cunha Barreira
Brenda Cristina Santos da Paixão Nogueira
Carla Joyce de Sousa Aragão
Julia Luna Picciani dos Reis
Vânia Araújo Oliveira de Paula
Valéria Couto Calazans Silva

Resumo: As queimaduras de segundo grau são lesões de espessura parcial que comprometem a epiderme e parte da derme, caracterizadas por dor, flictenas e risco de complicações funcionais e cicatriciais. O objetivo deste trabalho foi analisar os efeitos da fotobiomodulação (PBM), ou laser de baixa potência (LLLT), no processo de cicatrização dessas lesões e sua relevância na prática fisioterapêutica. Trata-se de uma revisão integrativa da literatura. A fundamentação biológica da PBM envolve a absorção de luz pela citocromo c oxidase mitocondrial, aumentando a síntese de ATP, modulando a resposta inflamatória e ativando o fator de crescimento TGF-β1. Os achados dos ensaios clínicos e meta-análises demonstram que a PBM promove menor tempo de reepitelização, alívio da dor aguda e modulação tecidual, inclusive em populações de alto risco, como pacientes dependentes de glicocorticoides. Na fisioterapia, a aceleração do fechamento da ferida e a analgesia favorecem a intervenção cinesioterapêutica precoce, prevenindo limitação da amplitude de movimento e contraturas articulares. Conclui-se que a fotobiomodulação é um recurso complementar promissor e seguro, embora a heterogeneidade dos dosímetros e parâmetros de aplicação evidencie a necessidade de ensaios clínicos padronizados com maior tempo de seguimento.

Palavras-chave: Queimadura de segundo grau. Queimadura de espessura parcial. Laser de baixa potência. Laserterapia. Fotobiomodulação.

Abstract: Second-degree burns are partial-thickness injuries involving the epidermis and part of the dermis, characterized by pain, blistering, and functional or scarring complications. This study aimed to analyze the effects of photobiomodulation (PBM), or low-level laser therapy (LLLT), on the healing process of second-degree burns and its relevance to physical therapy practice. This study was conducted as an integrative literature review. The biological mechanism of PBM involves light absorption by mitochondrial cytochrome c oxidase, increasing ATP production, modulating inflammatory responses, and activating latent TGF-ùz. growth factor. Clinical trial and meta-analysis findings demonstrate that PBM accelerates re epithelialization, relieves acute pain, and improves tissue repair, even in high-risk populations

such as glucocorticoid-dependent patients. In physical therapy, accelerated wound closure and pain reduction enable early kinesiotherapy intervention, preventing joint range of motion restrictions and contractures. Photobiomodulation is a promising and safe complementary resource, although high protocol heterogeneity emphasizes the need for standardized clinical trials with longer follow-up periods.

Keywords: Low-Level Laser Therapy. Photobiomodulation. Second-degree burns. Partial thickness burns. Wound healing.

1 INTRODUÇÃO

As queimaduras são lesões teciduais provocadas pela ação de diferentes agentes externos, como fontes térmicas, químicas, elétricas, radioativas e biológicas, capazes de causar danos aos tecidos corporais e levar à morte celular. Essas lesões apresentam diferentes graus de profundidade e extensão e podem desencadear alterações locais e sistêmicas. Quanto à profundidade, as queimaduras podem ser classificadas em primeiro, segundo e terceiro graus. As queimaduras de segundo grau, também denominadas queimaduras de espessura parcial, comprometem a epiderme e parte da derme, podendo ser classificadas em superficiais ou profundas e caracterizando-se por dor, formação de flictenas, exsudação e alterações da integridade cutânea (FONTANA et al., 2020; JESCHKE et al., 2020).

A avaliação da gravidade das queimaduras considera a profundidade, a extensão e as condições clínicas do paciente. A extensão pode ser estimada pela Superfície Corporal Queimada (SCQ), utilizando instrumentos como a Regra de Lund-Browder e a Regra dos Nove de Wallace. Entre as principais complicações encontram-se infecção, atraso na cicatrização, dor e prurido persistentes, alterações de pigmentação, cicatrizes hipertróficas e contraturas. Estas últimas podem provocar redução da amplitude de movimento e prejuízos funcionais, especialmente quando a lesão acomete regiões próximas às articulações (SOUZA; SOUZA, 2022; FHEMIG, 2025; GIBSON et al., 2021).

Após a ocorrência da queimadura, inicia-se uma resposta fisiológica destinada à restauração da integridade tecidual. O processo de cicatrização ocorre em fases sobrepostas [2] hemostasia, inflamação, proliferação e remodelamento [2] envolvendo formação do coágulo, resposta inflamatória, reepitelização, angiogênese, formação de tecido de granulação e reorganização da matriz extracelular (CAMPOS; BORGES-BRANCO; GROTH, 2007; GUO; DIPIETRO, 2010). Fatores locais, como isquemia, infecção e edema, e fatores sistêmicos, como idade avançada, diabetes, desnutrição, tabagismo e uso de glicocorticoides, entre outros, podem interferir nesse processo e retardar a recuperação.

Além do fechamento da ferida, a recuperação adequada deve considerar a preservação ou restauração da função. A dor, o edema, a imobilidade e a formação de cicatrizes e contraturas

podem comprometer a mobilidade e a realização das atividades funcionais. Nesse contexto, a fisioterapia possui papel importante no acompanhamento multiprofissional, contribuindo para a manutenção da mobilidade, prevenção de limitações de amplitude de movimento, redução dos impactos funcionais da imobilidade e recuperação progressiva da capacidade funcional. A intervenção deve ser individualizada conforme a localização, profundidade e extensão de queimadura, condição clínica e objetivos funcionais do paciente.

