

UNICESUMAR - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE MARINGÁ

CAMPUS CURITIBA

CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

MEMBRANAS OSTEOPROMOTORAS UTILIZADAS NA REGENERAÇÃO ÓSSEA
GUIADA: UMA REVISÃO DE LITERATURA.

EDUARDA MENDES CÂMARA CASSAROTTI

RAFAEL LIMA DA CRUZ

CURITIBA – PR

2024

Eduarda Mendes Câmara Cassarotti

Rafael Lima da Cruz

**MEMBRANAS OSTEOPROMOTORAS UTILIZADAS NA REGENERAÇÃO ÓSSEA
GUIADA: UMA REVISÃO DE LITERATURA.**

Artigo apresentado ao curso de graduação em Odontologia da UniCesumar – Centro Universitário de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel(a) em Odontologia, sob a orientação do Prof. Eduardo H. C.-Scherner Chiarello.

CURITIBA – PR

2024

FOLHA DE APROVAÇÃO

**EDUARDA MENDES CÂMARA CASSAROTTI
RAFAEL LIMA DA CRUZ**

MEMBRANAS OSTEOPROMOTORAS UTILIZADAS NA REGENERAÇÃO ÓSSEA GUIADA: UMA REVISÃO DE LITERATURA.

Artigo apresentado ao curso de graduação em Odontologia da UniCesumar – Centro Universitário de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel(a) em Odontologia, sob a orientação do Prof. Eduardo H. C.-Scherner Chiarello.

Aprovado em: 12 de Novembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Eduardo H. C.-Scherner Chiarello. – (Mestre em Odontologia Clínica - concentração em Periodontia - pela Universidade Positivo)

Cecim Calixto Junior - (Mestre em Odontologia Clínica pela Universidade Positivo)

Julia Ribas Cesar Durski - (Mestrado em Estomatologia pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

MEMBRANAS OSTEOPROMOTORAS UTILIZADAS NA REGENERAÇÃO ÓSSEA GUIADA: UMA REVISÃO DE LITERATURA.

Eduarda Mendes Câmara Cassarotti

Rafael Lima da Cruz

RESUMO

A Regeneração Óssea Guiada (ROG) é uma técnica fundamental na odontologia para tratar defeitos ósseos resultantes de reabsorção, especialmente em áreas periodontais e peri-implantares, restaurando a estrutura óssea perdida. Baseada no uso de membranas que atuam como barreiras físicas, a ROG impede a invasão de células indesejadas, favorecendo a proliferação de células osteopromotoras necessárias para a formação óssea. Com o passar dos anos a técnica evoluiu, tornando-se amplamente utilizada para a reabilitação de áreas com perda óssea significativa causada por doenças, traumas ou ressecções tumorais, oferecendo ganhos ósseos verticais e horizontais essenciais para a estética e funcionalidade. As membranas empregadas na ROG dividem-se em reabsorvíveis e não reabsorvíveis, com base nisso, por meio de revisão de literatura, este trabalho buscou revisitar os principais tipos de membranas utilizadas na ROG atualmente, incluindo as membranas de colágeno, polietetrafluoretileno (PTFE), ácido polilático co-glicólico (PLGA), uma vez que cada uma delas possui características específicas que influenciam sua eficácia, como biocompatibilidade, tempo de reabsorção e suporte mecânico.

Palavras-chave: Regeneração óssea guiada. Membranas Osteopromotoras. Colágeno. Membranas Sintéticas. Odontologia.

OSTEOPROMOTIVE MEMBRANES USED IN GUIDED BONE REGENERATION: A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT

Guided Bone Regeneration (GBR) is a fundamental technique in dentistry for treating bone defects resulting from resorption, particularly in periodontal and peri-implant areas, restoring lost bone structure. Based on the use of membranes as physical barriers, GBR prevents the invasion of unwanted cells, promoting the proliferation of osteopromotive cells essential for bone formation. Over the years, the technique has evolved, becoming widely used for the rehabilitation of areas with significant bone loss caused by diseases, trauma, or tumor resections, providing vertical and horizontal bone gains essential for aesthetics and functionality. The membranes used in GBR are classified into resorbable and non-resorbable types. Through a literature review, this work aimed to revisit the main types of membranes currently used in GBR, including collagen, polytetrafluoroethylene (PTFE), and polylactic-co-glycolic acid (PLGA) membranes, as each has specific characteristics that influence its effectiveness, such as biocompatibility, resorption time, and mechanical support.

Keywords: Guided bone regeneration. Osteopromotive membranes. Collagen. Synthetic membranes. Dentistry.

1 INTRODUÇÃO

A reabsorção óssea ao redor de dentes e implantes representa um desafio significativo na odontologia moderna, levando a complicações que podem impactar tanto a estabilidade estrutural dos elementos dentários quanto a estética do paciente. Estudos indicam que patologias como a periodontite e a peri-implantite figuram como as principais causas de perda óssea ao redor de dentes e implantes, visto que a presença, por período prolongado, de biofilme bacteriano que, sem controle e acompanhamento, promove inflamação dos tecidos bucais, o que leva gradualmente à reabsorção do tecido ósseo de sustentação. Estudos indicam que a prevalência de peri-implantite, está presente em grande parte dos pacientes que possuem implantes dentários, quando não é realizado monitoramento clínico adequado (Derks *et al.*, 2016).

A prevenção de perdas ósseas peri-implantares e periodontais, portanto, envolve uma combinação de cuidados diários de higiene oral e intervenções clínicas periódicas, desde orientações sobre controle de placa até terapias de manutenção que reduzem a carga bacteriana e monitoram alterações iniciais na estrutura óssea. Essa abordagem é essencial não apenas para a longevidade dos implantes e dentes, preservando o rebordo ósseo, mas também para evitar intervenções cirúrgicas extensas e melhorar a qualidade de vida dos pacientes (Manresa *et al.* 2018).

Devido às dificuldades em tratar os defeitos resultantes da reabsorção óssea, principalmente em áreas periodontais e peri-implantares, a Regeneração Óssea Guiada (ROG) surgiu como uma técnica fundamental para restaurar a estrutura óssea perdida, ganhando protagonismo ao passar dos anos, como uma técnica amplamente utilizada na odontologia, para o tratamento de defeitos ósseos em áreas onde há perda ou insuficiência de tecido ósseo. Essa técnica se baseia na utilização de membranas que atuam como barreiras físicas, impedindo que células epiteliais e fibroblastos em tecidos moles e tecidos moles se instalem na área cuja regeneração óssea é desejada, permitindo que as células osteopromotoras, essenciais para a formação óssea, se proliferem no local.

