

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

MATERIAIS DE REGENERAÇÃO ÓSSEA PARA SINUS LIFT

Trabalho submetido por
Maria Inês do Rosário Cabaça
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Novembro de 2023

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

MATERIAIS DE REGENERAÇÃO ÓSSEA PARA SINUS LIFT

Trabalho submetido por
Maria Inês do Rosário Cabaça
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Trabalho orientado por
Professor Doutor António Mano Azul

E coorientado por
Mestre João Gaspar

Novembro de 2023

Dedicatória

A quem me ensinou o significado de amor e dedicação incondicionais, ao meu Avô Jacinto. I miss you everyday

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer ao meu orientador, Professor Doutor António Mano Azul, não só pelo apoio, dedicação e exigência como também, a ajuda e a motivação a superar esta longa e difícil tarefa de elaborar uma tese de mestrado. Queria agradecer, também, ao meu co-orientador Professor João Gaspar pela ajuda imensa e disponibilidade, e também por ser uma das minhas maiores inspirações e referências na área da Medicina Dentária. Aos meus pais, pelo apoio incondicional, sem nunca duvidarem das minhas capacidades, um agradecimento não chega nem nunca vai chegar pelo que fizeram por mim. Por tudo o que me ensinaram, a bondade, a resiliência, a generosidade, que vou levar comigo para toda a minha próxima jornada como profissional de Medicina Dentária. À minha família, avó, avós, manas, primas, tios, o orgulho e apoio que sempre demonstraram deram-me força que não sabia que tinha. À minha alma gémea de quatro patas, Rocky, obrigada por tudo. Ao meu grupo de amigos, por estarem sempre lá, nos bons e nos maus momentos, presencial e virtualmente, sem nunca desistirem de mim mesmo quando eu própria o queria fazer. Aos “OG’s”, Tiago, Joana, Rita, Paiva, desde o 1º ano, desde a 1ª semana. O quão grata estou por terem aparecido na minha vida não é fácil de colocar em palavras. Por tomarem conta de mim melhor do que eu própria, por me acompanharem e apoiarem ao longo de 5 anos, com tantos altos e baixos, um eterno obrigado. À minha parceira de box e melhor amiga, Rita. Nunca me passaria pela cabeça o quão importante irias ser para mim, a peça que faltava em mim e do outro lado da cadeira de dentista, “Box 17, mais que uma box, um casamento”. Às minhas afilhadas, Mariana, Rafa, Catarina, Bruna, Marta, Rita, Bárbara, não existem palavras suficientes para agradecer tudo o que fizeram e continuam a fazer por mim. Viram em mim aquilo que eu mesma nunca tinha visto e deram-me a honra de ser vossa madrinha. O orgulho que tenho por vocês é inexplicável. São as minhas maiores inspirações, as minhas “crias”, reflexos do melhor que tenho em mim. Por último, à minha segunda casa nos últimos 5 anos. À Egas Moniz School of Health & Science, todos os “obrigados” do mundo não são suficientes. A instituição que fez de mim a mulher que sou hoje, que não podia estar mais orgulhosa de tudo aquilo que alcançou e ainda vai alcançar. Aos Professores, Profissionais, Auxiliares, Seguranças que fizeram com que todos os dias me sentisse em casa, mesmo estando a 137 km dela. Aos melhores 5 anos universitários que podia ter tido, um eterno obrigado. E um até já, já que bom filho, a casa retorna.

Resumo

Uma das maiores preocupações no que toca à colocação de implantes na zona posterior do maxilar superior é a presença do seio maxilar. Fisiologicamente, o seio maxilar é continuamente pneumatizado após o nascimento (Lim et al., 2021).

As várias extensões do seio em direção à coroa podem limitar altura óssea para colocar implantes com um comprimento adequado. Dependendo da altura óssea disponível, a extensão da invasão cirúrgica pode ser determinada (Lim et al., 2021). É necessária uma altura óssea mínima vertical de 10 mm para o sucesso previsível da colocação de um implante (Kaufman E., 2003).

A elevação do seio maxilar (*sinus lift*) tem sido, ao longo dos últimos 30 anos, estabelecida como um tratamento standard para a reabilitação de zonas edêntulas no maxilar superior, sem altura suficiente para a colocação de um implante. Embora existam algumas contra-indicações relativas da técnica de *sinus lift*, não existem contra-indicações absolutas até à data. Com preparação, literatura e experiência, a elevação do seio maxilar é um procedimento que beneficia o paciente, com um *outcome* previsível (Stern & Green, 2012).

O biomaterial utilizado na técnica de sinus lift pode ser um fator-chave na determinação da qualidade do osso regenerado e regeneração óssea em geral. Em geral, existem 4 tipos de materiais que podem ser utilizados na técnica de sinus lift: osso autógeno, aloenxertos, xenoenxertos e enxertos aloplásticos. (Velasco-Ortega et al., 2020)

A presente revisão narrativa tem como objetivo comparar os resultados obtidos com os diversos biomateriais, utilizados na regeneração óssea na técnica de sinus lift, já descritos na literatura. Serão abordadas as suas vantagens, desvantagens e complicações. Para tal, foi realizada uma pesquisa bibliográfica através do PubMed, Google Scholar, Medline, Embase, Scielo e Cochrane.

Palavras-Chave: “bone formation”, “biomaterials”, “sinus bone augmentation”, “maxillary sinus”.

Abstract

One of the major concerns regarding implant placement in the posterior region of the upper jaw is the presence of the maxillary sinus. Physiologically, the maxillary sinus continuously pneumatizes after birth (Lim et al., 2021).

The various extensions of the sinus towards the crown can limit the vertical bone height available for placing implants of adequate length. Depending on the available bone height, the extent of the surgical procedure can be determined (Lim et al., 2021). A minimum vertical bone height of 10 mm is required for the predictable success of implant placement (Kaufman E., 2003).

Over the past 30 years, sinus lift procedures have become the standard for treating edentulous areas in the upper jaw lacking sufficient bone height for implant placement. Although there are some relative contraindications related to the sinus lift technique, there are no absolute contraindications to date. With adequate preparation, literature review, and experience, sinus lift procedures benefit the patient, resulting in predictable outcomes (Stern & Green, 2012).

The choice of biomaterial in sinus lift procedures can be a key factor in determining the quality of regenerated bone and overall bone regeneration. Generally, there are four types of materials that can be used in sinus lift procedures: autogenous bone, allografts, xenografts, and alloplastic grafts (Velasco-Ortega et al., 2020).

This narrative review aims to compare the results obtained with various biomaterials used in bone regeneration within the context of sinus lift procedures, as described in the existing literature. The review will discuss their advantages, disadvantages, and complications. To achieve this, a comprehensive literature search was conducted through databases such as PubMed, Google Scholar, Medline, Embase, Scielo, and Cochrane.

Keywords: "bone formation," "biomaterials," "sinus bone augmentation," "maxillary sinus."

Índice

Resumo	1
Abstract	3
Índice.....	5
Índice de Figuras	7
Lista de abreviaturas.....	9
I. Introdução	11
II. Desenvolvimento	15
1. Anatomia e fisiologia óssea do seio maxilar	15
2. Perda Dentária e Reabsorção Óssea	20
3. Reabilitação Oral com Implantes e conceito de Osteointegração	23
4. Técnicas para Elevação do Pavimento do Seio Maxilar.....	25
4.1 Técnica de Janela Lateral	27
4.2 Técnica monofásica de elevação crestal com osteótomos.....	32
4.3 Técnica de Osseodensificação	33
5. Materiais de Regeneração Óssea para Sinus Lift	36
5.1 Autoenxertos ou Enxertos Autógenos/Autólogos.....	39
5.1.1 Utilização de Plasma Autólogo.....	43
5.2 Aloenxertos ou Enxertos Alógenos	45
5.3 Xenoenxertos ou Enxerto Heterógeno.....	47
5.4 Materiais Aloplásticos	50
5.4.1 Cerâmicas de Fosfato Tricálcico.....	51
5.4.2 Materiais Bifásicos	53
5.4.3 Fosfosilicato de Cálcio	54
5.4.4 Polímeros	55
III. Conclusões	57
IV. Bibliografia.....	59