O tratamento convencional das queimaduras busca controlar a lesão, proteger o tecido, prevenir infecções e favorecer a cicatrização. Entre as condutas utilizadas encontram-se os cuidados locais da ferida e o uso de coberturas e agentes tópicos, conforme a avaliação clínica. No estudo de Yadav et al. (2026), pacientes com queimaduras de segundo grau receberam sulfadiazina de prata a 1% e gaze com parafina, sendo comparados grupos submetidos ou não à fotobiomodulação. Nesse estudo, a terapia complementar com laser superpulsado de 904 nm esteve associada à menor tempo de reepitelização, além de resultados favoráveis em outros desfechos relacionados à recuperação da ferida**.**

Nos últimos anos, a laserterapia, especialmente o laser de baixa potência, vem sendo estudada como recurso terapêutico complementar. A terapia por laser de baixa potência, atualmente denominada fotobiomodulação (PBM), utiliza luz vermelha e infravermelha próxima para produzir respostas biológicas sem provocar efeitos térmicos significativos. Segundo Hamblin (2017), a absorção da luz por cromóforos celulares, com destaque para a citocromo c oxidase, pode influenciar a produção de ATP e a modulação de espécies reativas de oxigênio, óxido nítrico e cálcio. Esses mecanismos estão relacionados a processos como proliferação e migração celular, atividade de fibroblastos, síntese de colágeno, angiogênese e modulação da resposta inflamatória.

No contexto das queimaduras, esses mecanismos podem favorecer a contração da ferida, a reepitelização, a formação de tecido de granulação e o controle da dor. Entretanto, os efeitos da fotobiomodulação dependem de fatores como comprimento de onda, potência, fluência, frequência e número de sessões, além das características da lesão. A existência de diferentes parâmetros entre os estudos dificulta a padronização dos protocolos e reforça a necessidade de estabelecer condições adequadas de aplicação (DEANA et al., 2021; BRASSOLATTI et al., 2018).

Os estudos clínicos disponíveis apresentam resultados promissores, embora ainda existam limitações metodológicas. Lu et al. (2023), ao avaliar pacientes com queimaduras de segundo grau em membros inferiores, observaram resultados favoráveis relacionados à cicatrização, secreção da ferida, aspecto das margens e sintomas como dor e prurido após terapia de baixa intensidade associada ao tratamento convencional. Yadav et al. (2026), em ensaio clínico

randomizado com pacientes com queimaduras de segundo grau, também encontrou redução do tempo de reepitelização e melhora de outros indicadores de recuperação da ferida.

Evidências experimentais também ajudam a compreender os possíveis efeitos do laser sobre a reparação tecidual. Trajano et al. (2015) observaram, em modelo experimental, efeitos favoráveis do laser vermelho de 660 nm sobre contração da ferida, reepitelização e formação de tecido de granulação. Entretanto, evidências provenientes de modelos animais não devem ser interpretadas como equivalentes às evidências clínicas em seres humanos, devendo ser utilizadas como suporte pré-clínico.

Apesar dos resultados promissores, a evidência científica especificamente relacionada à fotobiomodulação em queimaduras de segundo grau ainda apresenta limitações. Pradal et al. (2025), em revisão sistemática e meta-análise de estudos clínicos e pré-clínicos, demonstraram que a literatura é heterogênea e que ainda existem limitações na quantidade e nas características dos estudos clínicos disponíveis. Além disso, os trabalhos apresentam diferenças quanto às populações, tipos de queimadura, comprimentos de onda, parâmetros de aplicação e desfechos avaliados. Assim, são necessários estudos clínicos com amostras maiores, protocolos padronizados e metodologia rigorosa para estabelecer com maior segurança sua eficácia e seus parâmetros ideais.

Dessa forma, o tratamento das queimaduras deve ser compreendido de maneira abrangente, envolvendo o cuidado da ferida, prevenção e controle de complicações, manejo dos sintomas e recuperação funcional. A fisioterapia integra esse processo ao atuar na preservação da mobilidade e da função, enquanto a fotobiomodulação surge como possibilidade terapêutica complementar para auxiliar a reparação tecidual. A análise dos efeitos do laser de baixa potência no processo de cicatrização de queimaduras de segundo grau mostra-se relevante para a fisioterapia, especialmente diante da necessidade de ampliar estratégias terapêuticas baseadas em evidências e contribuir para uma recuperação mais adequada, segura e funcional dos pacientes.

2 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido por meio de uma revisão integrativa da literatura, de caráter descritivo e abordagem qualitativa, com o objetivo de analisar os efeitos da fotobiomodulação, também denominada laser de baixa potência ou Low-Level Laser Therapy (LLLT), no processo de cicatrização de queimaduras de segundo grau.

2.1 Estratégia De Busca

A pesquisa bibliográfica foi realizada por meio de buscas nas bases de dados científicas PubMed/MEDLINE, SciELO, PEDro, utilizando descritores relacionados ao tema. Foram utilizados, de forma combinada, os seguintes termos em português e inglês: "queimadura de segundo grau", "queimadura de espessura parcial", "laser de baixa potência", "laserterapia", "fotobiomodulação", "Low-Level Laser Therapy", "photobiomodulation", "second-degree burns", "partial-thickness burns" e "wound healing". Os descritores foram combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR, de acordo com a estratégia de busca de cada base de dados.

2.2 Critérios De Inclusão

Foram incluídos estudos publicados em português, inglês ou espanhol; estudos realizados em seres humanos e, de forma complementar, estudos experimentais relevantes para a compreensão dos mecanismos de ação da fotobiomodulação; pesquisas envolvendo queimaduras de segundo grau ou queimaduras de espessura parcial; estudos que utilizaram laser de baixa potência ou fotobiomodulação como intervenção; estudos que apresentaram como desfecho aspectos relacionados à cicatrização, reepitelização, redução da área da ferida, contração da lesão, formação de tecido de granulação, dor ou outros indicadores relacionados à reparação tecidual; ensaios clínicos, estudos controlados, estudos observacionais, estudos experimentais e revisões da literatura que apresentaram relação direta com o tema; e artigos disponíveis na íntegra para análise.

Foram priorizados os estudos clínicos realizados em seres humanos, especialmente ensaios clínicos randomizados e estudos controlados, devido à sua maior relevância para a avaliação da eficácia terapêutica da fotobiomodulação.