Historicamente, a ROG começou a ser estudada como uma extensão dos conceitos de Regeneração Tecidual Guiada (RTG), auxiliando na regeneração do tecido ósseo perdido, por meio da exclusão de células de rápida proliferação que poderiam interferir no processo de cura (Rangel *et al.*, 2022).

Desde sua introdução, na década de 1980, quando pesquisadores introduziram a hipótese de que membranas não reabsorvíveis poderiam ser posicionadas sobre o defeito ósseo para isolar o local de células de tecido mole, a ROG evoluiu significativamente, tornando-se uma das opções terapêuticas mais eficientes para a reabilitação de áreas com necessidade de reconstrução óssea (Dahlin *et al.*, 1988). Do início das pesquisas até os tempos atuais, essa abordagem foi amplamente estudada e aplicada, especialmente na reconstrução de defeitos ósseos associados às reabsorções por perda de elementos dentários, lesões neoplásicas, traumáticas ou infecciosas (Noetzold, 2017).

A aplicabilidade da regeneração óssea guiada é ampla. Ela é frequentemente utilizada em pacientes que apresentam perda óssea significativa, resultante de doenças periodontais, traumas ou ressecções tumorais, pois em muitos desses casos, a quantidade de osso remanescente não é suficiente para suportar os tratamentos reabilitadores necessários, o que compromete a estabilidade e o sucesso da reabilitação. Portanto, a ROG ganha protagonismo nesses cenários uma vez que oferece a promoção de ganhos ósseos verticais e/ou horizontais necessários para a reabilitação estética e funcional do paciente.

Existem duas classes principais de membranas utilizadas na técnica de ROG: as membranas reabsorvíveis e as membranas não reabsorvíveis. Dentre elas estão as membranas de politetrafluoretileno (PTFE), PTFE expandido (ePTFE), colágeno, fáscia lata liofilizada, aloenxertos de dura máter liofilizados, poliglactina 910, ácido polilático, ácido poliglicólico, poliortoéster, poliuretano, polihidroxibutirato, sulfato de cálcio, malha de microtitânio, bem como folhas de titânio (Filho *et al.*, 2023).

As membranas não reabsorvíveis, como as de politetrafluoretileno expandido (e-PTFE), foram as primeiras a serem amplamente empregadas na ROG. Elas são quimicamente estáveis, inertes do ponto de vista biológico, e apresentam excelente resistência à degradação microbiológica e enzimática. Sua principal vantagem é a capacidade de manter o espaço necessário para a regeneração óssea durante longos períodos, o que aumenta as chances de sucesso do procedimento. No entanto, essas membranas apresentam algumas desvantagens, como a necessidade de uma segunda cirurgia para removê-las e o risco de complicações, como a exposição da membrana ao meio bucal, o que pode resultar em falhas no processo regenerativo (Ren *et al.*, 2023).

Diante das limitações das membranas não reabsorvíveis, o desenvolvimento de membranas reabsorvíveis, especialmente as de colágeno, representou um avanço significativo na ROG. As membranas de colágeno são biocompatíveis, promovem a adesão de células osteoblásticas à sua superfície e possuem propriedades bioativas que favorecem a regeneração tecidual. Além disso, por serem reabsorvidas pelo organismo, eliminam a necessidade de uma cirurgia para remoção, o que simplifica o tratamento e reduz os riscos de complicações (Guo *et al.*, 2022). No entanto alguns autores apontam que essas membranas podem apresentar desvantagem devido a sua rápida degradação, que dependendo do caso pode comprometer a estabilidade da área regenerada se o processo de cura óssea não estiver concluído no tempo adequado.

Com o avanço das pesquisas e das tecnologias de biomateriais, novas membranas têm sido desenvolvidas com o objetivo de combinar as vantagens das membranas reabsorvíveis e não reabsorvíveis. Algumas membranas reabsorvíveis sintéticas, como as feitas de polímeros de ácido polilático, têm sido estudadas para melhorar a estabilidade volumétrica e a resistência mecânica, prolongando o tempo de suporte à regeneração óssea sem comprometer a reabsorção natural do material (Ren *et al.*, 2023).

Atualmente, a regeneração óssea guiada é considerada uma técnica padrão no tratamento de defeitos ósseos, especialmente em casos de preservação e aumento do rebordo

alveolar. Ela é amplamente documentada e utilizada em procedimentos de colocação de implantes dentários, garantindo que áreas com deficiência óssea possam ser restauradas com eficiência. As membranas desempenham um papel crucial nesse processo, e a escolha do tipo de membrana a ser utilizada deve ser baseada nas necessidades específicas de cada caso clínico, levando em consideração fatores como o tipo de defeito ósseo, o tempo necessário para a regeneração e o risco de complicações.

Em resumo, a regeneração óssea guiada é uma técnica terapêutica valiosa, com uma longa trajetória de desenvolvimento desde suas primeiras aplicações. A utilização de membranas osteopromotoras, sejam elas reabsorvíveis ou não, tem mostrado ser eficaz na promoção da neoformação óssea, permitindo que pacientes com perda óssea significativa possam ser reabilitados de forma funcional e estética. O contínuo desenvolvimento de novos materiais e abordagens técnicas promete aprimorar ainda mais os resultados dessa modalidade terapêutica.

Considerando a relevância clínica das desvantagens advindas das reabsorções ósseas na odontologia e o impacto que essa condição traz para a saúde e estética do paciente, o presente estudo realiza uma revisão da literatura sobre o tema, abordando aspectos importantes das causas das perdas ósseas e da evolução das técnicas de regeneração óssea guiada (ROG) como solução para restaurar os defeitos ósseos. A revisão também explora as diferentes membranas utilizadas na ROG e a importância da escolha adequada do material para maximizar o sucesso clínico e melhorar os desfechos terapêuticos em pacientes com necessidade de reconstrução óssea.