Índice de Figuras

Figura 1 - Corte sagital do seio maxilar (adaptado a partir de Netter, 2004).	16
Figura 2 – Membrana de Schneider e vascularização da mesma (fotografias cedidas por Prof. Dr. António Mano Azul)	16
Figura 3 – Representação esquemática das seis classes de Cawood & Howell (adaptado de Câmara, M.A., 2010)	22
Figura 4 – Classificação do Maxilar anterior e posterior de Cawood & Howell (adaptado de Cawood & Howell, 1991).....	23
Figura 5 – Elevação do Seio Maxilar por meio da Técnica de Janela Lateral (fotografias cedidas por Prof. Dr. António Mano Azul).....	29
Figura 6 – Elevação do Seio Maxilar por meio da Técnica de Janela Lateral com aplicação de material de enxerto ósseo (fotografias cedidas por Prof. Dr. António Mano Azul).....	29
Figura 7 – Representação esquemática da Técnica de Janela Lateral com utilização de enxerto (adaptado de Hawthorne., 2009).....	30
Figura 8 – Técnica monofásica com abordagem lateral e colocação imediata de implante, com enxerto (fotografias cedidas por Prof. Dr. António Mano Azul)	30
Figura 9 – Kit de instrumentos para elevação do seio maxilar com 2 descoladores da membrana com angulações distintas (fotografia cedida por Prof. Dr. António Mano Azul)	31
Figura 10 – Representação esquemática de elevação do seio maxilar por meio da técnica de janela lateral, sem aplicação de enxerto ósseo (adaptado de Johansson, L. 2012)...	32
Figura 11 – Representação esquemática da técnica de Osteótomos (adaptado a partir de https://dentalartistry.co.nz/dental-implants/sinus-lifts)	33
Figura 12 – Osteótomos e Martelo Cirúrgico (fotografia cedida por Prof. Dr. António Mano Azul).....	33
Figura 13 – Brocas <i>Densah Bur</i> utilizadas na técnica de Osseodensificação (fotografias cedidas por Dr. João Gaspar).....	35
Figura 14 – Preparação do leito implantar utilizando a técnica de Osseodensificação (fotografias cedidas por Dr. João Gaspar)	35
Figura 15 – Representação esquemática de propriedades que os enxertos ósseos devem possuir (adaptado de Bernardi et al., 2020).....	37

Figura 16 – Representação esquemática dos possíveis locais de colheita de osso autógeno (adaptado de Bernardi et al., 2020).....	39
Figura 17 – Colheita de Osso Autógeno (fotografias cedidas por Prof. Dr. António Mano Azul).	43
Figura 18 – Representação esquemática da preparação clínica, diferentes tipos ou classes e a demonstração prática de várias preparações de fibrina rica em plaquetas (PRF) e fibrina rica em plaquetas e leucócitos (L-PRF) (adaptado de Damsaz et al.,2020)	44
Figura 19 – Exemplo de duas formas de Xenoenxertos comercializadas, em seringa e em bloco, da marca Ti-oss® (fotografia cedida por Prof. Dr. António Mano Azul)	50
Figura 20 – Exemplo de duas formas de Xenoenxertos comercializadas, em grânulos e em bloco, da marca Straumann® (fotografia cedida por Prof. Dr. António Mano Azul).....	50
Figura 21 – Exemplo de uma forma de beta fosfato tricálcico (β -TCP) comercializada, em formato de cone (fotografia cedida por Prof. Dr. António Mano Azul)	53
Figura 22 – Membrana de colagénio reabsorvível da marca GEISTLICH BIO-GIDE® (fotografia cedida por Prof. Dr. António Mano Azul)	56

Lista de abreviaturas

Elevação do Pavimento do Seio Maxilar – EPSM

Encefalopatia Espongiforme Bovina – BSE

Enxerto Ósseo Desmineralizado Liofilizado – DFDBA

Fator de Crescimento Derivado de Plaquetas – PDGF

Fator de Crescimento Transformador β – TGF- β

Fibrina Rica em Plaquetas – PRF

Fosfato Tricálcico – TCP

Fosfosilicato de Cálcio – CPS

Hidroxiapatite – HA

Osso Bovino Anorgânico – OBA

Osso Equino Anorgânico – OEA

Plasma Rico em Fatores de Crescimento – PRGF

Plasma Rico em Plaquetas – PRP

Proteínas Morfológicas Ósseas – BMP

Tomografia Computarizada – TC

I. Introdução

Os implantes dentários são necessários para realizar a substituição de uma ou várias peças dentárias em falta e proporcionar uma reabilitação funcional e estética, permitindo o suporte de uma peça protética substituta através de suporte ósseo direto (Cicciù & Tallarico, 2021).

A tecnologia dos implantes dentários tem vindo a melhorar ao longo dos anos, proporcionando aos pacientes níveis inigualáveis de eficácia, conveniência e comodidade. Estas são algumas das principais razões pelas quais tantos Médicos Dentistas recomendam implantes dentários como o seu método predileto para a substituição de dentes ausentes (Elias, 2011).

Os implantes dentários dependem da manutenção de ligação estrutural e funcional direta entre o osso vivo e a superfície do implante. Este fenómeno é designado por osteointegração e foi descrito pela primeira vez por Brånemark (Brånemark, 1977). Osteointegração foi uma das maiores descobertas científicas a nível de medicina dentária nos últimos 50 anos (Esposito et al., 2014).

A colocação de implantes dentários na maxila posterior atrofica representa um desafio. O volume ósseo disponível para a colocação de implantes nesta área anatómica pode ser limitado pela presença do seio maxilar em conjunto com a perda de altura óssea alveolar (Esposito et al., 2014).

As limitações para a colocação de implantes na maxila posterior estão relacionadas não só com a altura e largura óssea residual, mas também com a qualidade do osso maxilar. A reduzida quantidade e qualidade óssea na maxila posterior são normalmente culpadas pela estabilidade primária diminuta do implante e aumento das taxas de insucesso (Al-Dajani, 2014). Existem vários fatores que aumentam a perda de osso residual no maxilar posterior após exodontia. Após a extração de um dente, a redução inicial de largura é devida à reabsorção da tábua óssea. À medida que a área edêntula continua a atrofiar, há uma perda progressiva de altura e densidade óssea e um aumento da pneumatização antral (Raja, 2009). A perda óssea nesta região pode ainda ter como causas trauma, anomalias genéticas, remoção de tumores e enucleação de quistos, processos anatómicos, tal como

a pneumatização referida anteriormente, e infecções (Farré-Guasch et al., 2013). Por este mesmo facto, é comum encontrarmos o pavimento do seio maxilar próximo da crista óssea alveolar.

Posto isto, existe uma grande necessidade de avaliar a qualidade óssea assim como a sua quantidade, antes da colocação de implantes na área do maxilar posterior. Recentemente, a utilização de tomografia computadorizada (TC) no diagnóstico e plano de tratamento para a colocação de implantes tem aumentado, sobretudo porque a TC consegue determinar a anatomia e densidade óssea de forma mais precisa (Sogo et al., 2011).

Quando o diagnóstico revela altura óssea residual insuficiente no maxilar posterior, a elevação do seio maxilar ou “*sinus lift*” é um procedimento eficaz e previsível para aumentar o suporte ósseo e deste modo permitir a colocação de implantes. (Beck et al., 2020).

A elevação do seio maxilar ou “Sinus lift” é um procedimento utilizado para aumentar um seio maxilar pneumatizado com o objetivo de colocação simultânea ou tardia de implantes endósseos no maxilar posterior quando existe insuficiência óssea (Floodeen, 2021).

Atualmente, existem duas principais abordagens à elevação do seio maxilar encontradas na literatura. A primeira abordagem, antróstomia lateral, é a técnica clássica e mais frequentemente utilizada, originalmente descrita por Tatum. Mais tarde, Summers propôs uma segunda abordagem: a abordagem crestal, utilizando osteótomos (Helmy, 2017).

Inúmeros biomateriais e substitutos ósseos têm sido propostos para utilização na reconstrução e restauração do volume ósseo maxilar posterior e nos procedimentos de aumento do seio maxilar, principalmente para sustentar o espaço elevado. Estes incluem (e não estão ainda limitados) autoenxertos/osso autógeno, aloenxertos, xenoenxertos e materiais aloplásticos, e, recentemente, um aumento notório da utilização clínica de amostras de sangue autólogo, como por exemplo, concentrados de plasma (Damsaz et al., 2020).

Esta monografia tem como principal objetivo realizar uma revisão narrativa abrangendo os vários biomateriais já descritos na literatura que são utilizados na regeneração óssea em procedimentos de *sinus lift*. Pretende-se abordar as vantagens, desvantagens e possíveis complicações associadas a esses biomateriais, bem como as abordagens para lidar com essas complicações.

Para concretizar esta monografia, procedeu-se a uma pesquisa bibliográfica abrangente. Foram consultadas diversas fontes, incluindo motores de busca como o PubMed, Google Scholar, Medline, Embase, Scielo e Cochrane. A prioridade foi dada aos artigos publicados na última década, tanto em inglês como em português. No entanto, também se incluíram artigos mais antigos, desde que fossem relevantes para a pesquisa e o estudo em questão.

