



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA



TOMAZ GOULART MENDES

**EFEITO ASSOCIADO DO USO DA FOTOBIMODULAÇÃO COM LUZ EM
COMPRIMENTO DE ONDA VERMELHO E INFRAVERMELHO SOBRE O
REPARO EM ÁREAS ENXERTADAS COM OSSO BOVINO DESPROTEINIZADO**

Uberlândia

2025

TOMAZ GOULART MENDES

**EFEITO ASSOCIADO DO USO DA FOTOBIMODULAÇÃO COM LUZ EM
COMPRIMENTO DE ONDA VERMELHO E INFRAVERMELHO SOBRE O
REPARO EM ÁREAS ENXERTADAS COM OSSO BOVINO DESPROTEINIZADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Odontologia da Universidade
Federal de Uberlândia como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em
Odontologia

Orientador: Prof. Dr. Guilherme José Pimentel
Lopes de Oliveira

Coorientador: Lucas de Sousa Goulart Perei

Uberlândia

2025



ATA DE DEFESA - GRADUAÇÃO

| | | | | | |
|--|--|------------------------|-----|-----------------------|-------|
| Curso de Graduação em: | Odontologia | | | | |
| Defesa de: | Trabalho de Conclusão de Curso II - FOUFU 31003 | | | | |
| Data: | 05/08/2025 | Hora de início: | 14h | Hora de encerramento: | 14h30 |
| Matrícula do Discente: | 12021ODO021 | | | | |
| Nome do Discente: | Tomaz Goulart Mendes | | | | |
| Título do Trabalho: | Efeito associado do uso da PBMT com luz em comprimento de onda vermelho e infravermelho sobre o reparo em áreas enxertadas com osso bovino desproteínizado | | | | |
| A carga horária curricular foi cumprida integralmente? | | (X) Sim () Não | | | |

Reuniu-se na Vila Digital, da pós- Graduação/Sala 31, Bloco 4L anexo A, último andar, Campus Umuarama, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Odontologia, composta pelos Professores Doutores: **Suzane Cristina Pigossi** (FOUFU); **Luiz Renato Paranhos** (FOUFU); e **Guilherme José Pimentel Lopes de Oliveira** (FOUFU) - orientador do candidato.

Iniciando os trabalhos, o Presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. **Guilherme José Pimentel Lopes de Oliveira**, apresentou a comissão examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público e concedeu ao discente a palavra, para a exposição do seu trabalho.

A seguir, o Presidente da Banca concedeu a palavra, pela ordem, sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca Examinadora, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o candidato:

(x) Aprovado

OU

() Reprovado (a)

Nada mais havendo a tratar, foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata, que após lida, foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme José Pimentel Lopes de Oliveira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 05/08/2025, às 14:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Suzane Cristina Pigossi, Professor(a) do Magistério Superior**, em 05/08/2025, às 14:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Renato Paranhos, Professor(a) do Magistério Superior**, em 05/08/2025, às 14:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6524620** e o código CRC **C0DC6C06**.

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo apoio
e amor incondicional, e aos professores que
me acompanharam com sabedoria ao longo
dessa jornada.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi possível graças ao apoio, incentivo e contribuição de muitas pessoas às quais sou profundamente grato.

Agradeço, em especial, ao Professor Dr. Guilherme, meu orientador, por sua dedicação, orientação segura e pelos valiosos ensinamentos compartilhados ao longo desta jornada. Sua confiança e disponibilidade foram fundamentais para a construção deste trabalho e para o meu crescimento acadêmico e profissional.

À minha família, em especial aos meus pais, por sempre estarem ao meu lado, oferecendo apoio incondicional, conselhos sensatos e encorajamento constante em todas as decisões da minha vida. Sua presença foi essencial em cada etapa desta caminhada.

Aos meus amigos, que estiveram comigo durante os desafios do TCC e de toda a graduação, compartilhando momentos de esforço, aprendizado e conquistas. A amizade de vocês tornou essa jornada mais leve e significativa.

À Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia (FOUFU), minha eterna gratidão por proporcionar uma formação de excelência, pautada na ética, no conhecimento e na prática responsável da Odontologia. Agradeço pelas oportunidades vividas, pelos professores que marcaram minha trajetória e pelos valores que levarei comigo para a vida profissional.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Esse estudo comparou o efeito da fotobiomodulação (PBMT) com luz vermelha e infravermelha associada sobre o reparo de áreas enxertadas com osso bovino desproteínizado (OBD). Foram utilizados 24 ratos que foram avaliados em dois períodos experimentais (30 e 90 dias – n=6). Foram instalados bilateralmente no ramo da mandíbula de cada animal uma cápsula de teflon que foi preenchida com OBD. Os grupos foram divididos de acordo com o tipo de tratamento aplicado a área enxertada: CTR: OBD sem tratamento adjunto; IRL/RL: OBD associado a PBMT com luz infravermelha e vermelha. Foi executada a análise histomorfometria para avaliação da composição do tecido reparado. Foi observado que o grupo IRL/RL apresentou maior quantidade de osso no período de 90 dias que o grupo CTR e menor quantidade de tecidos moles do que o grupo CTR no período de 90 dias ($p<0.05$). Os achados sugerem que a aplicação combinada de PBMT com laser infravermelho e vermelho promove um efeito bioestimulador significativo sobre o processo de neoformação óssea em áreas enxertadas com OBD.