2 METODOLOGIA

Este estudo consiste em uma revisão de literatura, com o objetivo de identificar e analisar as principais evidências sobre o uso de membranas de barreira em regeneração óssea guiada na odontologia. Foram realizadas buscas em bases de dados acadêmicas reconhecidas, incluindo PubMed, Google Scholar, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI) e SciELO, abrangendo artigos publicados entre 2015 e 2024. Utilizou-se uma combinação de

palavras-chave para filtrar estudos relevantes, como "regeneração óssea guiada", "membranas de barreira", "colágeno", "membranas sintéticas" e "odontologia". Os critérios de inclusão envolveram artigos publicados em periódicos em revistas reconhecidas, disponíveis em texto completo nos idiomas inglês ou português. As publicações foram selecionadas com base em sua relevância e abrangência na área de estudo e analisadas quanto à metodologia, resultados e contribuições, oferecendo uma visão abrangente das abordagens mais recentes e dos avanços no uso de membranas para regeneração óssea guiada.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 REGENERAÇÃO ÓSSEA GUIADA (ROG)

A regeneração óssea guiada (ROG) é uma técnica amplamente utilizada na odontologia e na medicina regenerativa para reparar defeitos ósseos através do uso de membranas osteopromotoras. Essas membranas atuam como barreiras físicas que impedem a invasão de células epiteliais e do tecido conjuntivo, permitindo que o espaço seja ocupado por células osteogênicas, promovendo, assim, a formação óssea. A aplicação da ROG é essencial em diversos procedimentos odontológicos, como a instalação de implantes, enxertos ósseos e reparação de defeitos periodontais.

Kim e Jeong (2020) explicam que a regeneração óssea guiada (ROG) é um procedimento que utiliza membranas de barreira para evitar a invasão de tecidos moles, sendo considerado por alguns especialistas como um procedimento que requer, estritamente, o uso dessas membranas. Em geral, contudo, o termo ROG é aplicado a qualquer técnica de enxerto ósseo voltada para reparar defeitos ao redor de implantes dentários.

3.2 MEMBRANAS DE BARREIRA

As membranas com função de barreira para a regeneração óssea guiada devem, idealmente, atender a cinco requisitos principais: biocompatibilidade, habilidade de manter o

espaço, oclusão celular, integridade estrutural e facilidade de manejo clínico (Scantlebury, 1993).

3.2.1 BIOCOMPATIBILIDADE

A biocompatibilidade das membranas de barreira em regeneração óssea guiada (ROG) é um fator essencial para o sucesso de procedimentos de reconstrução óssea, pois determina a capacidade dessas membranas de interagir com os tecidos presentes ao redor da membrana sem desencadear reações adversas significativas (Pilger *et al.*, 2020). Essa característica é fundamental, já que as membranas servem para criar um ambiente de proteção e suporte ao crescimento ósseo, bloqueando a invasão de tecidos moles e promovendo uma base favorável para a formação de novo tecido ósseo (Ren *et al.*, 2022).

Em especial, as membranas biodegradáveis destacam-se por sua reabsorção segura e controlada, que dispensa a necessidade de uma nova cirurgia para remoção, evitando inflamações e permitindo que o organismo absorva o material sem resposta imune severa (Silveira, 2012).

Estudos demonstram que o acompanhamento a longo prazo das membranas de barreira reafirma a importância da biocompatibilidade, não apenas para a segurança inicial, mas também para garantir que a membrana permaneça eficaz e integrada ao tecido em processos prolongados de regeneração (Abtahi *et al.*, 2023). Dessa forma, a biocompatibilidade é um pilar central no desenvolvimento de membranas que visam à reconstrução óssea eficaz e harmoniosa, sendo indispensável tanto para a segurança quanto para a funcionalidade em ROG.

3.2.2 HABILIDADE DE MANTER O ESPAÇO

A habilidade das membranas de barreira em manter um espaço ideal durante a regeneração óssea guiada (ROG) é fundamental para o sucesso dos procedimentos de reconstrução óssea. Essa característica desempenha um papel crucial na criação de um ambiente favorável para a regeneração, permitindo a manutenção do espaço pelo tempo necessário para

formar um leito para as células mesenquimais indiferenciadas, além de garantir a estabilidade do coágulo sanguíneo que é vital para o desenvolvimento adequado dessas células e consequentemente uma regeneração óssea efetiva (Sbriocli *et al.*, 2020).

3.2.3 OCLUSÃO CELULAR

Para que a regeneração óssea guiada ocorra de forma eficaz, a membrana de barreira deve possuir oclusividade adequada, com o intuito de impedir a invasão de células epiteliais e de tecidos moles no sítio em que se espera a regeneração óssea, evitando a formação de tecido fibroso que reduziria a efetividade do tratamento. A oclusividade é diretamente influenciada pela porosidade da membrana, pois esta determina a facilidade com que fluidos, oxigênio e nutrientes essenciais passam, elementos fundamentais para o crescimento e a regeneração óssea (Qasim *et al.*, 2023). Quando os poros da membrana possuem menos de 8 µm e estão bem ajustados ao tecido ósseo, a seleção celular ocorre de maneira que apenas células osteogênicas permaneçam no local, o que contribui para um ambiente de cura mais controlado (Pilger *et al.*, 2020). Por outro lado, uma porosidade maior pode facilitar a penetração de células epiteliais de crescimento rápido, que limitam a atividade de células formadoras de osso, além de aumentar o risco de contaminação bacteriana em casos de exposição da membrana. Esses fatores destacam a importância de uma escolha cuidadosa das propriedades de porosidade das membranas para otimizar a regeneração óssea e garantir uma barreira eficaz.

3.2.4 INTEGRIDADE ESTRUTURAL

A capacidade das membranas de suportar forças mecânicas externas e resistir à degradação precoce é crucial para garantir que o processo de regeneração ocorra em um ambiente protegido e livre de interferências celulares não osteogênicas. Esse equilíbrio entre durabilidade e biodegradabilidade das membranas é essencial para garantir tanto a proteção inicial quanto a gradual integração da membrana com o tecido regenerado, otimizando os resultados clínicos na ROG (Sbriocli *et al.*, 2020).

3.2.5 FACILIDADE DE MANEJO

Uma membrana não deve apresentar rigidez excessiva, pois isso dificultaria sua integração ao tecido e poderia resultar em deslocamento dos tecidos moles; por outro lado, se for muito maleável, pode tornar o processo de manipulação mais complexo e comprometer o ajuste adequado. Assim, um equilíbrio entre flexibilidade e rigidez é essencial para facilitar o manuseio e assegurar um posicionamento eficaz durante o procedimento (Caballé-Serrano *et al.*, 2018). A facilidade de manejo das membranas de barreira na regeneração óssea guiada (ROG) é essencial para garantir sua adaptação precisa e minimamente invasiva durante o procedimento cirúrgico. Membranas com boa flexibilidade e moldabilidade oferecem aos profissionais maior controle ao posicioná-las no defeito ósseo, contribuindo para a manutenção de um ambiente adequado para a regeneração. Essas características de manuseio fácil também reduzem o tempo cirúrgico e, consequentemente, o risco de complicações durante a operação.