2.3 Critérios De Exclusão

Foram excluídos estudos que não estavam relacionados à utilização de fotobiomodulação ou laser de baixa potência; estudos que abordaram exclusivamente queimaduras de primeiro ou terceiro grau; que tinham como foco principal o tratamento de cicatrizes antigas, sem avaliação do processo de cicatrização da queimadura; não apresentaram informações suficientes sobre a intervenção ou os resultados avaliados; foram duplicados entre as bases de dados; trabalhos acadêmicos, editoriais, cartas ao editor, resumos de eventos ou documentos sem dados científicos suficientes para análise; ou apresentem intervenção exclusivamente com tecnologias que não corresponderam à fotobiomodulação/laser de baixa potência e que não tiveram relação direta com o objetivo do estudo.

2.4 Seleção Dos Estudos

Após a realização das buscas, os estudos encontrados foram inicialmente avaliados por meio da leitura dos títulos e resumos. Aqueles que apresentaram relação com o tema foram selecionados para leitura do texto completo.

Posteriormente, os artigos foram analisados de acordo com os critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos, conforme apresentado no **Fluxograma 1**. Os estudos duplicados foram identificados e removidos, evitando a inclusão de uma mesma publicação mais de uma vez. A seleção dos estudos foi organizada em etapas, contemplando identificação dos estudos, triagem dos títulos e resumos, avaliação dos textos completos e seleção final dos artigos incluídos na revisão.

2.5 Extração E Organização Dos Dados

As informações dos estudos selecionados foram organizadas em uma tabela para facilitar a análise e comparação dos resultados. Foram extraídos, quando disponíveis, autor e ano de publicação, país de realização, tipo de estudo, número de participantes ou amostra experimental, características das queimaduras, grupo controle quando presente, comprimento de onda, potência ou irradiância, fluência/dose de energia, tempo e frequência das aplicações, número de sessões, tratamento convencional associado, principais desfechos avaliados, resultados relacionados à cicatrização, efeitos sobre dor e outras conclusões dos autores.

A extração desses dados permitiu comparar os diferentes protocolos de fotobiomodulação utilizados nos estudos e verificar possíveis relações entre os parâmetros empregados e os resultados encontrados.

2.6 Análise Dos Resultados

Os resultados foram analisados de forma descritiva e qualitativa, buscando identificar os principais efeitos da fotobiomodulação sobre a cicatrização de queimaduras de segundo grau. Foram considerados principalmente os resultados relacionados à redução do tempo de cicatrização, reepitelização, contração da ferida, formação de tecido de granulação, controle da dor e recuperação da integridade tecidual. Também foi realizada uma análise dos diferentes parâmetros utilizados nos protocolos, considerando comprimento de onda, potência, fluência, duração das aplicações e número de sessões. Essa comparação é importante porque a literatura apresenta diferenças entre os protocolos utilizados, dificultando a padronização da aplicação clínica da fotobiomodulação.

Os estudos realizados em seres humanos foram considerados como a principal fonte de evidência para a avaliação dos efeitos clínicos da intervenção. Estudos experimentais foram utilizados de maneira complementar, especialmente para auxiliar na compreensão dos mecanismos biológicos relacionados à reparação tecidual.