Palavras-chaves: Terapia a Laser; Enxerto Ósseo; Reparo Ósseos.

ABSTRACT

This study compared the effect of combined red and infrared light photobiomodulation therapy (PBMT) on the repair of areas grafted with deproteinized bovine bone (DBB). Twenty-four rats were used and evaluated at two experimental time points (30 and 90 days; n=6). Teflon capsules filled with DBB were bilaterally implanted in the mandibular ramus of each animal. The groups were divided according to the type of treatment applied to the grafted area: CTR – DBB without adjunctive treatment; IRL/RL – DBB associated with PBMT using infrared and red light. Histomorphometric analysis was performed to evaluate the composition of the repaired tissue. It was observed that the IRL/RL group presented a greater amount of bone at 90 days compared to the CTR group, and a lower amount of soft tissue than the CTR group at 90 days ($p<0.05$). The findings suggest that the combined application of PBMT with red and infrared laser has a significant biostimulatory effect on the bone regeneration process in areas grafted with DBB.

Keywords: Laser Therapy; Bone Graft; Bone Repair.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 8 |
| 2 | OBJETIVO | 10 |
| 3 | METODOLOGIA | 11 |
| 3.1 | Grupos | 11 |
| 3.2 | Procedimento Cirúrgico | 11 |
| 3.3 | Fotobiomodulação com laser em duplo comprimento de onda..... | 12 |
| 3.4 | Análise histomorfométrica | 12 |
| 3.5 | Análise estatística..... | 13 |
| 4 | RESULTADOS..... | 14 |
| 4.1 | Tabela 1 - Média e desvio padrão dos dados da composição das áreas enxertadas | 14 |
| 4.2 | Figura 1 – Imagens histológicas após 30 e 90 dias de reparo ósseo | 14 |
| 5 | DISCUSSÃO..... | 16 |
| 6 | CONCLUSÃO | 18 |
| | REFERÊNCIAS | 19 |

1 INTRODUÇÃO

Defeitos ósseos no rebordo alveolar representam um grande desafio na odontologia por dificultarem ou até mesmo impossibilitarem a reabilitação em áreas edêntulas^{1, 2}. Visando reestabelecer volume e qualidade de osso nessas áreas, os substitutos de tecido ósseo têm sido indicados para correção desses defeitos por meio da técnica de regeneração óssea guiada^{3, 4}. O enxerto autógeno é considerado o padrão ouro por apresentar excelentes propriedades biológicas⁵, porém, fatores como condições de saúde do paciente, maior morbidade pós-operatória e disponibilidade limitada, são fatores limitantes para a coleta do tecido ósseo e utilização do mesmo em técnicas de enxertia⁶.

Dentre os demais substitutos ósseos com capacidade de osteocondução, o osso bovino desproteinizado (OBD) é o que apresenta maiores evidências científicas em sua utilização^{7, 8}. Apesar de seus resultados clínicos favoráveis, o OBD possui uma baixa capacidade biológica quando comparado aos enxertos autógenos⁹. A fim de melhorar essa capacidade biológica dos substitutos ósseos osteocondutores, tratamentos adjuntos como fatores de crescimento¹⁰, concentrados sanguíneos¹¹, fotobiomodulação (PBMT)¹² vêm sendo associados com diferentes substitutos ósseos em áreas enxertadas.

A fotobiomodulação vem apresentando resultados promissores na regeneração óssea e na consolidação de fraturas^{13, 14}. Tais resultados indicam que a PBMT de forma adjunta pode potencialmente melhorar o processo de regeneração óssea em áreas enxertadas. Estudos com PBMT vem sendo realizados com dois diferentes comprimentos de onda sendo eles: a luz vermelha (660nm) e a luz infravermelha (830nm).¹⁵ A luz infravermelha possui maior penetrabilidade tecidual, atingindo camadas profundas dos tecidos, o que faz com que essa energia alcance o tecido ósseo permitindo a aceleração de cicatrização desse tecido¹⁵. Devido a isso, a PBMT com luz infravermelha (IV-PBMT) vem sendo testada em áreas enxertadas com substitutos ósseos osteocondutores¹⁵. De fato, estudos pré-clínicos anteriores demonstraram efeito positivo da IV-PBMT na formação óssea e na osseointegração de implantes em áreas enxertadas com OBD e com substitutos ósseos aloplásticos^{13, 16}. Apesar dos bons resultados, o seu longo protocolo de PBMT requer 7 sessões, dificultando a adesão do paciente ao tratamento.