3.3 MEMBRANAS NÃO ABSORVÍVEIS

As membranas não absorvíveis, fazem parte da primeira geração de membranas de barreira utilizadas na odontologia, elas são compostas por materiais como o politetrafluoroetileno expandido (e-PTFE), e-PTFE reforçado com titânio, o politetrafluoroetileno de alta densidade (d-PTFE) e as malhas de titânio (Caballé-Serrano *et al.*, 2019).

3.3.1 MEMBRANAS DE POLITETRAFLUORETILENO EXPANDIDO (E-PTFE)

A membrana de politetrafluoretileno expandido (e-PTFE) foi a primeira a ser amplamente adotada em procedimentos de ROG, na década de 1980, devido às suas propriedades estruturais de resistência e porosidade, as quais favorecem o transporte de nutrientes essenciais ao processo regenerativo. Com seu uso, tornou-se possível criar um ambiente mais favorável ao crescimento ósseo, impulsionando o desenvolvimento da técnica,

ficando conhecido à época como um dos materiais de padrão ouro na ROG (Alauddin *et al.*, 2022).

Caracterizado por uma estrutura microporosa, o e-PTFE proporciona um ambiente estável e adequado para a regeneração óssea, sendo amplamente reconhecido por sua biocompatibilidade e capacidade de manutenção de espaço. Contudo, com o uso clínico contínuo desse material, surgiram algumas observações importantes acerca de suas vantagens e limitações. Um dos desafios encontrados durante o uso do e-PTFE foi o aumento do risco de infecção em casos de exposição da membrana ao meio bucal, visto que embora uma estrutura porosa seja uma característica desejável às membrana de barreira, notou-se que a espessura dos poros presentes no e-PTFE permitem a passagem de algumas famílias de bactérias, característica essa que em alguns casos pode gerar complicações, afetando o sucesso do tratamento e evidenciando a necessidade de aprimoramentos na formulação das membranas (Ren, *et al.*, 2022).

3.3.2 MEMBRANAS DE POLITETRAFLUORETILENO DENSO (D-PTFE)

Com o intuito de reduzir as desvantagens observadas no e-PTFE, foi desenvolvido o politetrafluoretileno denso (d-PTFE), uma versão aprimorada com porosidade reduzida. O d-PTFE representa, portanto, um avanço importante aos materiais utilizados como membrana, pois foi capaz de manter muitas das vantagens do e-PTFE, como a formação de uma barreira eficaz contra tecidos moles, ao mesmo tempo em que apresentou uma resistência aumentada frente à invasões bacterianas quando comparado ao d-PTFE, bem como uma menor taxa de exposição do sítio regenerativo ósseo. Somado a isso, notou-se que a redução da porosidade do PTFE tornou mais fácil a remoção da membrana após o processo de regenerativo, melhorando assim a experiência pós-operatória dos pacientes e contribuindo para o sucesso clínico a longo prazo.

As membranas de PTFE, particularmente as variantes densas (d-PTFE), têm sido amplamente usadas devido à sua resistência à contaminação bacteriana e à excelente estabilidade mecânica visto que criam uma barreira eficaz contra a invasão de tecidos moles e,

por não serem absorvidas pelo corpo, são capazes de manter sua integridade por períodos prolongados, o que é visto como uma vantagem para o tratamento de defeitos maiores, que requerem um suporte por tempo prolongado (*Caballé-Serrano et al.*, 2019). Contudo, a necessidade de remoção cirúrgica após a cicatrização continua sendo uma desvantagem significativa, pois envolve um procedimento adicional, aumentando o desconforto e o risco de complicações para o paciente.

No entanto, embora o d-PTFE reduza a suscetibilidade a infecções, estudos ainda indicam que a formação de biofilmes pode ocorrer, o que sugere que outros ajustes podem ser explorados para otimizar esse material (*Turri et al.*, 2020).

3.3.3 MALHAS DE TITÂNIO

As malhas de titânio têm sido amplamente estudadas e aplicadas na regeneração óssea guiada (ROG) devido a várias qualidades vantajosas. Elas possuem uma excelente capacidade de manutenção de espaço, fundamental para a regeneração óssea. Sua rigidez e alta resistência mecânica proporcionam suporte estrutural necessário para a osteogênese, o que evita o colapso do enxerto durante a cicatrização. Além disso, a estabilidade conferida pela malha é crucial para preservar o volume ósseo até a formação completa do novo tecido ósseo. Outra qualidade importante é a plasticidade do titânio, que permite que a malha seja moldada e ajustada de acordo com a forma do defeito ósseo, possibilitando aumentos ósseos tanto em altura quanto em largura (*Angelis et al.*, 2023).

No entanto, as malhas de titânio apresentam algumas limitações significativas, dentre elas, o risco de deiscência de tecidos moles e exposição à membrana que podem ocorrer, aumentando o risco de infecção e complicações no processo de cicatrização, no entanto, com o adequado acompanhamento e gerenciamento essa complicações pode ser controlada, permitindo a continuação do tratamento e consequentemente mantendo ganho de volume ósseo em grande parte dos casos. Outra desvantagem associada as malhas de titânio, é a necessidade de uma

segunda cirurgia para remover a malha após a regeneração óssea, situação que resulta em maior morbidade, desconforto e custos adicionais para o paciente (Briguglio *et al.*, 2019).

Assim, embora as malhas de titânio ofereçam excelente estabilidade estrutural e capacidade de manter o espaço de regeneração, sua aplicação deve ser considerada cuidadosamente, especialmente em função da taxa de exposição e da necessidade de uma segunda intervenção cirúrgica (Aceves-Argemí *et al.*, 2021).

3.4 MEMBRANAS ABSORVÍVEIS

As membranas absorvíveis são amplamente utilizadas na regeneração óssea guiada (ROG) devido à sua capacidade de promover uma barreira temporária eficaz, que se degrada e é reabsorvida pelo corpo ao longo do tempo. Compostas de materiais biocompatíveis como colágeno, polímeros sintéticos e derivados naturais, essas membranas evitam a necessidade de uma segunda cirurgia para remoção, reduzindo o risco de complicações pós-operatórias e oferecendo uma experiência menos invasiva ao paciente.