II. Desenvolvimento

1. Anatomia e fisiologia óssea do seio maxilar

O seio maxilar é uma cavidade em forma de pirâmide com a sua base adjacente à parede nasal e o ápex apontado para o osso zigomático. O tamanho do seio é insignificante até à erupção da dentição permanente. As dimensões médias do seio maxilar adulto são entre 2.5 e 3.5 cm de largura, 3.6 a 4.5 cm de altura e 3.8 a 4.5 cm de profundidade. Tem um volume estimado de aproximadamente 12 a 15 cm³ (Helmy, 2017).

A presença de septos intrasinais, conhecidos como Septos de Underwood, pode complicar os procedimentos de *sinus lift*, sobretudo se não diagnosticados antes dos mesmos. Numa meta-análise de Pommer et al. (2012), a qual avaliou artigos publicados desde 1995 até 2011, os autores encontraram uma prevalência de 28% de septos intrasinais (Alhumaidan et al., 2021).

Os septos de Underwood separam o seio maxilar em dois ou mais compartimentos e podem estar presentes em qualquer região do seio. Têm como papel principal o reforço da estrutura óssea do seio e são uma estrutura a ter em atenção para uma elevação do seio maxilar bem-sucedida tendo em conta que, ocasionalmente, podem ser a causa pela qual ocorre perfuração da membrana sinusal durante a cirurgia de elevação do pavimento do seio (Park et al., 2011).

A cavidade óssea do seio maxilar é revestida pela membrana sinusal, conhecida também como membrana de Schneider. Esta membrana é constituída por epitélio pseudo-estratificado colunar (Andreucci et al., 2023). É contínua com, e liga-se ao epitélio nasal através do ostium no meato médio. A membrana possui uma espessura aproximada de 0.8 mm (Helmy, 2017).

O suprimento sanguíneo do seio maxilar deriva principalmente da artéria alveolar superior posterior e da artéria infraorbitária, sendo ambas ramificações da artéria maxilar. Há ainda anastomoses significativas entre estas duas artérias na parede lateral antral. A artéria palatina também irriga a porção inferior do seio (Solar et al., 1999).

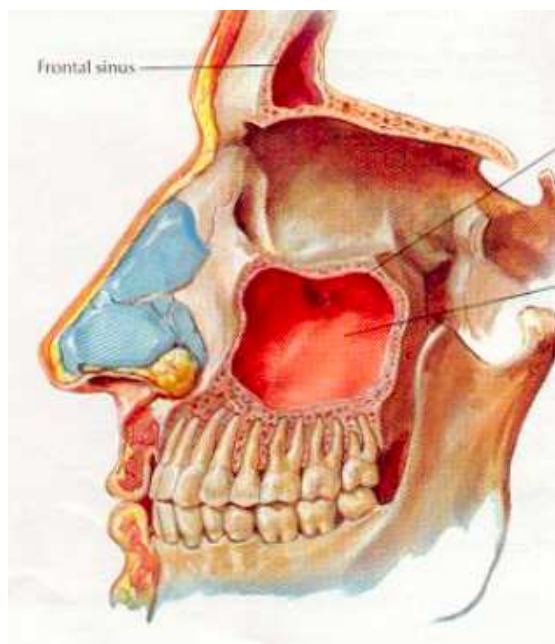


Figura 1 - Corte sagital do seio maxilar (adaptado a partir de Netter, 2004).

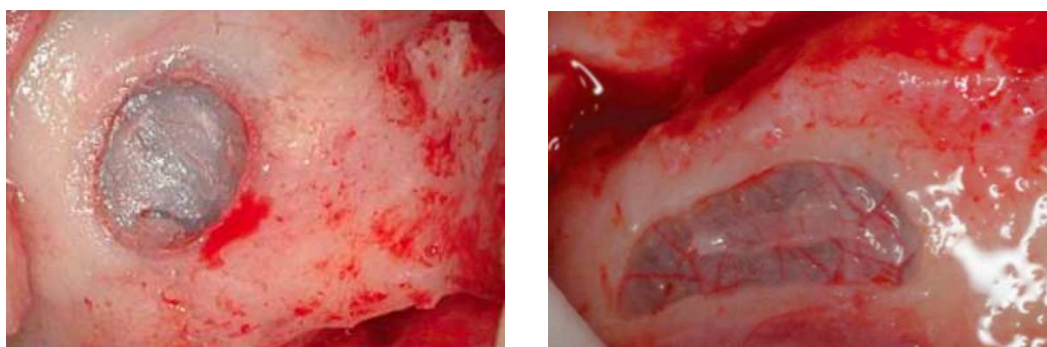


Figura 2 – Membrana de Schneider e vascularização da mesma (fotografias cedidas por Prof. Dr. António Mano Azul)

A fisiologia óssea engloba processos complexos de desenvolvimento, remodelação e manutenção do tecido ósseo ao longo da vida. Osteoclastos, osteoblastos e osteócitos são as células primárias envolvidas na formação de osso e remodelação, trabalhando em

conjunto para criar os componentes orgânicos e inorgânicos do osso (Guan, 2019; Wolde-Semait & Komlos, 2020)

O tecido ósseo é ainda composto por uma estrutura complexa, incluindo células, fibras de colagénio e uma matriz extracelular calcificada. A matriz de fibras de colagénio constitui cerca de 25-30% da massa do tecido ósseo e desempenha um importante papel na prevenção da fratura óssea. A componente mineralizada, maioritariamente constituída por fosfato de cálcio e hidroxiapatite, representa cerca de 65% da massa óssea e confere ao osso propriedades como rigidez e resistência (Guan, 2019).

O osso tem dois componentes – osso cortical, que é denso, sólido e envolve o espaço da medula, e o osso trabecular, constituído por uma rede de forma semelhante à de uma colmeia composta por placas e hastes trabeculares intercaladas no compartimento da medula óssea. O osso cortical possui uma superfície externa periostal e uma superfície interna endostal. O perióstio é uma bainha de tecido conjuntivo fibroso que envolve a superfície cortical externa do osso, exceto nas articulações onde o osso é revestido por cartilagem articular. Contém vasos sanguíneos, fibras nervosas, osteoblastos e osteoclastos; protege, nutre e auxilia na formação óssea e desempenha ainda um papel importante no crescimento de aposição e na reparação de fraturas. O endóstio é uma estrutura membranosa que reveste a superfície interna do osso cortical e esponjoso, bem como os canais dos vasos sanguíneos (canais de Volkmann) presentes no osso (Kini & Nandeesh, 2012).

Ao longo da vida, os ossos sofrem processos de crescimento longitudinal e radial, modulação e remodelação (Clarke, 2008). O crescimento longitudinal ocorre nas placas de crescimento, onde a cartilagem prolifera nas áreas epifisárias e metafisárias dos ossos longos, antes de passar pela mineralização subsequente para formar osso novo primário (Kini & Nandeesh, 2012).

Osteogénese é o processo através do qual é formado osso novo pelas células denominadas osteoblastos. Estas células e a matriz óssea são dois dos elementos mais cruciais envolvidos na formação óssea. Este processo de formação de osso normal e saudável é realizado por dois processos importantes, nomeadamente:

1. Ossificação intramembranosa, caracterizada pelo depósito de osso no tecido conjuntivo primário (mesênquima), resultando na formação de ossos (crânio,

clavícula, mandíbula). Também é observada no processo de cicatrização de fraturas (fraturas expostas) tratadas por redução aberta e estabilização com placa metálica e parafusos.

2. Ossificação endocondral, onde um modelo de cartilagem serve como base (por exemplo, fêmur, tíbia, úmero, rádio). Este é o processo fundamental na cicatrização de fraturas quando tratadas com gesso para imobilização. Se a formação de tecido ósseo ocorre em locais fora do esqueleto, chama-se ossificação heterotópica. A osteogênese envolve essencialmente três etapas fundamentais:
 - (a) Produção da matriz orgânica extracelular (osteóide)
 - (b) Mineralização da matriz, levando à formação do osso
 - (c) Remodelação óssea através dos processos de reabsorção e reconstituição(Kini & Nandeesh, 2012)

A modelação óssea e a remodelação óssea são dois processos distintos no tecido ósseo. A modelação óssea refere-se à formação de osso novo durante o crescimento e desenvolvimento, assim como às alterações no formato do osso em resposta a exigências mecânicas. Envolve o depósito de osso novo pelos osteoblastos sem reabsorção prévia pelos osteoclastos. A modelação óssea ocorre principalmente durante a infância e adolescência e é responsável pelo aumento do tamanho e resistência óssea. Em contraste, remodelação óssea é um processo contínuo que ocorre ao longo da vida e envolve a remoção de osso antigo ou danificado pelos osteoclastos, seguida pela formação de osso novo pelos osteoblastos. Estes processos auxiliam a manutenção da integridade óssea, reparação de microdanos e regulação da homeostase. A remodelação óssea é influenciada por vários fatores, incluindo regulação hormonal, carga mecânica e doenças sistêmicas (Ramchand & Seeman, 2020; Segó et al., 2020)

A remodelação óssea ocorre através de uma série de fases: fase de repouso, fase de ativação, fase de reabsorção, inversão da fase, fase de formação e fase terminal (ou fase de mineralização) (Povoroznyuk et al., 2021).