Por outro lado, a PBMT com luz vermelha, com menor quantidade de sessões, tem apresentado bons resultados na resolução de patologias ou feridas superficiais, como por exemplo no reparo periodontal em estudos pré-clínicos com animais

imunossuprimidos por meio de aplicação única de PBMT no momento trans-cirúrgico^{17, 18}. Neste projeto, propomos a utilização combinada de dois comprimentos de onda, vermelho e infravermelho, considerando que feridas em áreas enxertadas apresentam tanto componentes superficiais (tecidos cutâneos) quanto profundos (tecido ósseo e muscular). Essa abordagem pode potencialmente promover benefícios adicionais e acelerar a regeneração dessas áreas. Estudos anteriores demonstraram que a combinação da PBMT com laser vermelho e infravermelho demonstrou bons resultados no reparo em alvéolos pós-extração aplicados em 3 sessões^{19, 20, 21}.

2 OBJETIVO

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar diferentes protocolos de PBMT utilizando lasers vermelho e infra-vermelho de forma combinada na regeneração óssea de áreas enxertadas com osso bovino desproteinizado. A hipótese nula deste estudo é que a associação da PBMT com lasers vermelho e infra-vermelho não promove diferença significativa na regeneração óssea em áreas enxertadas com osso bovino desproteinizado quando comparada à ausência de tratamento adjunto.

3 METODOLOGIA

Esse estudo foi previamente aprovado pelo Comitê de ética de utilização de animais da Universidade Federal de Uberlândia – UFU, protocolo nº 030/20. Para esse estudo foram utilizados 24 ratos (*Rattus norvegicus*, variação Wistar) com 3 meses de idade, com peso entre 250–300g que foram mantidos em um ambiente com temperatura ($21\pm 1^{\circ}\text{C}$), humidade (65-70%), e ciclos de luz (12 horas) controlado. Os animais foram alimentados com ração apropriada e foi oferecido água e ração ad libitum. Esse estudo foi conduzido de acordo com o protocolo ARRIVE para conduta de estudos pré-clínicos.

3.1 Grupos

Os animais foram aleatoriamente divididos em 2 grupos com 12 animais cada, avaliados em dois períodos experimentais (30 e 90 dias – $n=6$). Os grupos foram divididos de acordo com o protocolo de PBMT utilizado para irradiar a área enxertada: CTR: OBD sem tratamento adjunto; IRL/RL: OBD associado a PBMT com luz infravermelha e vermelha

3.2 Procedimento Cirúrgico

Após uma semana de aclimação ao ambiente do biotério, os animais foram anestesiados por uma combinação de Quetamina com Xilazina, na proporção de 80mg/Kg de massa corporal de Cloridrato de Quetamina – (Cloridrato de Quetamina 50mg/ml) e 10mg/Kg de massa corporal de Cloridrato de Xilazina (Cloridrato de Xilazina- 20mg/ml) respectivamente. Posteriormente, os animais foram submetidos à tricotomia na região massetérica e submandibular e foi realizada antissepsia do campo cirúrgico com gaze estéril, embebida em solução de povidine, com o animal sendo então posicionado em decúbito dorsal sobre a mesa cirúrgica.

Incisões horizontais foram executadas na região inferior do ramo da mandíbula e foram descolados o tecido muscular e o periosteio para expor a face lateral do ramo ascendente da mandíbula dos animais. Quatro perfurações de 0.5mm de diâmetro foram executadas através de uma broca esférica. Essas perfurações foram realizadas paralelas à base da mandíbula e a 6mm

de distância uma da outra formando as arestas de um quadrado. Uma cápsula de teflon customizada no formato de um domo possuindo diâmetro externo de 5mm, altura de 2.5mm e colar periférico de 1mm foi inserida com sua porção aberta de encontro a face lateral da mandíbula (duas cápsulas por animal sendo uma do lado direito e outra do lado esquerdo). Foi inserido um volume de 0.032mm³ de osso bovino desproteínizado (Cerabone, Botiss, Zossen, Alemanha) compactado dentro das cápsulas, que foi posteriormente fixada na mandíbula por meio de suturas com fio de seda 4.0 que transpassaram a própria cápsula e as perfurações executadas no ramo da mandíbula. Os tecidos moles foram reposicionados sobre a cápsula e suturado com fio vicryl 4.0. Os animais receberam no pós-operatório uma dose intramuscular de pentabiótico (0,8 ml/kg) e de 3 doses de cetoprofeno 1% aplicados a cada 24 horas (5 mg/kg). Os animais foram eutanasiados por meio de sobredosagem anestésica nos períodos de 30 e 90 dias após as cirurgias.

3.3 Fotobiomodulação com laser em duplo comprimento de onda

O laser de GaAlAs (Therapy EC, λ 660nm - λ 808nm, 100 mW, ϕ ~0.600 μ m, divergência da ponta = 0.37rad, CW, área do spot de 0,0283 cm², DMC Equipamentos, São Carlos, SP, Brazil) foi utilizado para execução da PBMT. Na área que recebeu o enxerto, foram realizadas 4 irradiações em pontos equidistantes 3 mm de tal forma que englobasse toda a área enxertada. O laser foi irradiado no transcirúrgico por 5 segundos em cada ponto, totalizando 20 segundos de irradiação. A energia aplicada em cada ponto foi de 1 J por ponto, o que resultou em um total de 4 J por sessão. A densidade de energia de irradiação utilizada foi de aproximadamente 35,33 J/cm²/ponto, totalizando 141,32 J/cm².