3.4.1 MEMBRANAS DE COLÁGENO

As membranas de colágeno fazem parte de uma família de proteínas presentes em diversos tecidos do corpo humano, como pele, vasos sanguíneos e ossos. Sua síntese é realizada por diferentes células especializadas, dependendo do local onde são encontradas. Por exemplo, os fibroblastos produzem colágeno no tecido conjuntivo, enquanto os osteoblastos são responsáveis por sua produção nos ossos. O colágeno possui propriedades estruturais importantes, como baixa imunogenicidade, capacidade hemostática e ação quimiotáctica sobre células regenerativas, e boa estabilidade dimensional. Para garantir sua estabilidade, as moléculas de colágeno se organizam em uma estrutura de hélice tripla, formando fibras que se ligam por ligações covalentes, dando origem às fibras de colágeno (Filho *et al.*, 2023).

Devido ao fato do colágeno ser um agente hemostático natural, essas membranas apresentam propriedades que facilitam a adesão celular, pois possuem habilidade de promover agregação plaquetária contribuindo para a cicatrização dos tecidos e a neoformação óssea (BIANCHINI, 2020). Ademais, ao fato de as membranas de colágeno serem biodegradáveis, elimina a necessidade de uma segunda intervenção cirúrgica para remoção, tornando-se uma escolha prática para muitos profissionais (Wessing *et al.*, 2018).

Ganharam destaque entre as membranas de barreira utilizadas para ROG devido à suas características estruturais, dentre elas, biocompatibilidade, fácil manuseio como tração e resistência a rompimento e capacidade de reabsorção natural pelo organismo (Bragato Filho, 2023).

Nota-se, portanto, que apesar de suas vantagens, as membranas de colágeno também apresentam algumas limitações, como a variabilidade na taxa de reabsorção, que pode ser influenciada por fatores como a origem do colágeno e a presença de tratamentos químicos adicionais para retardar a degradação. No entanto, estudos apontam que membranas de colágeno reticuladas, tratadas quimicamente tendem a apresentar uma maior resistência e um tempo de reabsorção mais prolongado, o que pode ser benéfico em defeitos ósseos maiores que demandam um suporte estrutural mais duradouro (Zhang *et al.*, 2013).

Essas membranas apresentam boa resistência e adaptação, no entanto, sua principal desvantagem é a rápida degradação, o que pode comprometer a estabilidade necessária para a regeneração óssea completa. Por essa razão, em alguns casos essas membranas podem ser combinadas com biomateriais de enxerto ósseo com o intuito de prolongar seu tempo de permanência no local desejado para que se alcance a regeneração óssea em volume adequado, uma vez que o enxerto ósseo oferece suporte físico adicional à membrana e promove a estabilidade do defeito durante o processo de cicatrização (WESSING *et al.*, 2018).

3.4.2 MEMBRANA DE ÁCIDO POLILÁTICO (PLA)

O ácido polilático (PLA) é amplamente utilizado em biomateriais de regeneração óssea devido à sua biodegradabilidade, biocompatibilidade e capacidade de suporte estrutural. Uma vantagem significativa do PLA é sua resistência mecânica, permitindo a manutenção de um espaço adequado para a regeneração óssea. Ademais, as membranas de PLA se decompõem gradualmente em ácido lático, um subproduto natural no organismo, o que reduz a toxicidade e facilita a absorção ao longo do tempo (Feng *et al.*, 2021)

Estudos realizados por Li *et al.*, (2023) demonstram que este material apresenta boa resistência mecânica e desempenho de suporte, o que evita seu colapso com facilidade e permite a manutenção de um espaço osteogênico adequado. Além do mais, descrevem que o tempo de ação efetivo da membrana PLA pode durar entre 4 e 6 meses, enquanto sua degradação completa ocorre entre 9 e 12 meses. Outros atrativos encontrados, foram a fácil modelação e o custo relativamente baixo tornam o PLA uma alternativa viável em comparação com outras membranas, especialmente em situações onde é essencial uma barreira eficaz que gradualmente se degrade, acompanhando o tempo necessário para a formação do tecido ósseo.

Somado a isso, pesquisas realizadas em modelos animais indicam que o PLA se degrada mais lentamente do que a membrana de colágeno Bio-Gide®, proporcionando maior tempo de suporte para o processo de regeneração óssea, quando comparado à membra de colágeno, sendo essa uma das características que se destacam para a correção de defeitos ósseos que exijam períodos um pouco maiores de suporte estrutural antes da completa integração óssea (Huang *et al.*, 2019).

Em contrapartida, ainda que as membranas de ácido polilático (PLA) apresentem características favoráveis à regeneração óssea guiada, em uma análise mais detalhada, também foram notadas algumas desvantagens no uso do material, como a relativa dureza e resistência que que dificultam a manipulação da membrana, e característica hidrofóbica do PLA que limita

a adesão celular e a vascularização, comprometendo sua capacidade para auxiliar a formação óssea em defeitos de maior extensão (Li *et al.*, 2023).

3.4.3 MEMBRANA DE ÁCIDO POLILÁCTICO-CO-GLICÓLICO (PLGA)

O ácido polilático-co-glicólico (PLGA) é um copolímero amplamente utilizado em biomateriais, composto por ácido polilático (PLA) e ácido poliglicólico (PGA). Enquanto o PGA é um polímero cristalino com propriedades hidrofílicas, o PLA é mais rígido e possui características mais hidrofóbicas. A combinação desses dois componentes, portanto, busca unir as qualidades físico-químicas de ambos os polímeros, resultando em um material com alta biocompatibilidade e controle na taxa de biodegradação (Rocha *et al.*, 2022).

Uma das características mais atrativas do PLGA é a possibilidade de ajuste na velocidade de degradação do material ao variar a proporção entre lactídeo (do PLA) e glicolídeo (do PGA). Com mais glicolídeo, o material degrada-se mais rapidamente, enquanto com mais lactídeo, o tempo de degradação é retardado (Sah e Sah, 2015). Essa flexibilidade permite maior previsibilidade ao material, que poderá oferecer suporte estrutural pelo tempo necessário para a adequada regeneração do tecido ósseo. Isso o torna vantajoso em comparação a outras membranas, como as de colágeno ou PLA puro, cuja taxa de degradação é menos ajustável e pode ser insuficiente para suportar certos tipos de regeneração.

Além disso, o PLGA apresenta boas propriedades mecânicas e processabilidade térmica, facilitando sua moldagem em diferentes formas e aplicações específicas, como dispositivos de liberação controlada de fármacos e membranas para regeneração tecidual. Essa maleabilidade, somada ao ajuste na degradação, permite personalizar o tempo de suporte estrutural, atendendo a diferentes necessidades terapêuticas (Sun *et al.*, 2017).