Durante a fase de repouso, o osso está no estado inativo, adormecido. A fase de ativação é o processo que inicia a remodelação óssea, levando ao recrutamento de osteoclastos e osteoblastos. De seguida, na fase de reabsorção óssea, ocorre a desintegração de osso antigo ou danificado, pela ação dos osteoclastos. A inversão da fase marca a transição entre reabsorção e formação de osso, com o recrutamento de osteoblastos. A fase de

formação é a responsável pelo depósito de novo osso pelos osteoblastos. E, finalmente, a fase de mineralização, ocorre quando a remodelação óssea está completa e o osso regressa a um estado de repouso (Kenkre & Bassett, 2018).

Fase de ativação: as células precursoras dos osteoblastos recrutadas da circulação expõem as superfícies ósseas. Os osteoclastos (células precursoras) selam os locais de reabsorção, e inicia-se a remodelação conforme a sua necessidade. A remodelação específica, regulada pelos osteócitos, repara danos específicos, enquanto a remodelação não-específica responde a alterações sistêmicas hormonais, tendo acesso aos depósitos de cálcio ósseos.

Fase de reabsorção: os osteócitos são também responsáveis pela diferenciação e ativação dos osteoclastos, promovendo a reabsorção óssea. Os osteoclastos criam uma zona de selagem e borda enrugada para uma secreção otimizada, dissolvem osso mineral com bombas de prótons, e degradam a matriz rica em colagénio através de proteases. Os osteoclastos são depois sujeitos a morte celular programada, prevenindo a reabsorção excessiva.

Inversão da fase: esta fase tem como objetivo preparar a superfície óssea reabsorvida para a deposição de uma nova matriz, assegurando um equilíbrio entre a reabsorção e formação. Os osteoblastos removem matriz de colagénio não-mineralizada e depositam uma “linha de cimento” mineralizada. Os fatores de sinalização envolvidos, que potencialmente envolvem osteoclastos ainda não são completamente compreendidos, no entanto podem incluir citocinas e fatores derivados da matriz como BMP-2 e fatores de crescimento.

Fase de formação: envolve duas etapas: os osteoblastos produzem uma matriz óssea rica em colagénio e regulam a mineralização. A mineralização é controlada pelos níveis sistêmicos de cálcio/fosfato, concentrações locais de vesículas da matriz extracelular e inibidores locais, como o pirofosfato e osteopontina.

Mineralização: nesta fase ocorre o processo de mineralização e, uma vez completo, os osteoblastos sofrem apoptose, transformando-se em células de revestimento ósseo ou diferenciando-se em osteócitos, os quais sinalizam o final da secreção.

(Kenkre & Bassett, 2018)

2. Perda Dentária e Reabsorção Óssea

A reabsorção óssea é um processo através do qual o tecido ósseo é degradado e absorvido por células especializadas, osteoclastos. Este processo ocorre em duas fases: primeiro, os osteoclastos diminuem o pH numa área específica e dissolvem o tecido mineralizado e de seguida ocorre a degradação da matriz óssea (Everts et al., 2022).

As células ligam-se à superfície do osso e formam uma zona de vedação, que auxilia na migração e reabsorção simultâneas. A borda enrugada, gerada pela fusão de vacúolos lisossomais, desempenha um papel fundamental na acidificação. São libertados prótons nessa área, dissolvendo o tecido mineralizado, diminuindo o pH para cerca de 5 (Everts et al., 2022).

Após a desmineralização do osso, a próxima etapa na reabsorção óssea é a rápida degradação da matriz, composta principalmente por colagénio tipo I densamente compactado e proteínas não colagénias. Esta degradação envolve a libertação de enzimas proteolíticas e não proteolíticas na área adjacente à borda enrugada, e há sincronização entre a desmineralização e a degradação da matriz. A acumulação de colagénio desmineralizado pode inibir a atividade osteoclástica (Everts et al., 2022).

Tendo em conta que as peças dentárias estão inseridas em suporte ósseo, pode-se correlacionar a importância da reabsorção óssea no que toca à prática da Medicina Dentária.

Após a extração dentária, a reabsorção óssea é uma consequência inevitável, resultando frequentemente em deformidades observáveis e redução da crista alveolar, tanto vertical como horizontal. A severidade da perda óssea afeta diretamente a taxa de sucesso de procedimentos de implantes dentários subsequentes e os resultados estéticos pós-tratamento. Estudos indicam que, após a extração dentária, aproximadamente 30% da crista alveolar é perdida devido à reabsorção, com a maioria ocorrendo nos primeiros seis meses, seguidos de uma taxa anual de reabsorção de 0,5–1%. Além disso, cerca de 50% da largura do osso alveolar é perdida dentro de 12 meses após a extração (Lin et al., 2019).

É comum encontrar o pavimento do seio maxilar próximo à crista alveolar. Essa descoberta está relacionada com dois fenômenos: 1) o alargamento do seio à custa do alvéolo após a extração dentária devido ao aumento da atividade osteoclástica do periosteio da membrana de Schneider e 2) o aumento da pneumatização do seio simplesmente devido ao aumento da pressão intra-antral positiva (Rajá, 2009).

Várias condições, incluindo infecção periapical, tratamento endodôntico e a proximidade dos dentes maxilares com o seio, podem ter um efeito precursor na ocorrência de espessamento da mucosa no seio maxilar. O estado periodontal e o seu papel como fator de risco no desencadeamento de infecções no seio maxilar também devem ser considerados não apenas por profissionais de Medicina Dentária, mas também por profissionais médicos, com o intuito de realizar um plano de tratamento correto no que diz respeito a lesões no seio maxilar. Os seios maxilares são significativamente influenciados por várias condições odontogênicas, incluindo perda óssea periodontal, lesões periapicais e ausência de dentes (Aksoy & Orhan, 2018).

À medida que a maxila perde a sua função de suporte dentário, a crista alveolar edêntula sofre uma perda óssea crônica e constante devido à reduzida estimulação mecânica e à falta de tensão fisiológica. A atrofia por desuso é um processo contínuo de osteólise e remodelação óssea, descrito como progressivo e irreversível. A taxa média de reabsorção vertical da maxila anterior encontrada foi cerca de 0,1 mm (0-0,7 mm) por ano, variando entre indivíduos e em diferentes momentos, influenciada por fatores anatômicos, biológicos, psicossociais, metabólicos, funcionais e protéticos (Gerken et al., 2020).

Cawood & Howell (1988) afirmam que a reabsorção da crista alveolar segue um padrão previsível com perda óssea horizontal inicial e subsequente reabsorção vertical, ocorrendo principalmente na área alveolar. Para além disso, destacam que a perda óssea horizontal na maxila atrofiada leva a uma mudança centrípeta na forma do processo alveolar, contrariamente às mudanças centrífugas primárias na mandíbula, devido a padrões específicos de reabsorção e remodelação óssea. Com base nestas descobertas, subdividiram as alterações na forma dos processos alveolares em seis classes agora bem estabelecidas (Gerken et al., 2020).

As seis classes de Cawood & Howell (1988) são, então, as seguintes:

- Classe I: rebordo alveolar com dente, ou seja, sem qualquer grau de reabsorção.
- Classe II: rebordo alveolar, imediatamente, após a extração do dente.
- Classe III: rebordo alveolar amplo, adequado em largura e altura.
- Classe IV: rebordo alveolar com forma de gume de faca, com alguma altura e largura insuficiente.
- Classe V: rebordo alveolar plano, com altura e largura insuficientes.
- Classe VI: Ausência de rebordo alveolar e alguma perda de osso basal.