3.4 Análise histomorfométrica

Após os períodos experimentais de 30 e 90 dias, os animais foram eutanasiados por meio de injeção intraperitoneal de tiopental (150 mg/kg) associado à lidocaína (10 mg/kg). Os ramos mandibulares foram removidos, fixados em paraformaldeído a 4% por 48 horas e posteriormente armazenados em álcool 70%. As amostras foram então descalcificadas em EDTA 7% e submetidas ao processamento histológico convencional para inclusão em parafina.

O seccionamento foi realizado na região central das amostras, no plano transversal. Foram realizados cortes seriados de 5µm de espessura, gerando 5 lâminas com 3 cortes cada, coradas com hematoxilina-eosina (HE). Três cortes equidistantes (20 µm entre si) foram selecionados para análise, sendo o primeiro escolhido de forma randômica.

As imagens histológicas foram escaneadas por um scanner de lâminas (Aperio ScanScope AT, Leica Biosystem, Germany), com aumento de 200x e foram posteriormente mensuradas utilizando o software Aperio ImageScope (Leica Biosystem, Germany). A área de interesse correspondeu à região entre o domo e a face lateral do ramo mandibular. Foram determinadas, em percentual, as áreas ocupadas por tecido ósseo neoformado, remanescente de substituto de tecido ósseo e tecido mole, permitindo a avaliação quantitativa do processo de reparo ósseo nas diferentes condições experimentais.

3.5 Análise estatística

Os dados numéricos desse estudo foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Os dados das análises se distribuíram de acordo com a normalidade, sendo assim, foi aplicado o teste paramétrico de two-way Anova complementado pelo teste de Tukey. O software Jamovi v2.3.28 foi utilizado para a aplicação dos testes estatísticos. Todos os testes foram aplicados com nível de confiança de 95%.

4 RESULTADOS

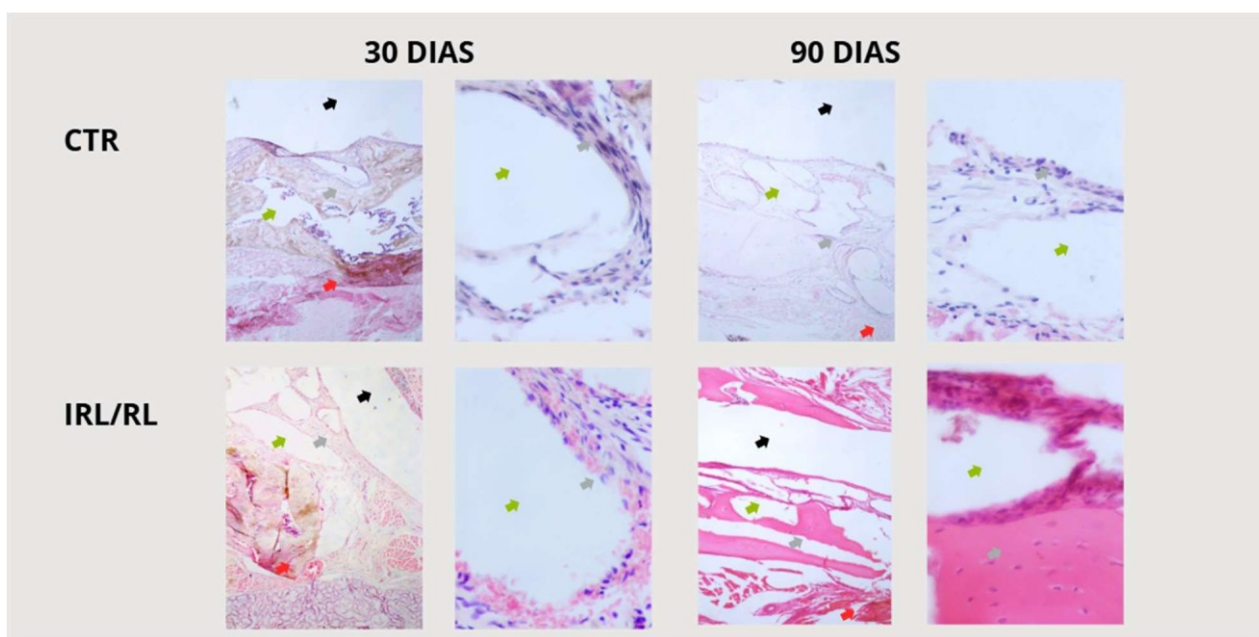
Foi observado na histomorfométrica que o grupo IRL/RL apresentou maior quantidade de osso no período de 90 dias que o outro grupo ($p<0.05$) e menor quantidade de tecidos moles do que o grupo CTR de 90 dias ($p<0.05$). A tabela 1 expõe os dados de média e desvio padrão dos dados da composição das áreas enxertadas que foram avaliadas por meio de análise histomorfométrica.