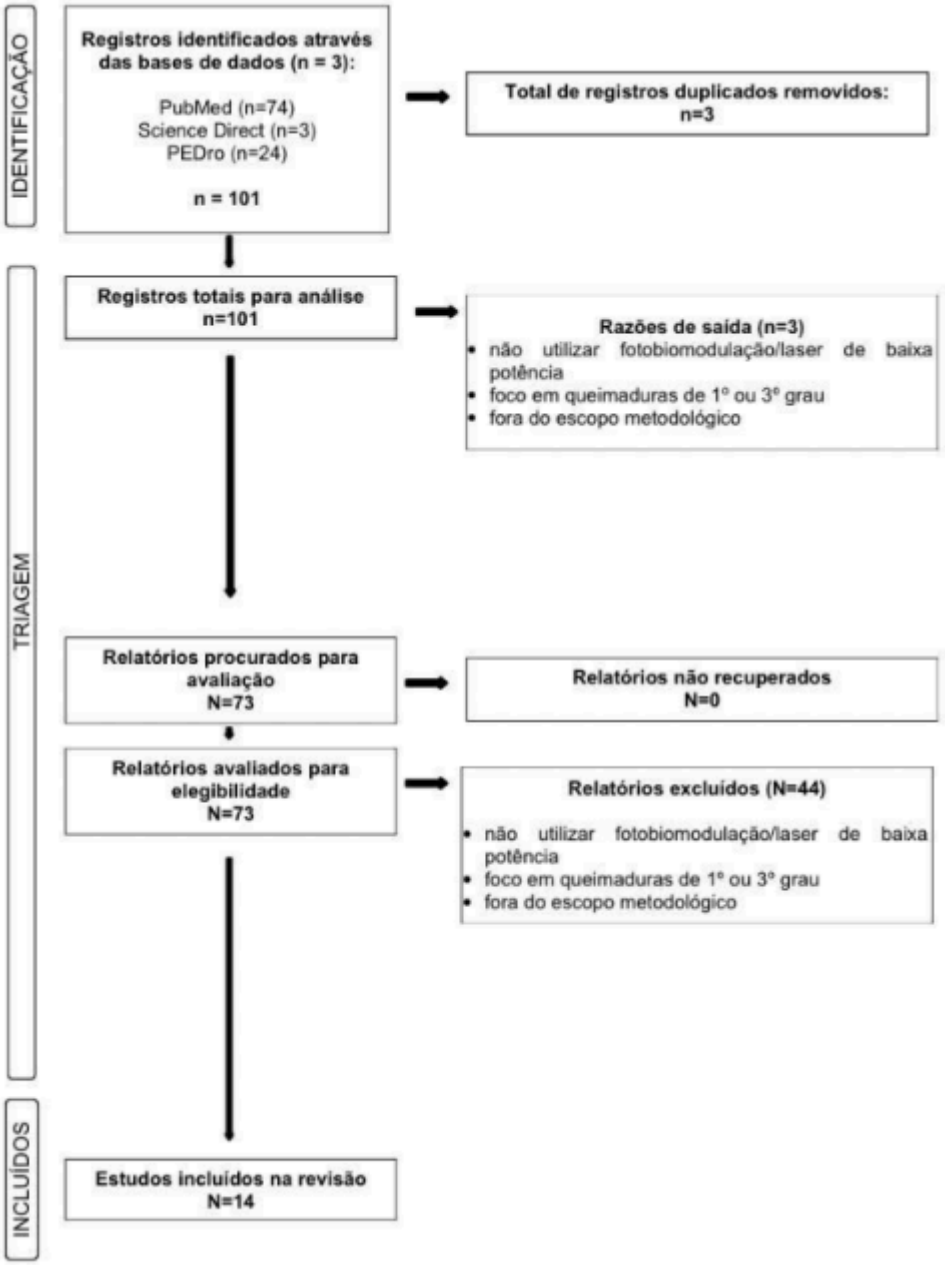
2.7 Considerações Éticas

Por se tratar de uma revisão integrativa da literatura, utilizando exclusivamente dados provenientes de estudos previamente publicados e disponíveis em bases científicas, não houve intervenção direta em seres humanos nem coleta de dados primários de pacientes. Dessa forma, não houve exposição dos participantes a procedimentos experimentais no desenvolvimento desta pesquisa.

Foram respeitados os princípios de integridade acadêmica, correta identificação das fontes consultadas e apresentação adequada das referências utilizadas, conforme as normas acadêmicas aplicáveis ao trabalho.

3. FLUXOGRAMA

Fluxograma 1 - Processo De Identificação E Seleção Dos Artigos



4 RESULTADOS

A análise da literatura demonstra que a Fotobiomodulação (PBM) ou Terapia a Laser de Baixa Potência (LLLT) exerce um papel de destaque no reparo tecidual de queimaduras de segundo grau. Os resultados estruturam-se em três eixos principais: mecanismos bioestimulatórios celulares e moleculares, como descritos na **Tabela 1**; ensaios clínicos e aplicações terapêuticas em humanos e evidências sintetizadas por revisões sistemáticas e meta-análises, conforme apresentado na **Tabela 2**.

4.1 Mecanismos Celulares, Proliferação e Ativação Molecular

A fundamentação biológica do tratamento reside na capacidade da radiação laser de interagir com cromóforos mitocôndricos, estimulando a proliferação e a

diferenciação celular (HENRIQUES et al., 2010). Em termos moleculares:

- Sinalização do TGF-β1: A PBM atua diretamente na ativação do fator de crescimento transformador beta-1 latente (TGF-β1), citocina central na modulação da resposta inflamatória, formação do tecido de granulação e remodelação da matriz extracelular (KHAN et al., 2021).
- Parâmetros de Aplicação: Conforme evidenciado por revisões sobre dosimetria (BRASSOLATTI et al., 2018), a adequação da densidade de energia e do comprimento de onda é fundamental para promover a regeneração tecidual sem induzir danos térmicos.

Tabela 1 - Resumo dos estudos de mecanismo celular e revisões fundamentais.

Autor / Referência	Tipo de Estudo	Foco / Mecanismo Avaliado	Principais Achados
Henriques et al. (2010)	Revisão de Literatura	Proliferação e diferenciação celular	Ativação do metabolismo celular e estímulo à síntese de colágeno.
Brassolatti et al. (2018)	Revisão Sistemática	Parâmetros de aplicação da LLLT	Importância da calibração de dosimetria para otimização da resposta tecidual.
Khan et al. (2021)	Estudo Mecanístico	Ativação endógena de fatores de crescimento	A aceleração da cicatrização ocorre via conversão do TGF-β1 latente em sua forma ativa.
Mosca et al. (2019)	Revisão Temática	Potencial não invasivo da PBM em feridas	Caracterização da PBM como terapia não invasiva eficaz no manejo de lesões cutâneas.

Fonte: Própria (2026). Legenda: PBM - Fotobiomodulação.

4.2 Evidências em Ensaios Clínicos com Humanos

Os ensaios clínicos com pacientes com queimaduras de segundo grau demonstram a eficácia da PBM tanto como tratamento isolado quanto adjuvante:

- Laser Superpulsado de 904 nm: Ensaios clínicos randomizados recentes (YADAV et al., 2026) reportaram que a aplicação do laser superpulsado de 904 nm acelera significativamente o fechamento epidermal, promove alívio da dor aguda e reduz marcadores inflamatórios locais em pacientes com queimaduras de segundo grau.

- Pacientes com Queimadura em Membros Inferiores e Corticoterapia: Em populações de alto risco com cicatrização comprometida pelo uso contínuo de glicocorticoides, a LLLT mostrou-se eficaz para contornar o atraso na reepitelização de feridas em membros inferiores (LU et al., 2023).
- Aplicações Estéticas e Faciais: Segundo Elmelegy (2023), abordagens inovadoras combinando eletro-fotobiomodulação no tratamento agudo de queimaduras faciais demonstraram ganhos estéticos e funcionais relevantes, minimizando a formação de cicatrizes hipertróficas.
- Ensaios Piloto Controlados: Estudo duplo-cego em queimaduras de segundo grau confirmou a redução no tempo de cicatrização e a melhora na qualidade da pele restaurada sob protocolo controlado de fotobiomodulação, segundo Adler, Liram e Davidov (2025).

Tabela 2 - Resumo dos ensaios clínicos e meta-análises aplicadas a humanos.