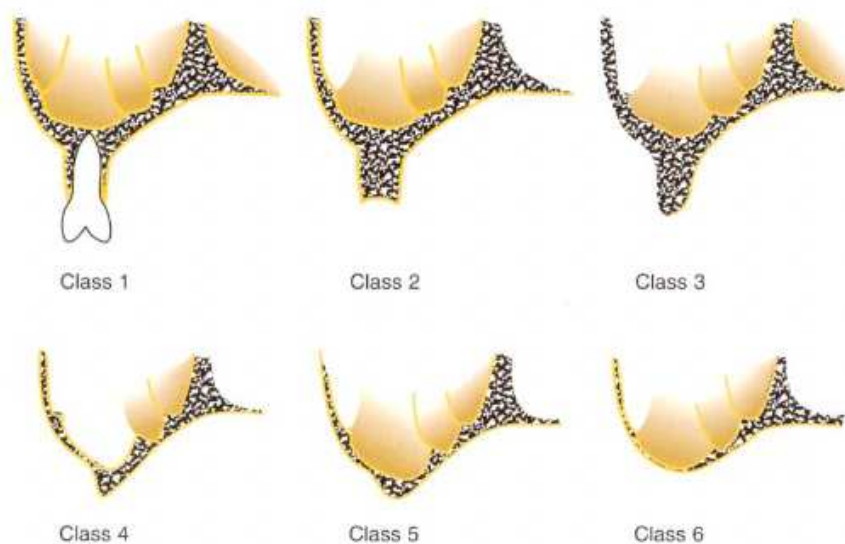


Figura 3 – Representação esquemática das seis classes de Cawood & Howell (adaptado de Câmara, M.A., 2010)

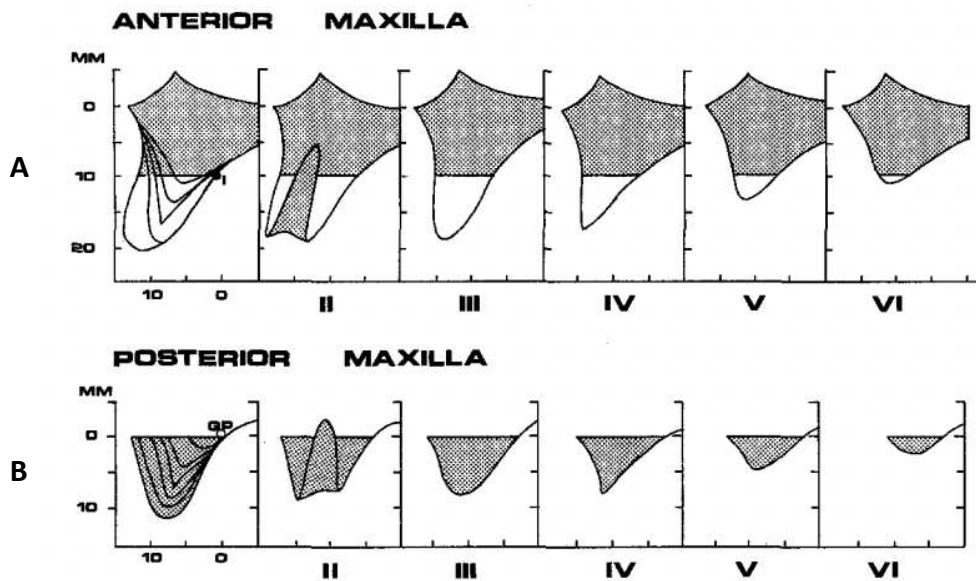


Figura 4 – Classificação do Maxilar anterior e posterior de Cawood & Howell (adaptado de Cawood & Howell, 1991)

Com os estudos de Cawood & Howell (1988), concluiu-se que o padrão de reabsorção óssea difere com os locais, isto é, na região anterior (Figura 4 – A) e posterior (Figura 4 – B) do maxilar, a reabsorção óssea é tanto vertical como horizontal.

3. Reabilitação Oral com Implantes e conceito de Osteointegração

Nos dias que correm, embora a incidência e a prevalência da perda de dentes tenham diminuído, a ausência de peças dentárias é ainda um fator que prejudica a qualidade de vida. Como opção para substituir dentes ausentes, existem os implantes dentários, que têm algumas vantagens sobre as opções de tratamento convencionais. Os implantes substituem a raiz de um ou vários dentes ausentes para fornecer ancoragem para reabilitações fixas ou removíveis. As indicações para implantes incluem edentulismo parcial, próteses tradicionais não retentivas e a preservação das próteses parciais existentes (Mauer et al., 2021).

Uma vez que o uso de implantes dentários possui uma longa trajetória, muitos fatores foram identificados como essenciais para o sucesso no desempenho dos implantes. Um dos fatores mais cruciais é a biocompatibilidade, que não se limita à adequação do material ao tecido, mas também à sua capacidade de cumprir uma função específica. Conseqüentemente, essa característica não depende apenas das propriedades físicas, químicas e mecânicas do material, mas também da aplicação em que o material é empregue (Jain et al., 2022).

Os implantes dentários têm sofrido um avanço notável no seu *design*. Recentemente, foram feitos desenvolvimentos importantes na morfologia, estrutura e *design* de implantes dentários para melhorar as suas propriedades biomecânicas, estabilidade e sucesso a longo prazo. O corpo é o principal componente de qualquer implante dentário e é fabricado em várias formas. O corpo é a parte do implante que é inserida dentro do osso. O design do implante dentário é um dos principais fatores responsáveis pela estabilidade inicial da prótese dentária e é também fundamental para que o implante dentário consiga suportar a carga durante o processo de osteointegração (Almalki et al., 2018).

A osteointegração, definida por Brånemark em 1985, é a ligação direta, estrutural e funcional entre o osso vivo e a superfície do implante, sem a intervenção dos tecidos moles, tem sido um conceito fundamental. Com o surgimento de novos materiais para a fabricação de implantes, o conceito de osteointegração foi redefinido por Zarb em 1991. Esta redefinição descreve a osteointegração como um processo que resulta na fixação rígida e assintomática de materiais aloplásticos no osso, mantendo essa estabilidade durante a carga funcional. (Silva-Miranda et al., 2017).

Apesar da significativa evolução dos protocolos cirúrgicos, a obtenção de osteointegração rápida e duradoura continua a ser o objetivo central. O sucesso da osteointegração baseia-se em seis fatores essenciais amplamente reconhecidos: o material do implante, o tratamento da superfície do implante, o design macroscópico e dimensões do implante, o estado do osso recetor, a técnica cirúrgica e as condições de carga do implante. Os últimos três fatores (estado do osso recetor, técnica cirúrgica e condições de carga do implante) são controlados clinicamente. Por outro lado, o *design*, material e qualidade, da superfície

do implante dentário são influenciados de forma significativa pela engenharia. No entanto, na investigação e desenvolvimento de implantes dentários, é fundamental o conhecimento multidisciplinar de todos os profissionais envolvidos (Silva-Miranda et al., 2017; Alifarag et al., 2018).

Outro dos fatores de extrema importância na obtenção de uma osteointegração bem-sucedida é a estabilidade primária durante a colocação do implante, que se refere ao contacto adequado entre o osso e o implante na interface após a instrumentação. Este aspeto é considerado um dos fatores mais críticos nos implantes, sendo também um indicador da previsibilidade da saúde que o implante vai manter no momento presente, constituindo, assim, um indicador do sucesso do tratamento. Os principais fatores para a melhoria da estabilidade primária do implante incluem a densidade óssea, o protocolo cirúrgico e o tipo de espiras e geometria do implante (Pai et al., 2018; Torroni et al., 2020).

Em 1986, Albrektsson e colaboradores definiram cinco critérios para determinar o sucesso de implantes dentários: (1) um implante individual que permanece estável quando testado clinicamente; (2) radiografias que não mostram sinais de radiotransparência peri-implantar; (3) perda óssea inferior a 0,2 mm por ano após o primeiro ano da colocação dos implantes; (4) ausência de dor persistente, desconforto ou infeção; (5) com base nestes critérios, uma taxa de sucesso de pelo menos 85% ao final de um período de observação de 5 anos e 80% ao final de um período de 10 anos são considerados os níveis mínimos de sucesso (Smith & Zarb, 1989).

Atualmente, devido à evolução das superfícies, implantes com cerca de 8 mm de comprimento podem ser considerados como *standard*, pelo que técnicas de elevação do pavimento do seio maxilar só se justificam em alturas inferiores (Lundgren et al., 2016).

4. Técnicas para Elevação do Pavimento do Seio Maxilar

Atualmente existem inúmeras técnicas para a realização da elevação do pavimento do seio maxilar. São utilizadas técnicas mais tradicionais, técnicas recentes e modificações de ambas.