4.1 Tabela 1 - Média e desvio padrão dos dados da composição das áreas enxertadas

A tabela 1 apresenta dados de média e desvio padrão dos dados da composição das áreas enxertadas que foram avaliadas por meio de análise histomorfométrica. Letras diferentes representam diferentes níveis de diferenças estatisticamente significativas entre os grupos dentro de cada período de avaliação – Two-way anova complementado pelo teste de Tukey.

| Período | Grupos | %Osso | % Substituto ósseo | %Tecido mole |
|---------|--------|-------------------------|--------------------|-------------------------|
| 30d | CTR | 19.99±4.41 | 29.11±4.90 | 50.90±6.53 |
| | IRL/RL | 28.30±7.37 | 28.28±6.68 | 43.43±4.95 |
| 90d | CTR | 20.82±4.22 ^b | 31.58±4.67 | 47.61±3.19 ^b |
| | IRL/RL | 32.00±4.87 ^a | 30.13±2.95 | 37.87±6.64 ^a |

4.2 Figura 1 – Imagens histológicas após 30 e 90 dias de reparo ósseo



A Figura 1 mostra imagens histológicas obtidas após 30 e 90 dias de reparo ósseo em áreas enxertadas com osso bovino desproteinizado, observadas em cortes corados por hematoxilina-eosina. Aos 30 dias, nota-se matriz osteóide desorganizada com baixo grau de mineralização e núcleos celulares aumentados, indicativos de atividade osteoblástica. Aos 90 dias, o tecido apresenta maior organização, coloração mais intensa (rosa) e alto grau de mineralização, com núcleos celulares menores, caracterizando osteócitos e indicando redução da atividade celular. Essas características são especialmente evidentes no grupo irradiado com luz infravermelha e vermelha combinadas, quando comparado ao grupo controle, sugerindo que a PBMT promoveu maior maturação tecidual no mesmo intervalo de tempo. Como legenda, a seta preta indica o domo de teflon; a amarela, a região do biomaterial (OBD); a cinza, o tecido ósseo neoformado e a vermelha, refere-se ao osso nativo da mandíbula do animal em estudo.

5 DISCUSSÃO

A PBMT com lasers de baixa intensidade como terapia adjunta para acelerar o processo de reparo ósseo em áreas enxertadas com osso bovino desproteínizado vem apresentando bons resultados em modelos animais^{13, 16, 22}. Foi observado nesse estudo que a aplicação da PBMT em duplo comprimento de onda promoveu maior formação de tecido ósseo em áreas enxertadas com osso bovino desproteínizado do que no grupo controle onde esse tratamento não foi realizado. Além disso, também foi observado uma redução na proporção de tecidos moles, o que, em conjunto, caracteriza um tecido enxertado de melhor qualidade e com maior potencial de permitir, por exemplo, uma melhora no processo de osseointegração. Esse efeito da associação da PBMT com laser vermelho e infravermelho pode ser devido ao efeito desses diferentes comprimentos de onda nos diferentes tecidos atingidos^{12, 16, 22}.

Um estudo recente concluiu que a PBMT acelerou o reparo dos tecidos moles de paciente que realizaram procedimento de gengivectomia²³. Esse efeito pode ter beneficiado a cicatrização dos tecidos moles que recobriram a área enxertada, consequentemente, colaborando com a formação de tecido ósseo, visto que, a cicatrização inadequada de tecidos moles prejudica a formação de tecido ósseo²⁴. Esse resultado pode estar associado ao uso da luz vermelha no protocolo combinado, já que esse comprimento de onda, por apresentar maior absorção superficial, age de forma mais eficiente sobre tecidos epiteliais e musculares, acelerando o processo inflamatório e proliferativo nas camadas superficiais^{16, 25}.

Uma das principais dúvidas quanto aos resultados é o fato de encontrarmos diferenças entre os grupos apenas na avaliação após 90 dias, e esse achado pode ser explicado por se tratar de um defeito desafiador para o processo de reparo, e que é necessário um tempo maior para se notar diferenças na formação do tecido ósseo estimulado pela PBMT, visto que o laser acelera o metabolismo celular atuando diretamente sobre as mitocôndrias e atua na expressão de proteínas que regulam o metabolismo ósseo²⁶. Esses efeitos não ocorrem de forma imediata, o que justifica o motivo dos efeitos da PBMT terem sido observados em períodos mais longos¹³. Outro fator importante é que a aplicação da PBMT em única sessão pode ter perceptível os seus efeitos de forma mais lenta do que protocolos de PBMT em mais sessões¹³.

Diante da maior formação de tecido ósseo observada com a aplicação da PBMT associada ao OBD, uma das hipóteses clínicas mais promissoras é o potencial impacto positivo na osseointegração de implantes dentários. A literatura já aponta que o volume e a qualidade do osso neoformado estão diretamente relacionados ao sucesso da osseointegração²⁸. Assim, a

utilização da PBMT pode não apenas favorecer a estabilidade primária e secundária do implante, mas também reduzir o tempo de espera para a instalação da prótese, otimizando o fluxo clínico do tratamento. Além disso, embora neste estudo tenha sido adotado um protocolo único de aplicação, evidências indicam que protocolos com maior número de sessões podem ampliar os efeitos bioestimulantes da PBMT, favorecendo ainda mais a regeneração óssea^{14, 16}.