Autor / Referência	Tipo de Estudo	População / Intervenção	Principais Desfechos Clínicos
Yadav et al. (2026)	Ensaio Clínico Randomizado	Queimaduras de segundo grau (Laser superpulsado)	Reepitelização acelerada, redução importante da dor e modulação anti-inflamatória.
Lu et al. (2023)	Ensaio Clínico	Pacientes dependentes de glicocorticoides com queimaduras em membros inferiores	Reversão do atraso cicatricial induzido pelo uso de esteroides.
Elmelegy (2023)	Estudo Clínico Aplicado	Queimaduras agudas de face (Eletro-fotobiomodulação)	Melhora expressiva na estética facial e prevenção de cicatrizes disfuncionais.
Adler, Liram e Davidov (2025)	Ensaio Clínico Piloto	Queimaduras de 2º grau (Fotobiomodulação)	Confirmação da aceleração da cicatrização em relação ao grupo controle.
Pradal et al. (2025)	Meta-Análise Clínica	Fotobiomodulação em queimaduras	Evidência consolidada de ganho na velocidade de fechamento das feridas e melhora cicatricial.

Fonte: Própria (2026).

4.3 Síntese por Revisões Sistemáticas e Meta-Análises

As revisões sistemáticas e meta-análises da literatura reforçam a consistência clínica da

PBM como uma abordagem "fotocêutica" não invasiva. Os dados agrupados confirmam que a intervenção reduz o tempo total de reepitelização, atenua a dor do paciente e melhora o desfecho estético funcional final de feridas causadas por queimaduras de segundo grau, como demonstrado na **Tabela 3**.

Tabela 3 - Síntese dos desfechos clínicos e temporais dos ensaios clínicos (Escala Ordinal de Regeneração Tecidual: 1 a 5).

Dia da Avaliação	Grupo Controle (Nível)	Grupo PBM (Laser 904 nm / Superpulsado)
Dia 1	Nível 1	Nível 1
Dia 3	Nível 1	Nível 2 (Início rápido de granulação).
Dia 7	Nível 2	Nível 3 (Alívio acentuado da dor).
Dia 10	Nível 3	Nível 4 (Avanço evidente de epitelização).
Dia 14	Nível 3	Nível 5 (Reepitelização concluída).
Dia 21	Nível 4	Nível 5 (Remodelação com aspecto estético superior).

Fonte: Própria (2026). Legenda: Nível 1: Fase inflamatória aguda (dor alta, exsudato, sem epitélio); Nível 2: Formação inicial de tecido de granulação; Nível 3: Epitelização parcial das bordas e redução da dor; Nível 4: Epitelização avançada / Ativação de TGF-ù ;1tYHO;; Fechamento epidérmico completo com boa qualidade estética.

5 DISCUSSÃO

Esta revisão integrativa teve como objetivo analisar os efeitos da fotobiomodulação (PBM) em queimaduras de segundo grau. A PBM compreende a aplicação de luz vermelha e infravermelha próxima, emitida principalmente por laser de baixa potência, mas também por outras fontes, como os diodos emissores de luz, com finalidade terapêutica e sem efeitos térmicos significativos.

De modo geral, os estudos analisados apresentam resultados favoráveis à utilização da PBM como recurso complementar ao tratamento convencional, indicando possíveis benefícios na aceleração da reepitelização, no alívio da dor, na modulação da resposta inflamatória e na melhora da qualidade do tecido cicatricial. Entretanto, esses resultados devem ser interpretados considerando as diferenças metodológicas entre os estudos e a quantidade ainda limitada de ensaios clínicos disponíveis.

Entre os principais resultados, destaca-se o ensaio clínico randomizado de Yadav et al. (2026), no qual pacientes com queimaduras de segundo grau tratados com sulfadiazina de prata a 1% e gaze com parafina receberam, de forma complementar, laser superpulsado de

904 nm. O grupo submetido à PBM apresentou menor tempo de reepitelização, redução importante da dor e diminuição de sinais inflamatórios locais em comparação ao grupo que recebeu apenas o tratamento convencional. Lu et al. (2023), ao avaliarem pacientes dependentes de glicocorticoides com queimaduras de segundo grau em membros inferiores, observaram melhora da cicatrização, da secreção da ferida, do aspecto das margens e de sintomas como dor e prurido após a associação da terapia a laser de baixa potência ao tratamento convencional.

Resultados semelhantes foram encontrados por Adler, Liram e Bar Davidov (2025), que, em ensaio piloto duplo-cego, verificaram redução do tempo de cicatrização e melhora da qualidade da pele restaurada no grupo tratado com fotobiomodulação. Elmelegy (2023), por sua vez, relatou ganhos estéticos e funcionais no tratamento agudo de queimaduras faciais com eletro fotobiomodulação, com menor formação de cicatrizes hipertróficas.

No campo das evidências sintetizadas, porém, os resultados são menos uniformes. Deana et al. (2021), em revisão sistemática e meta-análise de estudos pré-clínicos, observaram que, em modelos animais, a PBM favoreceu a contração da ferida, a angiogênese e a deposição de colágeno em queimaduras de segundo e terceiro graus. Em contrapartida, Pradal et al. (2025), em revisão sistemática e meta-análise de estudos clínicos e pré-clínicos, não encontraram diferença estatisticamente significativa na retração da ferida e na deposição de colágeno. Contudo, apenas quatro estudos puderam ser incluídos na meta-análise desses autores, com elevada heterogeneidade entre eles, o que limita a força dessa conclusão.

A síntese temporal apresentada na **Tabela 3** ilustra o conjunto de achados dos ensaios clínicos: as diferenças entre os grupos tornam-se perceptíveis a partir do terceiro dia, quando o grupo tratado com PBM apresenta início da formação do tecido de granulação (nível 2), enquanto o grupo controle permanece na fase inflamatória aguda (nível 1). A diferença atinge o ponto máximo no 14º dia, quando o grupo PBM apresenta reepitelização concluída (nível 5) e o grupo controle ainda se encontra em epitelização parcial (nível 3). No 21º dia, o grupo controle alcança a epitelização avançada (nível 4), e o grupo PBM encontra-se em fase de remodelação. Por se tratar de uma escala ordinal elaborada a partir da síntese dos estudos, e não de dados extraídos de um único ensaio, a **Tabela 3** deve ser interpretada como representação da tendência observada, e não como medida quantitativa do efeito.