Os procedimentos de elevação do pavimento do seio maxilar são abordagens, por norma, bem-sucedidas e previsíveis com o intuito de aumentar maxilares posteriores que possuam quantidades deficientes de osso na crista. A abordagem cirúrgica desta condição foi descrita pela primeira vez por Tatum (1976) e, posteriormente, por Boyne e James em 1980. Existem duas técnicas principais: a abordagem de janela lateral e a abordagem transalveolar (crestal). No entanto, como foi referido anteriormente, vários autores têm publicado modificações destas duas técnicas (Danesh-Sani et al., 2016).

Summers descreveu uma técnica menos invasiva de elevação do seio maxilar numa única fase com colocação simultânea de implantes, também conhecida como técnica de osteótomos. O autor considerou necessário ter pelo menos 6 mm de osso residual para garantir a estabilidade primária do implante. Osteótomos com ponta côncava de diâmetro crescente, aplicados através de uma abordagem crestal, avançavam uma massa óssea além do nível do assoalho sinusal original, elevando o epitélio do seio. Por fim, combinou este procedimento com a adição de um material de enxerto ósseo (Summers 1994).

No que toca à decisão entre qual das técnicas utilizar, é amplamente baseada na quantidade de osso alveolar maxilar residual que ainda permanece. Rosen et al. (1999) observaram que a sobrevivência do implante diminui com a técnica transalveolar quanto existem 4 mm ou menos de altura óssea residual: “Quando a altura óssea pré-cirúrgica abaixo do seio é comparada com a sobrevivência do implante, os dados demonstram que em locais com 4 mm ou menos, existiu uma taxa de sobrevivência de 85,7%, que melhorou para 96% em locais com mais de 4 mm de altura óssea inicial.” Outro estudo chegou à conclusão de que a abordagem transalveolar é indicada quando há mais de 6 mm de osso residual presente e está planeado um ganho de altura óssea de 3 a 4 mm (Mohan et al., 2015).

Se a abordagem de Janela Lateral for a eleita, o profissional pode optar por colocar implantes imediatamente ou adiar a colocação para após a maturação do enxerto. Esta decisão baseia-se em vários fatores. A qualidade do osso (por exemplo, a sua densidade) deve ser avaliada. A quantidade de osso alveolar residual também deve ser avaliada. A colocação imediata pode ser considerada se o clínico conseguir obter estabilidade primária do implante. Relatos demonstram sucesso de implantes com apenas 3 mm de altura óssea vertical antes da elevação do seio. No entanto, pode ser difícil estabilizar o

implante com menos de 3 mm de altura óssea residual. Recomenda-se que haja no mínimo 4 a 5 mm de altura óssea residual presente para a colocação simultânea de implantes ao usar a técnica da Janela Lateral (Mohan et al., 2015).

Mais recentemente, a técnica de osseodensificação ou densificação óssea tem sido utilizada na elevação do seio maxilar na prática clínica. Devido às limitações nos métodos anteriores de aumentar a estabilidade primária do implante, uma nova técnica denominada osseodensificação foi desenvolvida por Huwais em 2015. Ela é realizada usando brocas especialmente desenhadas (brocas Densah) que combinam as vantagens dos osteótomos com o fornecimento de controlo tátil durante a expansão (Padhye et al., 2020).

A decisão relativamente ao que usar na maxila posterior (implantes curtos, abordagem lateral ou transcresal) depende da altura do osso residual e da preferência do cirurgião.

Recomenda-se:

1. Altura de ≥ 8 mm e pavimento plano: implante standard
2. Altura de ≥ 8 mm e pavimento oblíquo ou 5-7 mm e pavimento plano: implante standard ou EPSM com osteótomos ou com implantes de ponta romba. Os implantes devem ser colocados bicorticais 1 a 2 mm “dentro” do seio maxilar
3. Altura de 5-7 mm e pavimento oblíquo: Implante super-curto 4.5 mm ou EPSM com osteótomos ou com implantes de ponta romba
4. Altura 3-4 mm com pavimento plano ou oblíquo: EPSM com janela lateral, material de enxerto, colocação de implante (uma fase)
5. Altura 1-2 mm e pavimento plano ou oblíquo: EPSM com janela lateral, com material de enxerto e membrana. Aguardar 6 a 9 meses para colocar implante (2 fases)

4.1 Técnica de Janela Lateral

Boyne & James (1980) foram os primeiros a publicar um estudo sobre esta técnica em doentes com seios maxilares grandes e pneumatizados.

Wallace e Froum publicaram em 2003 uma revisão sistemática sobre sinus lift e sobrevivência de implantes cujos principais resultados foram:

1. A taxa de sobrevivência de implantes em *sinus lift* com a técnica de janela lateral varia entre 61.7% e 100% com uma média de 91.8%. Esta taxa é comparável à de implantes colocados na maxila posterior sem *sinus lift*.
2. Os implantes de superfície rugosa têm uma melhor taxa de sobrevivência nos sinus lift.
3. Os implantes colocados em seios aumentados com autoenxertos particulados têm maior sucesso do que com enxertos em bloco.
4. A sobrevivência é também maior quando se usam membranas na janela lateral.
5. O uso exclusivo de enxertos autógenos ou a sua combinação com outro enxerto (xeno ou alo) não afeta a sobrevivência dos implantes.

A técnica da janela lateral foi desenvolvida por Cadwell-Luc e posteriormente modificada por Tatum, em 1975.

Esta técnica envolve a criação de uma janela óssea na parede lateral do seio maxilar, utilizando instrumentos rotatórios ou piezoelétricos. Posteriormente, a membrana de Schneider é reposicionada numa posição mais elevada, e a nova área criada é preenchida com um material de enxerto. Atualmente, é uma técnica amplamente usada, considerada fiável, nomeadamente com o uso de osso autólogo (Correia et al., 2012).

Esta técnica cirúrgica é recomendada quando a altura óssea residual não permite a instalação de implantes de comprimento padrão ou o uso de técnicas de elevação menos invasivas, como a técnica dos osteótomos. A colocação dos implantes pode ser realizada numa única cirurgia, elevando o seio maxilar simultaneamente com a colocação dos implantes. No entanto, isso requer uma altura óssea mínima de 5mm. Alternativamente, a abordagem pode ser realizada em duas fases, envolvendo primeiro a elevação do seio maxilar e, posteriormente, a colocação dos implantes. Geralmente, essa abordagem é usada quando a altura óssea disponível varia entre 1mm e 4mm ou quando não é possível alcançar a estabilidade primária do implante numa única fase (Correia et al., 2012).

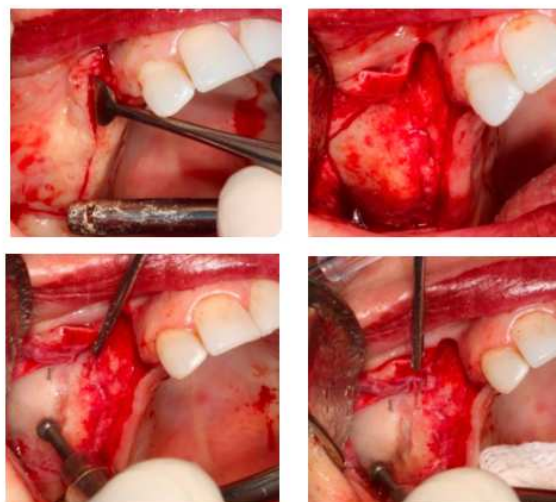


Figura 5 – Elevação do Seio Maxilar por meio da Técnica de Janela Lateral (fotografias cedidas por Prof. Dr. Antônio Mano Azul)

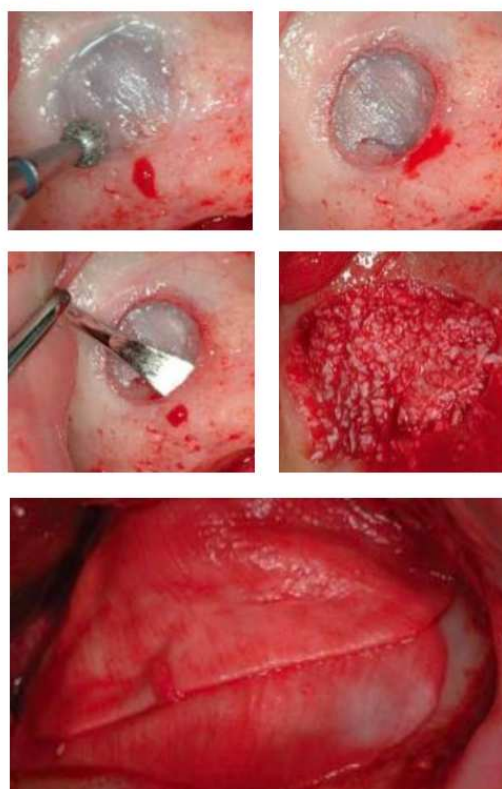


Figura 6 – Elevação do Seio Maxilar por meio da Técnica de Janela Lateral com aplicação de material de enxerto ósseo (fotografias cedidas por Prof. Dr. Antônio Mano Azul)