Em contrapartida, em uma pesquisa realizada com ensaio clínico *in vitro e in vivo*, o PLGA apresentou uma resistência mecânica a compressão pouco satisfatória, impossibilitando

a manutenção adequada da estrutura da membrana, fato esse que pode ser revertido, com a introdução de outros polímeros junto ao PLGA (Kim *et al.*, 2009).

Outra desvantagem encontrada nesse tipo de membrana, está relacionada a sua degradação, uma vez que ao ser degradado, o PLGA libera ácido lático e ácido glicólico, que podem acidificar o ambiente local, desencadeando respostas inflamatórias indesejadas nos tecidos adjacentes (Sun *et al.*, 2022). Essas respostas inflamatórias podem prejudicar a formação óssea, tornando-se um desafio significativo para o uso do PLGA em defeitos ósseos mais extensos, onde um suporte prolongado é crucial para uma recuperação eficaz.

4 DISCUSSÃO

A reabsorção óssea ao redor de dentes e implantes representa um desafio significativo na odontologia moderna, com consequências tanto para a estabilidade estrutural quanto para a estética dos pacientes. Este estudo revisou as causas da perda óssea, identificando a periodontite e a peri-implantite como principais fatores, e explorou a evolução das técnicas de Regeneração Óssea Guiada (ROG) como solução para restaurar defeitos ósseos. Para compreender o uso de membranas na ROG, foram descritas as vantagens e desvantagens das principais membranas utilizadas na odontologia, analisando-se suas funções e como cada tipo contribui para o sucesso do procedimento.

Na ROG, as membranas atuam como barreiras físicas que impedem a invasão de células de tecido mole, garantindo que apenas células ósseas e osteoprogenitoras ocupem o espaço necessário para a regeneração do osso. Esse conceito de seletividade celular é essencial para evitar a colonização por fibroblastos e células epiteliais, que poderiam comprometer a regeneração óssea.

As membranas utilizadas na ROG foram classificadas em reabsorvíveis e não reabsorvíveis. As membranas não reabsorvíveis, que representam uma das primeiras gerações de membranas de barreira, incluem materiais como politetrafluoretileno expandido (e-PTFE),

politetrafluoretileno de alta densidade (d-PTFE) e malhas de titânio. Cada tipo possui características específicas que influenciam sua aplicação clínica. Essas membranas mantêm a integridade estrutural por períodos maiores do que as biodegradáveis, mas, em contrapartida, exigem uma segunda intervenção cirúrgica para remoção após a cicatrização, o que pode aumentar o desconforto e o risco de complicações para o paciente.

As membranas de e-PTFE, amplamente adotadas na ROG, oferecem resistência estrutural e porosidade, o que favorece o transporte de nutrientes essenciais ao processo regenerativo. Apesar de sua biocompatibilidade e capacidade de manter o espaço, a porosidade do e-PTFE permite a passagem de bactérias, aumentando o risco de infecção em casos de exposição da membrana. Em resposta a essa limitação, as membranas de d-PTFE foram desenvolvidas para reduzir o risco de infecções bacterianas, devido à sua porosidade reduzida. Essas membranas mantêm muitas das vantagens do e-PTFE, como a formação de uma barreira eficaz contra tecidos moles, mas com uma menor taxa de exposição do sítio regenerativo ósseo. Além disso, a menor porosidade facilita a remoção após o processo regenerativo, o que melhora a experiência pós-operatória do paciente. Entretanto, a necessidade de remoção cirúrgica permanece uma desvantagem, e a formação de biofilmes ainda representa um risco (Turri *et al.*, 2020).

As malhas de titânio, por sua vez, destacam-se pela excelente capacidade de manter o espaço e pela alta resistência mecânica, proporcionando o suporte estrutural necessário para a osteogênese. A plasticidade do titânio permite moldagem e adaptação às particularidades do defeito ósseo, possibilitando aumentos ósseos em altura e largura. Contudo, essas malhas apresentam maior risco de deiscência e exposição, o que aumenta o risco de infecção e complicações no processo de cicatrização. A necessidade de uma segunda cirurgia para remoção, após a regeneração óssea, também contribui para maior morbidade, desconforto e custos adicionais ao paciente.

As membranas absorvíveis, como as de colágeno, PLA (ácido polilático) e PLGA (copolímero de ácido polilático e ácido glicólico), têm como característica comum a

biodegradabilidade, eliminando a necessidade de uma segunda intervenção cirúrgica. Esse fator reduz o risco de complicações pós-operatórias e proporciona uma experiência menos invasiva para o paciente. Todas são biocompatíveis, significando que são bem toleradas pelo organismo e não desencadeiam reações adversas significativas.

Dentre as absorvíveis, as membranas de colágeno são conhecidas por sua excelente biocompatibilidade e capacidade hemostática, favorecendo a adesão celular e promovendo a cicatrização dos tecidos. Elas são fáceis de manusear e possuem boa estabilidade dimensional, embora sua rápida degradação possa comprometer a estabilidade necessária para a regeneração óssea completa. Para contornar essa limitação, as membranas de colágeno são frequentemente combinadas com biomateriais de enxerto ósseo, prolongando seu tempo de permanência e melhorando a estabilidade do defeito durante a cicatrização.

As membranas de PLA destacam-se pela resistência mecânica, permitindo a manutenção de um espaço adequado para a regeneração óssea. Elas se decompõem gradualmente em ácido lático, um subproduto natural do organismo, o que facilita a absorção ao longo do tempo. Comparadas às de colágeno, as membranas de PLA oferecem um tempo de suporte mais prolongado, sendo adequadas para defeitos ósseos que exigem períodos maiores de suporte estrutural. No entanto, a rigidez e a característica hidrofóbica do PLA podem dificultar o manuseio e limitar a adesão celular e a vascularização, fatores importantes para a formação óssea em defeitos maiores.

Por sua vez, o PLGA combina as qualidades do PLA e do ácido poliglicólico (PGA), resultando em um material com alta biocompatibilidade e controle na taxa de biodegradação (Caballé-Serrano *et al.*, 2019). A flexibilidade do PLGA permite ajustar a velocidade de degradação, oferecendo suporte estrutural pelo tempo necessário para a regeneração óssea adequada. Suas boas propriedades mecânicas e processabilidade térmica facilitam sua moldagem em diferentes formatos e aplicações específicas. Porém, sua degradação pode liberar ácido lático e ácido glicólico, o que pode acidificar o ambiente local e desencadear respostas inflamatórias, prejudicando a formação óssea (Sun *et al.*, 2022).