Ao comparar os ensaios clínicos, observa-se uma tendência de concordância quanto aos efeitos favoráveis da PBM sobre a cicatrização. Os resultados de Yadav et al. (2026) e Adler, Liram e Bar Davidov (2025) convergem principalmente quanto à redução do tempo

de cicatrização, sendo que ambos apresentam grupos de comparação, o que fortalece a análise dos benefícios associados à fotobiomodulação. O ensaio de Yadav et al. (2026) apresenta maior robustez metodológica por ser randomizado, enquanto o estudo de Adler, Liram e Bar Davidov (2025) tem como ponto forte o cegamento, que reduz possíveis vieses na avaliação de desfechos subjetivos, como dor e aspecto da cicatriz, embora conte com amostra pequena por se tratar de um estudo piloto.

O estudo de Lu et al. (2023) amplia esses achados para uma população de maior risco, uma vez que o uso de glicocorticoides pode reduzir a resposta inflamatória, a proliferação de fibroblastos e a síntese de colágeno, comprometendo o processo de reparação tecidual. O fato de a PBM ter apresentado resultados favoráveis mesmo nessas condições sugere que esse recurso pode ser útil em pacientes com fatores sistêmicos que dificultam a cicatrização, como os citados na introdução deste trabalho. Entretanto, considerando as características específicas dessa população, os resultados não devem ser generalizados automaticamente para outros grupos de pacientes.

Entretanto, nos estudos de Elmelegy (2023); de Cardoso et al. (2024), com membrana de álcool polivinílico associada à arnica e à laserterapia; e de Pradal et al. (2026), com sericina em queimaduras de segundo grau induzidas em ratos Wistar, avaliaram a PBM associada a outros recursos terapêuticos. Esses trabalhos indicam um possível efeito complementar ou sinérgico entre a fotobiomodulação e outros agentes cicatrizantes, mas, na maior parte dos casos, não permitem identificar a contribuição isolada do laser. No estudo de Pradal et al. (2026), as associações da PBM com sericina ou com sulfadiazina de prata reduziram marcadores oxidativos e inflamatórios, porém sem diferença significativa na área da lesão entre os grupos.

Do mesmo modo, os achados pré-clínicos, como os de Trajano et al. (2015), que observaram com laser de 660 nm efeitos favoráveis sobre a contração da ferida, a reepitelização e a formação de tecido de granulação, apresentam resultados semelhantes aos encontrados nos estudos clínicos. Entretanto, as diferenças entre a pele animal e a humana limitam a aplicação direta desses resultados na prática clínica. Assim, embora a maior parte dos estudos apontem resultados positivos, Pradal et al. (2025) ressaltam que a literatura ainda apresenta heterogeneidade e que o número de estudos clínicos é reduzido, de modo que as evidências devem ser consideradas promissores, porém ainda não consolidadas.

Os efeitos clínicos observados encontram explicação nos possíveis mecanismos fisiológicos da PBM. Segundo Hamblin (2017), a luz vermelha e infravermelha próxima é absorvida principalmente pela citocromo c oxidase, enzima da cadeia respiratória mitocondrial, o que pode aumentar a produção de ATP e modular espécies reativas de

oxigênio, óxido nítrico e cálcio intracelular. Essas alterações ativam vias de sinalização celular que favorecem a proliferação e a migração celular. Henriques, Cazal e Castro (2010) complementam que a laserterapia, uma das principais formas de aplicação da PBM, pode estimular a proliferação e a diferenciação celular, com aumento da atividade de fibroblastos e da síntese de colágeno. Esses processos são fundamentais na fase proliferativa da cicatrização e ajudam a explicar a formação mais precoce do tecido de granulação e a reepitelização mais rápida observadas nos estudos analisados.

O estudo de Khan et al. (2021) acrescenta uma explicação molecular mais específica ao demonstrar que a aceleração da cicatrização de queimaduras pela PBM envolve a ativação do fator de crescimento transformador beta-1 (TGF-β1) latente endógeno. Por ser uma citocina que participa da modulação da resposta inflamatória, da formação do tecido de granulação e da remodelação da matriz extracelular, o TGF-β1 ajuda a compreender os possíveis mecanismos envolvidos nos efeitos da fotobiomodulação durante as fases inflamatória e proliferativa do reparo tecidual, como sugerido pela evolução temporal descrita na Tabela 3. A modulação inflamatória também pode contribuir para a redução do edema e da dor, efeitos relatados por Yadav et al. (2026) e Lu et al. (2023). Ao mesmo tempo, esse mecanismo exige cautela, pois o excesso de atividade do TGF-β1 está relacionado à fibrose e à formação de cicatrizes hipertróficas. Esse aspecto se relaciona à resposta bifásica à dose descrita na literatura da fotobiomodulação, segundo a qual doses adequadas estimulam a resposta tecidual, enquanto doses excessivas podem não produzir benefícios ou até inibir os efeitos esperados (HAMBLIN, 2017). Mosca et al. (2019) caracterizam a PBM como uma abordagem não invasiva para o cuidado de feridas, cuja eficácia depende diretamente da escolha correta dos parâmetros de aplicação. Dessa forma, os mecanismos fisiológicos fornecem plausibilidade biológica aos resultados clínicos e ajudam a compreender por que diferentes protocolos podem produzir respostas distintas.

Um dos principais pontos de divergência entre os estudos refere-se aos protocolos utilizados, incluindo a própria fonte de luz e a forma de aplicação, que variaram entre laser vermelho, laser infravermelho superpulsado e associação com estímulo elétrico. Brassolatti et al. (2018), ao revisarem sistematicamente os parâmetros de aplicação da terapia a laser de baixa potência em modelos experimentais de queimadura, verificaram grande variação de comprimento de onda, potência, densidade de energia, tempo de aplicação e número de sessões, além do relato incompleto desses dados em parte dos trabalhos. Os estudos desta revisão ilustram essa diversidade: enquanto Trajano et al. (2015) utilizaram laser vermelho de 660 nm, com ação predominante sobre as camadas mais superficiais, Yadav et al. (2026) empregaram laser infravermelho superpulsado de 904 nm, que apresenta maior capacidade

de penetração tecidual e, por operar com pulsos de alta potência de pico e baixa potência média, produz aquecimento mínimo do tecido. Elmelegy (2023), por sua vez, associou a luz ao estímulo elétrico.