Esses achados levantam a possibilidade de que, com a associação adequada da PBMT com o OBD possa reduzir a necessidade do uso de enxertos autógenos, tradicionalmente considerados padrão-ouro, mas que apresentam limitações clínicas e cirúrgicas⁶. Ainda que o osso autógeno apresente propriedades superiores, a combinação entre OBD e PBMT pode alcançar resultados clínicos satisfatórios e previsíveis, especialmente em casos nos quais a coleta de enxerto autógeno representa um risco ou desconforto para o paciente. A busca por terapias adjuvantes como a PBMT visa justamente equilibrar eficácia biológica e qualidade de vida do paciente, o que representa um importante avanço na prática clínica contemporânea.

Esse estudo apresenta limitações que devem ser levadas em consideração ao avaliar os nossos achados. Diversos trabalhos já demonstraram a eficácia da PBMT com laser de baixa intensidade como terapia adjunta em procedimentos de regeneração óssea guiada^{13, 14, 22}, porém, não há estudos que comparem a capacidade de penetração do laser através de diferentes membranas e barreiras utilizadas nesse procedimento, algo que deve ser estudado posteriormente. Além disso, os efeitos de fatores tais como tempo de uso do aparelho, carregamento da bateria, e barreiras de proteção sobre a emissão da energia do laser devem ser avaliados futuramente.

6 CONCLUSÃO

A PBMT com laser de baixa potência em duplo comprimento de onda em uma única aplicação transcirúrgica melhorou o reparo ósseo em áreas enxertadas com osso bovino desproteinizado na mandíbula de ratos.

REFERÊNCIAS

1. Mizraji G, Davidzohn A, Gursoy M, Gursoy U, Shapira L, Wilensky A. Membrane barriers for guided bone regeneration: An overview of available biomaterials. *Periodontol 2000*. 2023 Oct;93(1):56-76. doi: 10.1111/prd.12502. Epub 2023 Oct 19. PMID: 37855164. <https://doi.org/10.1111/prd.12502>
2. Urban IA, Montero E, Amerio E, Palombo D, Monje A. Techniques on vertical ridge augmentation: Indications and effectiveness. *Periodontol 2000*. 2023 Oct;93(1):153-182. doi: 10.1111/prd.12471. Epub 2023 Jan 31. PMID: 36721380. <https://doi.org/10.1111/prd.12471>
3. Aroni MAT, Costa Neto PF, Oliveira GJPL, Marcantonio RAC, Marcantnio Junior E. Bone repair induced by different bone graft substitutes in critical-sized defects in rat calvaria. *Rev Odontol UNESP*. 2019;48:e20190041. <https://doi.org/10.1590/1807-2577.04119>
4. Artas G, Gul M, Acikan I, Kirtay M, Bozoglan A, Simsek S, Yaman F, Dundar S. A comparison of different bone graft materials in peri-implant guided bone regeneration. *Braz Oral Res*. 2018 Jul 10;32:e59. doi: 10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0059. PMID: 29995064. <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0059>
5. Spin-Neto R, Stavropoulos A, Coletti FL, Faeda RS, Pereira LA, Marcantonio E Jr. Graft incorporation and implant osseointegration following the use of autologous and fresh-frozen allogeneic block bone grafts for lateral ridge augmentation. *Clin Oral Implants Res*. 2014 Feb;25(2):226-33. <https://doi.org/10.1111/clr.12107>
6. Nkenke E, Neukam FW. Autogenous bone harvesting and grafting in advanced jaw resorption: morbidity, resorption and implant survival. *Eur J Oral Implantol*. 2014 Summer;7 Suppl 2:S203-17.
7. Pignaton TB, Wenzel A, Ferreira CEA, Borges Martinelli C, Oliveira GJPL, Marcantonio E Jr, Spin-Neto R. Influence of residual bone height and sinus width on the outcome of maxillary sinus bone augmentation using anorganic bovine bone. *Clin Oral Implants Res*. 2019 Apr;30(4):315-323. <https://doi.org/10.1111/clr.13417>
8. Pignaton TB, Spin-Neto R, Ferreira CEA, Martinelli CB, de Oliveira GJPL, Marcantonio E Jr. Remodelling of sinus bone grafts according to the distance from the native bone: A histomorphometric analysis. *Clin Oral Implants Res*. 2020 Oct;31(10):959-967. <https://doi.org/10.1111/clr.13639>