De maneira geral, foi observado que as membranas não absorvíveis apresentam características diferenciadas em termos de manutenção de espaço, risco de infecção, facilidade de remoção, com vantagens e desvantagens específicas para cada tipo. Todas são eficazes na manutenção do espaço, mas as malhas de titânio se destacam pela alta resistência mecânica e pela capacidade de moldagem (Angelis *et al.*, 2023). No que diz respeito ao risco de infecção, as membranas de d-PTFE são menos suscetíveis a infecções bacterianas que as de e-PTFE, graças à sua porosidade reduzida, no entanto, as malhas de titânio, embora resistentes, apresentam um risco maior de infecção devido à possibilidade de exposição. Em termos de remoção, as membranas de d-PTFE são mais fáceis de serem retiradas após o processo regenerativo do que as de e-PTFE, também por sua menor porosidade.

No tocante às membranas absorvíveis, como as de colágeno, PLA e PLGA, foi observado que essas três variantes possuem vantagens e desvantagens específicas em relação à biocompatibilidade, degradação, resistência mecânica e facilidade de manuseio. Todas são biocompatíveis, mas as de colágeno se destacam por sua capacidade de promover a cicatrização dos tecidos. Em termos de degradação, as membranas de colágeno apresentam uma degradação mais rápida, sendo uma desvantagem em casos que demandam suporte prolongado, enquanto PLA e PLGA proporcionam maior durabilidade, com o diferencial do PLGA em permitir ajustes na taxa de degradação. Em resistência mecânica, PLA e PLGA superam as de colágeno, sendo mais adequadas para defeitos que requerem maior suporte estrutural, embora o manuseio das de colágeno seja facilitado por sua flexibilidade, ao passo que o PLA apresenta maior rigidez.

5 CONCLUSÃO

A escolha da membrana ideal na Regeneração Óssea Guiada (ROG) é crucial para o sucesso da reconstrução óssea em procedimentos odontológicos, pois cada tipo de membrana — biodegradável ou não reabsorvível — apresenta características que influenciam a cicatrização e integração óssea. Por conta disso, a seleção apropriada da membrana permite adaptar o tratamento ao tipo de defeito ósseo e necessidades do paciente, otimizando a eficácia

do tratamento e minimizando riscos. Em um contexto geral, os registos bibliográficos demonstram que as membranas absorvíveis oferecem uma recuperação menos invasiva, enquanto as não reabsorvíveis garantem maior estabilidade, embora exijam cuidados adicionais. Assim, a escolha personalizada da membrana contribui para uma regeneração eficiente, confortável e segura para o paciente.

REFERÊNCIAS

- ALAUDDIN, Muhammad Syafiq et al. Barrier membrane in regenerative therapy: a narrative review. **Membranes**, v. 12, n. 5, p. 444, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/membranes12050444>. Acesso em: 28 out. 2024.
- ABTAHI, S.; CHEN, X.; SHAHABI, S.; NASIRI, N. Membranas absorvíveis para regeneração óssea guiada: características críticas, potenciais e limitações. **ACS Mater Au.**, 23 jun. 2023, v. 3, n. 5, p. 394-417. DOI: 10.1021/acsmaterialsau.3c00013. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10510521/#sec6>. Acesso em: 25 out. 2024.
- ACEVES-ARGEMÍ, Ricard et al. Titanium meshes in guided bone regeneration: A systematic review. **Coatings**, v. 11, n. 3, p. 316, 2021. DOI: 10.3390/coatings11030316.
- BIANCHINI, Marco. Membranas de colágeno: um avanço na Implantodontia. **Implantes New Perio International Journal**, 20 jan. 2020. Disponível em: <https://implantnewsperio.com.br/membranas-de-colageno-um-avanco-na-implantodontia/>. Acesso em: 07 out. 2024.
- BRAGATO FILHO, C.; BATTISTELLA, M. A. Membranas reabsorvíveis em regenerações ósseas guiadas - uma revisão de literatura. **Journal of Multidisciplinary Dentistry**, [S.l.], 2023, v. 13, n. 1, p. 30-38. DOI: 10.46875/jmd.v13i1.813. Disponível em: <https://jmdentistry.com/jmd/article/view/813>. Acesso em: 07 out. 2024.
- BRIGUGLIO, F. et al. O uso de malha de titânio na regeneração óssea guiada: uma revisão sistemática. **International Journal of Dentistry**, 2019, p. 9065423. DOI: 10.1155/2019/9065423. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6383423/>.
- CABALLÉ-SERRANO, Jordi. et al. On the search of the ideal barrier membrane for guided bone regeneration. **J Clin Exp Dent.**, 1 maio 2018, v. 10, n. 5, p. e477-e483. DOI: 10.4317/jced.54767. Disponível em: <https://www.institutomaxilofacial.com/wp-content/uploads/2018/06/jced-10-e477.pdf>. Acesso em: 25 out. 2024.
- CABALLÉ-SERRANO, Jordi et al. Adsorption and release kinetics of growth factors on barrier membranes for guided tissue/bone regeneration: A systematic review. **Archives of Oral Biology**, v. 100, p. 57-68, abr. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003996918308227?via%3Dihub>. Acesso em: 28 out. 2024.
- DAHLIN, C.; LINDE, A.; GOTTLLOW, J.; NYMAN, S. Healing of bone defects by guided tissue regeneration. **Plastic and Reconstructive Surgery**, maio 1988, v. 81, n. 15, p. 672-676. DOI: 10.1097/00006534-198805000-00004. Acesso em: 13 out. 2024.
- DE ANGELIS, N. et al. Técnicas de aumento ósseo com malhas de titânio personalizadas: uma revisão sistemática de ensaios clínicos randomizados. **Open Dentistry Journal**, v. 17, p. e187421062302201, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2174/18742106-v17-230228-2022-172>.

DERKS, J. et al. Eficácia da terapia de implantes analisada em uma população sueca: prevalência de peri-implantite. **Journal of Dental Research**, v. 95, n. 1, p. 43-49, jan. 2016. DOI: 10.1177/0022034515608832.

FENG, Pei et al. Degradation mechanisms and acceleration strategies of poly(lactic acid) scaffold for bone regeneration. **Materials & Design**, v. 210, p. 110066, 15 nov. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.110066>. Acesso em: 3 nov. 2024.