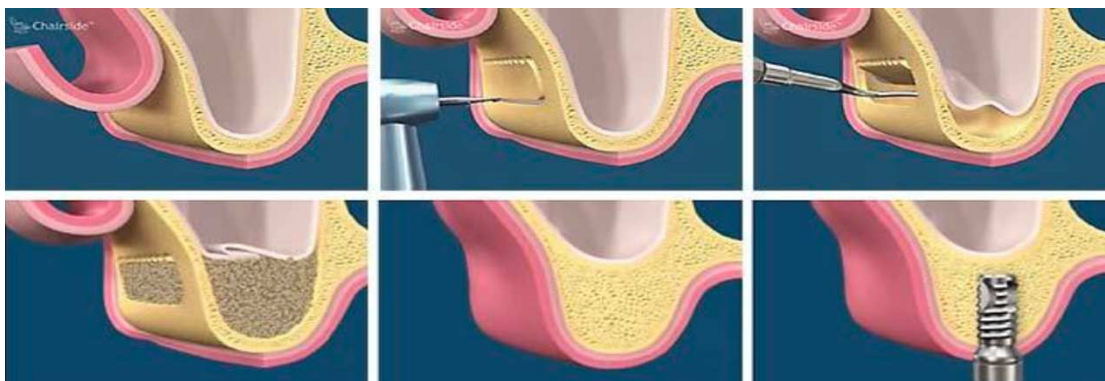


Figura 7 – Representação esquemática da Técnica de Janela Lateral com utilização de enxerto (adaptado de Hawthorne., 2009).

Historicamente, os implantes têm sido principalmente colocados após a cicatrização inicial do material de enxerto (procedimento de duas fases), embora a colocação simultânea de implantes (procedimento de uma fase) também tenha sido bem-sucedida. Um pré-requisito para uma abordagem de uma fase é, claro, que a estabilidade inicial do implante possa ser alcançada (Lundgren et al., 2016).

A decisão entre o procedimento realizado em duas fases ou apenas numa fase é primariamente com base nas preferências do profissional. Na prática, fatores anatômicos como a quantidade de alvéolo residual, largura e altura, a sua densidade, a sua resistência à perfuração durante a preparação do local do implante, são fatores determinantes. No entanto, não há qualquer dúvida de que a estabilidade primária do implante é um pré-requisito para a aplicar a técnica simultânea de uma fase apenas (Valentini & Artzi, 2022).



Figura 8 – Técnica monofásica com abordagem lateral e colocação imediata de implante, com enxerto (fotografias cedidas por Prof. Dr. António Mano Azul)

Em 2004, Lundgren e col fizeram uma modificação da técnica de janela lateral em 12 sinus lift, elevando a membrana do seio e colocando implantes que entravam no seio pelo menos 5 mm, sem material de preenchimento. Permitia-se a formação de um coágulo dentro do seio e à volta dos implantes e a formação de novo osso avaliada por TC foi completa, com sobrevivência de 100% dos implantes após 12 meses de carga.

A técnica apresentada oferece um método de aumento da maxila posterior quando os níveis ósseos remanescentes na região edêntula são baixos e é agora reconhecida como confiável e estabelecida. O potencial osteogénico inato da membrana de Schneider pode ser uma das principais razões para a formação bem-sucedida de osso com esta técnica. É económica, pois não requer enxerto ósseo adicional e menos demorada. A morbidade é menor do que no enxerto ósseo autógeno, uma vez que nenhum material de enxerto extra é necessário (Ribem & Thor, 2012).



Figura 9 – Kit de instrumentos para elevação do seio maxilar com 2 descoladores da membrana com angulações distintas (fotografia cedida por Prof. Dr. António Mano Azul)

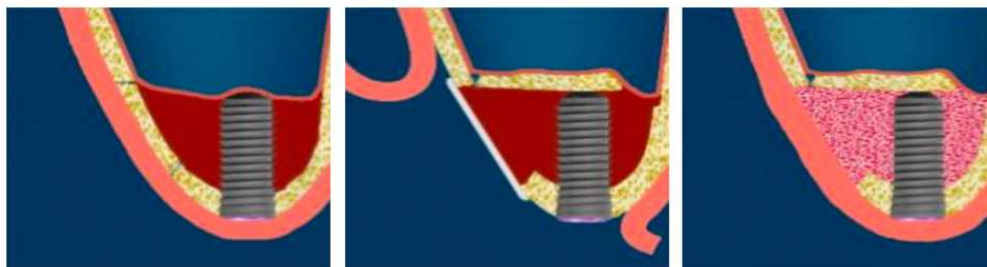


Figura 10 – Representação esquemática de elevação do seio maxilar por meio da técnica de janela lateral, sem aplicação de enxerto ósseo (adaptado de Johansson, L. 2012)

4.2 Técnica monofásica de elevação crestal com osteótomos

Em 1994, Summers introduziu dois procedimentos para a realização da elevação do seio maxilar com recurso à osteotomia, uma técnica menos invasiva em comparação à técnica de Tatum, referida anteriormente.

Nesta técnica não ocorre a remoção do osso e o seu objetivo é, de facto, a manutenção da maior quantidade de osso possível, empurrando o osso que se encontra a cortical da cavidade sinusal que vai elevar o pavimento, o periósteo e a membrana do seio, com muito menos trauma e ausência de contacto direto entre os instrumentos utilizados e a membrana (David et al., 2018)

Esta técnica revelou-se extremamente vantajosa quando a quantidade óssea encontrada é igual ou menor que 5-6 mm, tendo uma taxa de sucesso de cerca de 93,5% a 100% quando realizada em simultâneo com a colocação do implante. Os osteótomos possuem extremidade côncava e formato cilíndrico, sendo estas duas características ideais para a compactação das camadas ósseas adjacentes (David et al., 2018).

Quanto à necessidade de material de enxerto com esta técnica transcristal, as opiniões dos autores não são ainda consensuais. Nedir et al. (2010) descrevem que a protrusão dos implantes no seio maxilar diminui de 4.9 +- 1.9 mm após cirurgia para 1.5 +- 0.9 mm após 5 anos mesmo sem usar material de enxerto. Uma meta-análise (Tan et al.

2008) de 19 estudos mostra uma taxa de sobrevivência de 92.8% para implantes colocados em elevações de seio maxilar transalveolares a 3 anos.



Figura 11 – Representação esquemática da técnica de Osteótomos (adaptado a partir de <https://dentalartistry.co.nz/dental-implants/sinus-lifts>)



Figura 12 – Osteótomos e Martelo Cirúrgico (fotografia cedida por Prof. Dr. António Mano Azul)

4.3 Técnica de Osseodensificação

A mais recente abordagem utilizada na prática clínica para elevação do seio maxilar é a técnica de osseodensificação, também conhecida como densificação óssea e foi primeiramente desenvolvida por Salah Huwais em 2015.

O conceito desta técnica assenta no facto de ser um procedimento de preparação do leito implantar, sendo inovadora, biomecânica e não invasiva. Foram também desenvolvidas brocas desenhadas especificamente conhecidas como brocas Densah (por Versah LLC – The osseodensification company). Estas brocas aumentam a estabilidade primária através de perfuração não-subtrativa, ao contrário das brocas tradicionais. Além disso, possuem ainda a vantagem, durante a osteotomia, de ser possível controlar o tato e velocidade das bocas (Hassan & Beohar, 2022).

A abordagem inovadora de osseodensificação envolve o uso de brocas com múltiplas ranhuras e diâmetros crescentes no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio, o que reduz a preparação do leito do implante de forma favorável, aumentando, assim, a estabilidade do implante colocado. Devido à rotação no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio dessas brocas, sugere-se que ocorra compactação do osso autógeno na extremidade apical, facilitando o levantamento suave da membrana do seio maxilar. No caso de aumentos até 3 mm, a utilização de brocas de osseodensificação permite a elevação do seio maxilar sem a necessidade de colocação de material de enxerto. Para elevações da membrana superiores a 3 mm, associa-se a aplicação de material de enxerto (Rodda et al., 2022).