9. Carmagnola D, Adriaens P, Berglundh T. Healing of human extraction sockets filled with Bio-Oss. Clin Oral Implants Res. 2003 Apr;14(2):137-43. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.2003.140201.x>
10. Nam JW. Efficacy of hydroxyapatite and fibrin sealant as carriers for bone morphogenetic protein-2 in maxillary sinus floor augmentation: a retrospective study. Int J Oral Maxillofac Surg. 2024 Apr 22:S0901-5027(24)00099-7. doi: 10.1016/j.ijom.2024.04.005. Epub ahead of print. PMID: 38653626. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2024.04.005>
11. Ciobanu P, Danciu M, Pascu A, Gardikiotis I, Forna N, Sirbu MT, Calistru AE, Puha B, Veliceasa B, Sirbu PD. Experimental Study on Rats with Critical-Size Bone Defects Comparing Effects of Autologous Bone Graft, Equine Bone Substitute Bio-Gen® Alone or in Association with Platelet-Rich Fibrin (PRF). Polymers (Basel). 2024 May 25;16(11):1502. doi: 10.3390/polym16111502. PMID: 38891449; PMCID: PMC11175103. <https://doi.org/10.3390/polym16111502>
12. Vigliar MFR, Marega LF, Duarte MAH, Alcalde MP, Rosso MPO, Ferreira Junior RS, Barraviera B, Reis CHB, Buchaim DV, Buchaim RL. Photobiomodulation Therapy Improves Repair of Bone Defects Filled by Inorganic Bone Matrix and Fibrin Heterologous Biopolymer. Bioengineering (Basel). 2024 Jan 13;11(1):78. doi: 10.3390/bioengineering11010078. PMID: 38247955; PMCID: PMC10813421. <https://doi.org/10.3390/bioengineering11010078>
13. de Oliveira GJPL, Aroni MAT, Medeiros MC, Marcantonio E Jr, Marcantonio RAC. Effect of low-level laser therapy on the healing of sites grafted with coagulum, deproteinized bovine bone, and biphasic ceramic made of hydroxyapatite and β -tricalcium phosphate. In vivo study in rats. Lasers Surg Med. 2018 Jan 13. doi: 10.1002/lsm.22787. Epub ahead of print. PMID: 29331041. <https://doi.org/10.1002/lsm.22787>
14. Della Coletta BB, Jacob TB, Moreira LAC, Pomini KT, Buchaim DV, Eleutério RG, Pereira ESBM, Roque DD, Rosso MPO, Shindo JVTC, Duarte MAH, Alcalde MP, Júnior RSF, Barraviera B, Dias JA, Andreo JC, Buchaim RL. Photobiomodulation Therapy on the Guided Bone Regeneration Process in Defects Filled by Biphasic Calcium Phosphate Associated with Fibrin Biopolymer. Molecules. 2021 Feb 5;26(4):847. doi: 10.3390/molecules26040847. PMID: 33562825; PMCID: PMC7914843. <https://doi.org/10.3390/molecules26040847>

15. Gonçalves FC, Mascaro BA, Oliveira GJPL, Spolidório LC, Marcantonio RAC. Effects of red and infrared laser on post extraction socket repair in rats subjected to alendronate therapy. *Braz Oral Res.* 2023 May 29;37:e048. doi: 10.1590/1807-3107bor-2023.vol37.0048. PMID: 37255068.
16. de Oliveira GJPL, Aroni MAT, Pinotti FE, Marcantonio E Jr, Marcantonio RAC. Low-level laser therapy (LLLT) in sites grafted with osteoconductive bone substitutes improves osseointegration. *Lasers Med Sci.* 2020 Sep;35(7):1519-1529. doi: 10.1007/s10103-019-02943-w. Epub 2020 Feb 5. PMID: 32026163. <https://doi.org/10.1007/s10103-019-02943-w>
17. Garcia VG, Sahyon AS, Longo M, Fernandes LA, Gualberto Junior EC, Novaes VC, Ervolino E, de Almeida JM, Theodoro LH. Effect of LLLT on autogenous bone grafts in the repair of critical size defects in the calvaria of immunosuppressed rats. *J Craniomaxillofac Surg.* 2014 Oct;42(7):1196-202. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2014.02.008>
18. Garcia VG, Gualberto EC Júnior, Ervolino E, Nagata MJH, de Almeida JM, Theodoro LH. aPDT for periodontitis treatment in ovariectomized rats under systemic nicotine. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2018 Jun;22:70-78. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2018.02.017>
19. Pereira DA, Mendes PGJ, de Souza Santos S, de Rezende Barbosa GL, Pessoa RSE, de Oliveira GJPL. Effect of the association of infra-red and red wavelength photobiomodulation therapy on the healing of post-extraction sockets of third lower molars: a split-mouth randomized clinical trial. *Lasers Med Sci.* 2022 Jul;37(5):2479-2487. doi: 10.1007/s10103-022-03511-5. Epub 2022 Jan 26. PMID: 35079918. <https://doi.org/10.1007/s10103-022-03511-5>
20. Pereira DA, Bonatto MS, Soares EC Jr, Mendes PGJ, Pessoa RSE, de Oliveira GJPL. Photobiomodulation With Infrared and Dual-Wavelength Laser Induces Similar Repair and Control of Inflammation After Third Molar Extraction: A Double-Blinded Split-Mouth Randomized Controlled Trial. *J Oral Maxillofac Surg.* 2025 Mar;83(3):332-343. doi: 10.1016/j.joms.2024.11.009. Epub 2024 Nov 20. PMID: 39645230. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2024.11.009>
21. Alves Pereira D, Silva Bonatto M, Souza Santos S, Gomes Junqueira Mendes P, Sales E Pessoa R, Pimentel Lopes de Oliveira GJ. Comparison of the effects of antibiotic therapy and photobiomodulation with red and infrared lasers on the healing of