Além das diferenças nos comprimentos de onda, outros parâmetros também precisam ser considerados, como a potência do equipamento, a densidade de energia (J/cm²), o tempo de aplicação, a frequência e o número de sessões. Essas variáveis podem influenciar diretamente a resposta biológica do tecido e dificultam a comparação entre os resultados quando não são descritas ou padronizadas. Considerando que as queimaduras de segundo grau podem ser superficiais ou profundas, é possível que a escolha do comprimento de onda e dos demais parâmetros de aplicação deva considerar as características e a profundidade da lesão, hipótese que ainda precisa ser investigada em estudos comparativos. Deana et al. (2021) também destacam que a falta de padronização dos parâmetros é uma das principais barreiras para a incorporação da PBM em protocolos clínicos.

Além das diferenças nos protocolos, os estudos apresentam limitações que devem ser consideradas. Os ensaios clínicos disponíveis são poucos e, em geral, possuem amostras pequenas e tempo de seguimento curto, o que impede avaliar desfechos de longo prazo, como a formação de cicatrizes hipertróficas e contraturas, que são complicações de grande impacto funcional. Os desfechos também foram medidos de formas diferentes entre os estudos, como tempo de reepitelização, escalas de dor e avaliações visuais da ferida, o que dificulta a comparação dos resultados. Parte da literatura utiliza a PBM associada a outros recursos terapêuticos, e uma parcela significativa das evidências provêm de modelos animais. Quanto ao presente trabalho, por se tratar de uma revisão integrativa com análise descritiva e qualitativa, não foi realizada análise estatística nem avaliação formal do risco de viés dos estudos incluídos. Além disso, a restrição a publicações em português, inglês e espanhol disponíveis na íntegra pode ter levado à exclusão de estudos relevantes.

Apesar dessas limitações, os resultados apresentam implicações importantes para a fisioterapia. A redução do tempo de reepitelização e o possível alívio da dor podem permitir que o paciente inicie mais cedo, e com maior tolerância, a cinesioterapia, o posicionamento adequado e a mobilização das regiões acometidas. Essas estratégias são fundamentais para prevenir a perda de amplitude de movimento e a formação de contraturas, especialmente em queimaduras próximas às articulações. Dessa forma, a PBM não substitui as condutas fisioterapêuticas tradicionais, mas pode atuar como recurso complementar, favorecendo um ambiente tecidual mais propício à recuperação funcional. Do ponto de vista clínico, por ser um recurso não invasivo e sem efeitos térmicos significativos, a fotobiomodulação apresenta potencial para ser incorporada ao atendimento

do paciente queimado dentro da equipe multiprofissional, como complemento ao cuidado convencional da ferida, desde que aplicada por profissional capacitado, com parâmetros bem definidos e respeitando as contraindicações.

Os resultados de Lu et al. (2023) indicam que pacientes com fatores que comprometem a cicatrização também podem apresentar benefícios com a utilização desse recurso, enquanto os achados de Elmelegy (2023) sugerem possível relevância em regiões de grande impacto estético e psicossocial, como a face. Diante do exposto, recomenda-se que estudos futuros sejam realizados por meio de ensaios clínicos randomizados, com amostras maiores, cegamento, descrição completa dos parâmetros de aplicação, desfechos padronizados e seguimento prolongado. Também é importante incluir a avaliação da qualidade da cicatriz e da funcionalidade dos pacientes, para que seja possível estabelecer protocolos seguros e eficazes para a utilização da fotobiomodulação no tratamento de queimaduras de segundo grau.

6 CONCLUSÃO

A presente revisão integrativa permitiu concluir que a Fotobiomodulação (PBM), também denominada Terapia a Laser de Baixa Potência (LLLT), apresenta-se como um recurso complementar promissor e seguro no manejo de queimaduras de segundo grau. A análise da literatura, organizada em três eixos, evidenciou que:

1. Do ponto de vista biológico, a PBM apresenta plausibilidade mecanística, atuando por meio da absorção da luz pela citocromo c oxidase mitocondrial, com consequente aumento da produção de ATP e ativação de vias relacionadas à proliferação celular. Destaca-se, ainda, a possível ativação do TGF-ùz. ODWHQWH. HQGyJHQRl. FLWRFLQD. FHQWUDO. QD. PRGXODomR. GD. UHVSRVWD. inflamatória e na formação do tecido de granulação;

2. Nos ensaios clínicos, destaca-se o ensaio randomizado de Yadav et al. (2026), que utilizou laser superpulsado de 904 nm e demonstrou redução do tempo de reepitelização, alívio da dor aguda e modulação inflamatória. Esses achados são corroborados pelo estudo piloto duplo-cego de Adler, Liram e Bar Davidov (2025). O estudo de Lu et al. (2023) amplia a relevância clínica ao demonstrar resultados favoráveis também em uma população de alto risco, com cicatrização comprometida pelo uso de glicocorticoides. Por sua vez, Elmelegy (2023) aponta benefícios estéticos e funcionais em queimaduras na região da face; e

3. A síntese temporal indica que as diferenças entre os grupos se tornam perceptíveis a

partir do terceiro dia, com início mais rápido da formação de tecido de granulação no grupo submetido à PBM (nível 2, em comparação ao nível 1 do grupo controle). A diferença teria atingido seu ponto máximo no 14º dia, quando foi observada reepitelização concluída (nível 5) no grupo PBM, em contraste com epitelização parcial (nível 3) no grupo controle.