FILHO, Cezar Bragato; BATTISTELLA, Márcio Antônio. Membranas reabsorvíveis em regenerações ósseas guiadas - uma revisão de literatura. **Multidiscipl Dent.**, jan./abr. 2023, v. 13, n. 1, p. 30-38. Disponível em: <https://jmdentistry.com/jmd/article/view/813/171>. Acesso em: 13 out. 2024.

GUO, Yan et al. Clinical efficacy and safety of different dental prosthetic membranes in guided bone regeneration during dental implants: a meta-analysis. **Computational Intelligence and Neuroscience**, 2022, p. 9. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2022/3245014>. Acesso em: 20 set. 2024.

HUANG, J. et al. The long-term behaviors and differences in bone reconstruction of three polymer-based scaffolds with different degradability. **Journal of Materials Chemistry B**, v. 7, n. 48, p. 7690-7703, 2019. DOI: 10.1039/c9tb02072a.

KIM, Young-Kyun; JEONG, Kui Ku. Guided bone regeneration. **Journal of the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons**, v. 46, n. 5, p. 361-366, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5125/jkaoms.2020.46.5.361>.

KIM, J.Y. et al. Avaliação de adesão e proliferação celular de andaimes biodegradáveis baseados em SFF fabricados usando um sistema de deposição multi-cabeça. **Biofabrication**, v. 1, p. 15002, 2009.

LI, X. et al. Efeito da membrana de ácido poliláctico na regeneração óssea guiada na implantação maxilar anterior. **Medical Science Monitor**, v. 29, e938566, 18 mar. 2023. DOI: 10.12659/MSM.938566.

MANRESA, C. et al. Supportive periodontal therapy (SPT) for maintaining the dentition in adults treated for periodontitis. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, v. 1, n. 1, CD009376, 2018. DOI: 10.1002/14651858.CD009376.pub2.

NOETZOLD, Rafaela Iasmin. Reconstrução de maxila atrófica com malha de titânio e membrana não-reabsorvível para reabilitação oral implantsuportada: relato de caso clínico. 2019. Monografia (**Curso de Especialização Lato Sensu**) – Faculdade de Sete Lagoas - FACSETE. Disponível em: <https://www.ciodonto.edu.br/monografia/files/original/cb975a82d1059f2ac050508e6cb8611f.pdf>. Acesso em: 13 out. 2024.

PILGER, A. D. et al. Membranas e barreiras para regeneração óssea guiada. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**, [S.I.], 2020, v. 19, n. 3, p. 441-448. DOI: 10.9771/cmbio.v19i3.36390. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/cmbio/article/view/36390>. Acesso em: 25 out. 2024.

QASIM, Syed Saad Bin et al. Differences in mechanical and physicochemical properties of several PTFE membranes used in guided bone regeneration. **Materials**, 2023, v. 16, n. 3, p. 904. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16030904>. Acesso em: 25 out. 2024.

RANGEL, Thiago Delmindo; PORTELLA, Isabela Reis; SEABRA NETO, Edvaldo. Tipos de membranas utilizadas na técnica de regeneração óssea guiada: revisão de literatura. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, ano 2022, ed. 04, vol. 07, p. 25-35, abr. 2022. ISSN: 2448-0959. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/odontologia/tipos-de-membranas>. Acesso em: 13 out. 2024.

REN, Yanru et al. Barrier membranes for guided bone regeneration (GBR): A focus on recent advances in collagen membranes. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 23, p. 14987, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms232314987>. Acesso em: 28 out. 2024.

ROCHA, Cátia Vieira et al. Compósitos baseados em PLGA para várias aplicações biomédicas. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 4, p. 2034, 2022. DOI: 10.3390/ijms23042034.

SCANTLEBURY, Todd V. 1982-1992: A decade of technology development for guided tissue regeneration. **Journal of Periodontology**, Chicago, v. 64, p. 1129-1137, 1993. Disponível em: <https://aap.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1902/jop.1993.64.11s.1129>. DOI: 10.1902/jop.1993.64.11s.1129. Acesso em: 13 out. 2024.

SILVEIRA, Elcia Maria Varize. Mecanismos envolvidos na resposta imune e inflamatória frente à implantação de membrana de cortical óssea bovina no tecido subcutâneo de camundongos: caracterização histomorfométrica, imunoenzimática e molecular. 2012. Tese (**Doutorado em Estomatologia e Biologia Oral**) – Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo, Bauru, 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/25/25149/tde-05112012-195013/en.php>. Acesso em: 25 out. 2024.

SAH, E.; SAH, H. Tendências recentes na preparação de nanopartículas de poli(lactide-co-glicolídeo) pela mistura de solução orgânica polimérica com antisolvente. **Journal of Nanomaterials**, 2015, 794601. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2015/794601>.

SBRICOLI, Luca et al. Seleção de membranas de colágeno para regeneração óssea: uma revisão de literatura. **Materiais**, 2020, v. 13, n. 3, p. 786. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma13030786>. Acesso em: 25 out. 2024.

SUN, Fengbo et al. Aplicação de andaimes impressos em 3D baseados em PLGA na engenharia de tecidos ósseos. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 10, p. 5831, 2022. DOI: 10.3390/ijms23105831.

SUN, Xiaoyu et al. Ácido Poli(Lático-co-Glicólico): Aplicações e perspectivas futuras para regeneração do tecido periodontal. **Polímeros**, v. 9, n. 6, p. 189, 2017. DOI: 10.3390/polym9060189.

TURRI, A. et al. Early plaque formation on PTFE membranes with expanded or dense surface structures applied in the oral cavity of human volunteers. **Clinical and Experimental Dental Research**, v. 7, p. 137-146, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cre2.344>. Acesso em: 3 nov. 2024.

WESSING, Bastian; LETTNER, Stefan; ZECHNER, Werner. Guided bone regeneration with collagen membranes and particulate graft materials: a systematic review and meta-analysis. **International Journal of Oral and Maxillofacial Implants**, v. 33, n. 1, p. 87-100, 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28938035/>. DOI: 10.11607/jomi.5461. Acesso em: 20 fev. 2024.

ZHANG, Yufeng; SHI, Bin; MIRON, Richard J. Membranes for guided tissue and bone regeneration. **Annals of Oral & Maxillofacial Surgery**, v. 1, n. 1, p. 10, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Richard-Miron/publication/250310614_Membranes_for_guided_tissue_and_bone_regeneration/links/00b7d51eb3c4955279000000/Membranes-for-guided-tissue-and-bone-regeneration.pdf. DOI: 10.13172/2052-7837-1-1-451. Acesso em: 20 set. 2024.