- postextraction sockets of third molars: A randomised controlled trial. *Lasers Med Sci.* 2025 Apr 17;40(1):196. doi: 10.1007/s10103-025-04445-4. PMID: 40240714. <https://doi.org/10.1007/s10103-025-04445-4>
22. Bosco AF, Faleiros LP, Carmona LR, Garcia VG, Theodoro LH, de Araujo NJ, Nagata MJH, de Almeida JM. Effects of low-level laser therapy on bone healing of critical-size defects treated with bovine bone graft, *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, Volume 163, 2016, Pages 303-310, ISSN 1011-1344. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.08.040>
 23. Abesi F, Derikvand N. Efficacy of Low-Level Laser Therapy in Wound Healing and Pain Reduction After Gingivectomy: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Lasers in Medical Sciences.* 2023;14:e17. doi:10.34172/jlms.2023.17. PMID: 37583501. <https://doi.org/10.34172/jlms.2023.17>
 24. Garcia J, Dodge A, Luepke P, Wang HL, Kapila Y, Lin GH. Effect of membrane exposure on guided bone regeneration: A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res.* 2018 Mar;29(3):328-338. doi: 10.1111/clr.13121. Epub 2018 Jan 24. PMID: 29368353. <https://doi.org/10.1111/clr.13121>
 25. Ebrahimi P, Hadilou M, Naserneysari F, Dolatabadi A, Tarzemandy R, Vahed N, Nikniaz L, Fekrazad R, Gholami L. Effect of photobiomodulation in secondary intention gingival wound healing – a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health.* 2021 May 13;21(1):258. doi: 10.1186/s12903-021-01611-2. PMID: 33985599; PMCID: PMC8119589 <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01611-2>
 26. Freitas RM, Susin C, Tamashiro WM, Souza JAC, Marcantonio C, Wikesjö UM, et al. Histological analysis and gene expression profile following augmentation of the anterior maxilla using rhBMP-2/ACS versus autogenous bone graft. *J Clin Periodontol.* 2016 Dec;43(12):1200-7. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12601>
 27. Buser D, Sennerby L, De Bruyn H. Modern implant dentistry based on osseointegration: 50 years of progress, current trends and open questions. *Periodontol* 2000. 2017;73(1):7–21. doi:10.1111/prd.12185. PMID: 28263527 <https://doi.org/10.1111/prd.12185>
 28. Mourão CF de AB, Valiense H, Melo ER, Mourão NBMF, Maia MD-C. Obtention of injectable platelets rich-fibrin (i-PRF) and its polymerization with bone graft: technical note. *Rev Col Bras Cir* [Internet]. 2015Nov;42(6):421–3. <https://doi.org/10.1590/0100-69912015006013>

29. Freddo AL, Rodrigo SM, Massotti FP, Etges A, de Oliveira MG. Effect of low-level laser therapy after implantation of poly-L-lactic/polyglycolic acid in the femurs of rats. *Lasers Med Sci.* 2009 Sep;24(5):721-8. <https://doi.org/10.1007/s10103-008-0627-2>
30. Jakse N, Payer M, Tangl S, Berghold A, Kirmeier R, Lorenzoni M. Influence of low-level laser treatment on bone regeneration and osseointegration of dental implants following sinus augmentation. An experimental study on sheep. *Clin Oral Implants Res.* 2007 Aug;18(4):517-24. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2007.01369.x>
31. Zhou J, Luo C, Xie H, et al. Increased expression of heat shock protein70 and heat shock factor 1 in chronic dermal ulcer tissues treated with laser-aided therapy. *Chin Med J.* 2008;121(14):1269-1273. <https://doi.org/10.1097/00029330-200807020-00004>
32. Scalize PH, de Sousa LG, Gonçalves LMN, Pitol DL, Palinkas M, Coppi AA, Righeti MA, Ricardo V, Bombonato-Prado KF, Regalo SCH, Siessere S. Low-level laser therapy enhances the number of osteocytes in calvaria bone defects of ovariectomized rats. *Animal Model Exp Med.* 2019 Feb 21;2(1):51-57. doi: 10.1002/ame2.12056. PMID: 31016287; PMCID: PMC6431244. <https://doi.org/10.1002/ame2.12056>
33. Lima JR, Bernardino SS, Pereira LSG, Pignaton TB, Spin-Neto R, Marcantonio-Junior E, Oliveira GJPL. Effect of different thresholds on the accuracy of linear and volumetric analysis of native- and grafted-bone. *Braz Dent J.* 2022 Jul-Aug;33(4):40-46. doi: 10.1590/0103-6440202204823. PMID: 36043567; PMCID: PMC9645177. <https://doi.org/10.1590/0103-6440202204823>