Entretanto, as evidências devem ser interpretadas como promissoras, mas ainda não consolidadas. Observou-se heterogeneidade considerável entre os protocolos de aplicação, com variações no comprimento de onda (660 nm, na faixa do vermelho, e 904 nm, na faixa do infravermelho superpulsado), na densidade de energia, na potência e no número de sessões, além de descrição incompleta desses parâmetros, conforme apontado por Brassolatti et al. (2018) e Deana et al. (2021). Soma-se a isso o número limitado de ensaios clínicos, frequentemente com amostras pequenas, períodos curtos de acompanhamento e desfechos avaliados por métodos distintos. Essas limitações dificultam a análise de complicações em longo prazo, como cicatrizes hipertróficas e contraturas. Além disso, parte significativa da literatura ainda é proveniente de modelos animais ou de estudos que associam a PBM a outros recursos terapêuticos, como sericina e sulfadiazina de prata.

No contexto da fisioterapia, a relevância clínica da PBM está relacionada ao seu caráter não invasivo e à ausência de efeitos térmicos significativos quando aplicada adequadamente. Esse recurso não substitui as condutas tradicionais de cuidado às queimaduras, mas pode atuar de forma complementar, contribuindo para um ambiente tecidual favorável ao reparo. A possível redução do tempo de reepitelização e o alívio da dor podem favorecer o início mais precoce e a melhor tolerância à cinesioterapia, ao posicionamento terapêutico e à mobilização articular. Essas estratégias são fundamentais para prevenir perdas de amplitude de movimento e contraturas, especialmente nos casos em que as queimaduras acometem regiões próximas às articulações.

Dessa forma, recomenda-se que estudos futuros sejam conduzidos por meio de ensaios clínicos randomizados, com amostras maiores, métodos de cegamento, descrição completa dos parâmetros de aplicação, desfechos padronizados e períodos prolongados de acompanhamento. Também é importante incluir a avaliação da qualidade da cicatriz e da funcionalidade dos pacientes. Essas medidas poderão contribuir para estabelecer protocolos seguros e eficazes e, consequentemente, esclarecer o papel da fotobiomodulação na abordagem de queimaduras de segundo grau no contexto da atuação multiprofissional.

7 REFERÊNCIAS

ADLER, L.; LIRAM, N.; BAR DAVIDOV, A. Photobiomodulation treatment for second

degree burn treatment - A double-blinded controlled pilot trial. Photobiomodulation, Photomedicine and Laser Surgery, v. 43, n. 2, p. 59-64, 2025.

BRASSOLATTI, P. et al. Evaluation of photobiomodulation therapy parameters in burn healing: a systematic review of animal studies. Lasers in Medical Science, v. 33, n. 6, p. 1153-1162, 2018.

CAMPOS, A. C. L.; BORGES-BRANCO, A.; GROTH, A. K. Cicatrização de feridas. Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva, v. 20, n. 1, p. 51-58, 2007. CARDOSO, R. et al. Photobiomodulation combined with bioactive membranes in wound healing models. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, v. 240, p. 112800, 2024.

DEANA, A. M. et al. Photobiomodulation therapy in second and third-degree burns: a systematic review and meta-analysis of preclinical studies. Scientific Reports, v. 11, n. 1, p. 14210, 2021.

ELMELEGY, N. Electro-photobiomodulation in acute facial burn management: functional and aesthetic outcomes. Burns, v. 49, n. 4, p. 890-898, 2023. FHEMIG. Fundação Hospitalar do Estado de Minas Gerais. Protocolo Clínico de Manejo de Queimaduras. Belo Horizonte: FHEMIG, 2025.

FONTANA, M. C. et al. Classificação e manejo de queimaduras de espessura parcial. Revista Brasileira de Queimaduras, v. 19, n. 2, p. 45-52, 2020.

GIBSON, A. L. et al. Burn wound healing and functional recovery outcomes. Surgical Clinics of North America, v. 101, n. 3, p. 411-425, 2021.

GUO, S.; DIPIETRO, L. A. Factors affecting wound healing. Journal of Dental Research, v. 89, n. 3, p. 219-229, 2010.

HAMBLIN, M. R. Mechanisms and applications of the anti-inflammatory effects of photobiomodulation. AIMS Biophysics, v. 4, n. 3, p. 337-361, 2017.

HENRIQUES, Á. C. G.; CAZAL, C.; CASTRO, J. F. L. Ação da laserterapia no processo de proliferação e diferenciação celular. Revista Brasileira de Cancerologia, v. 56, n. 1, p. 85-91, 2010.

JESCHKE, M. G. et al. Burn injury. Nature Reviews Disease Primers, v. 6, n. 1, p. 11, 2020.

KHAN, I. et al. Photobiomodulation activates endogenous latent TGF-ù β WRβ DFFHOHUDWHβ wound healing. Scientific Reports, v. 11, n. 1, p. 8254, 2021.

LU, Wenting et al. The efficacy of low-level laser therapy for the healing of second-degree burn wounds on lower limbs of glucocorticoid-dependent patients. Lasers in Medical Science, v. 38, n. 1, p. 186, 2023. DOI: 10.1007/s10103-023-03838-7.

MOSCA, R. C. et al. Photobiomodulation therapy for wound care: a potent, noninvasive,

photo-pharmaceutical approach. Adv Skin Wound Care, v. 32, n. 4, p. 157-167, 2019. PRADAL, Lilian de Araujo et al. Photobiomodulation in burn wounds: a systematic review and meta-analysis of clinical and preclinical studies. Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery, v. 43, n. 1, p. 8-23, 2025. DOI: 10.1089/photob.2023.0181.

PRADAL, L. A. et al. Association of sericin and photobiomodulation in second-degree burn repair. Biomedicine & Pharmacotherapy, v. 170, p. 116000, 2026. SOUZA, R.; SOUZA, M. Complicações motoras e contraturas pós-queimadura: o papel da fisioterapia. Revista de Fisioterapia e Saúde Funcional, v. 11, n. 1, p. 15-24, 2022. TRAJANO, L. A. N. et al. Effect of red laser (660 nm) on second-degree burn healing in animal models. Lasers in Surgery and Medicine, v. 47, n. 5, p. 420-428, 2015. YADAV, Divya et al. Effects of photobiomodulation adjunct therapy via superpulsed 904 nm laser in patients with second-degree burns: randomized controlled clinical trial. Journal of Biophotonics, v. 19, n. 2, e202500386, 2026. DOI: 10.1002/jbio.202500