As brocas referidas têm um ângulo de ataque negativo e muitas superfícies de corte para aumentar a densidade óssea à medida que a broca expande a osteotomia. A probabilidade de perfurações da membrana sinusal é, também, minimizada devido à ponta não cortante à medida que a broca avança na perfuração do pavimento cortical do seio (Dashputra et al., 2023).

Nos dias de hoje, os pacientes procuram cada vez mais um tratamento final mais curto e rápido. Com a introdução de brocas desenhadas especificamente para possibilitar a osseodensificação, que para além de reduzir a duração do tratamento, proporciona um *outcome* bem-sucedido do implante. No entanto é, ainda, um conceito relativamente novo e recente, e considerando esse facto, os efeitos biológicos a longo prazo devem ser avaliados, entretanto por estudos longitudinais (Hassan & Beohar, 2022).

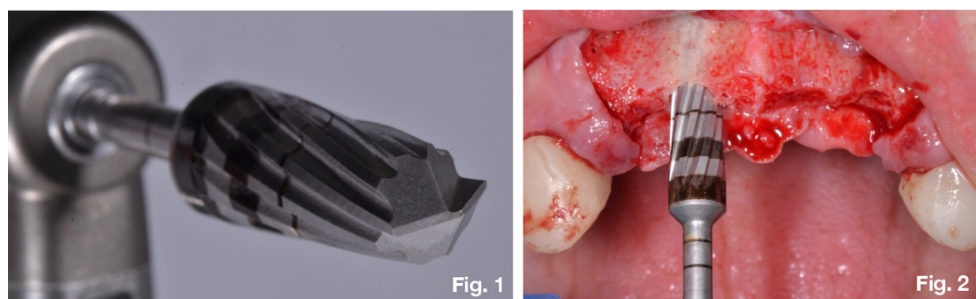


Figura 13 – Brocas *Densah Bur* utilizadas na técnica de Osseodensificação (fotografias cedidas por Dr. João Gaspar)

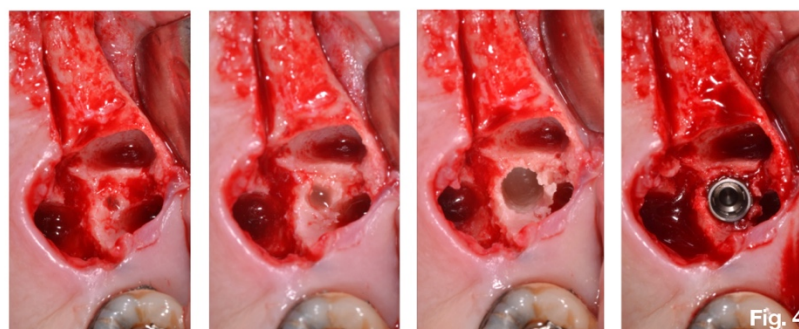
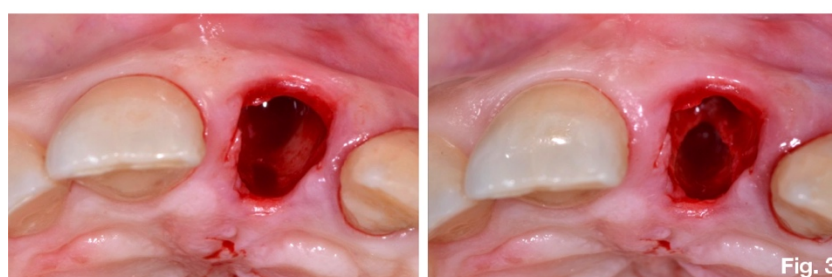


Figura 14 – Otimização e expansão do leito implantar utilizando a técnica de Osseodensificação (fotografias cedidas por Dr. João Gaspar)

5. Materiais de Regeneração Óssea para Sinus Lift

Uma das condições mais essenciais para o sucesso da terapia com implantes é a presença de uma quantidade e qualidade adequadas de osso (Raja, 2009).

A regeneração óssea é um procedimento cirúrgico que substitui o osso em falta por material do próprio paciente, através de uma substância artificial, ou por uma alternativa natural. A regeneração do tecido ósseo é possível quando as condições e o ambiente adequados são proporcionados, permitindo que o osso natural cresça e substitua completamente o material enxertado. O entendimento da ciência da regeneração óssea está em constante evolução, incorporando cada vez mais os princípios da biologia celular e molecular na cicatrização do tecido ósseo (Udayshankar et al., 2019).

Os materiais de enxerto ósseo devem possuir duas características essenciais: devem ser imunologicamente inertes e manter estabilidade fisiológica. Em termos imunológicos, não devem desencadear rejeições nem transmitir doenças. Esses materiais devem ser biocompatíveis e, idealmente, ser reabsorvidos à medida que ocorre a regeneração óssea (Correia et al., 2012).

Qualquer material utilizado em enxertos ósseos deve possuir três propriedades fundamentais: osteocondução, osteoindução e osteogênese (Udayshankar et al., 2019).

1. Osteocondução: Este processo ocorre quando o material de enxerto ósseo atua como uma espécie de suporte para o crescimento de novo osso. Os osteoblastos provenientes da margem da área a ser enxertada usam esse suporte como base para se espalharem e gerarem novo tecido ósseo. No mínimo, um material de enxerto ósseo deve ser osteocondutor.

2. Osteoindução: envolve a estimulação das células osteoprogenitoras para que se diferenciem em osteoblastos e, assim, comecem a formação de novo osso. Um dos mediadores mais estudados da osteoindução são as Proteínas Morfogenéticas Ósseas (BMPs). Um material de enxerto ósseo que seja simultaneamente osteocondutor e osteoindutor não serve apenas como suporte para os osteoblastos existentes, mas também

desencadeia a formação de novos osteoblastos, promovendo uma integração mais rápida do enxerto.

4. Osteogénese: Este processo ocorre quando osteoblastos vitais originários do material de enxerto ósseo contribuem para o crescimento de novo osso, juntamente com a formação óssea existente.

(Udayshankar et al., 2019)

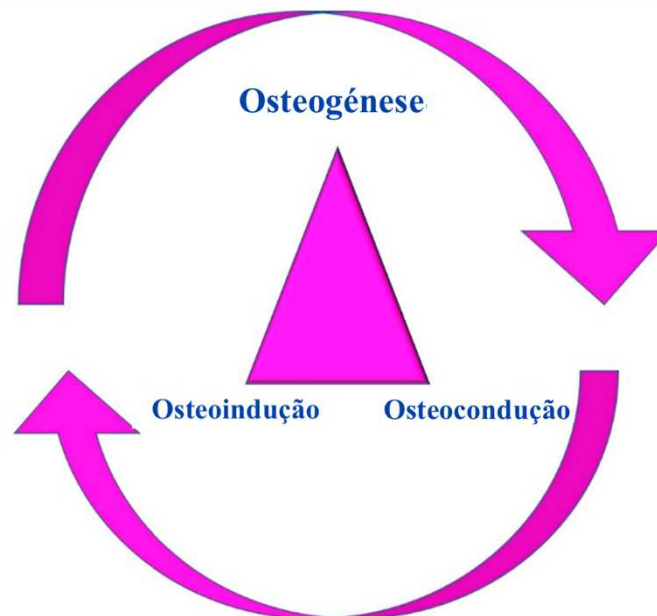


Figura 15 – Representação esquemática de propriedades que os enxertos ósseos devem possuir (adaptado de Bernardi et al., 2020)

O processo de integração do enxerto ósseo começa com a formação de um coágulo sanguíneo dentro e ao redor do enxerto, que tem como objetivo fornecer nutrientes à área até que novos capilares e vasos sanguíneos se desenvolvam. A lesão inicial resultante da cirurgia desencadeia uma resposta inflamatória que estimula o crescimento de tecido de granulação na área do enxerto. Esse crescimento tecidual promove a revascularização do tecido e atrai células viáveis do enxerto, juntamente com células osteoprogenitoras do recetor, facilitando a reabsorção do enxerto e a formação de novo tecido ósseo (Buck & Dumanian, 2012).

Existem diversas tipologias de enxertos ósseos, abrangendo autoenxertos (retirados do próprio paciente), aloenxertos (originados de um dador diferente do recetor), xenoenxertos (derivados de outra espécie) e materiais aloplásticos. Em geral, um período de cerca de 6 meses é considerado ideal para uma completa cicatrização após a realização do enxerto. O propósito fundamental destes enxertos é manter o espaço necessário, prevenindo o crescimento indesejado de tecido mole, assegurar a estabilidade mecânica e servir como guia para a formação de novo tecido ósseo (Correia et al., 2012).

A promoção da formação óssea pode ser realizada por meio de moléculas biologicamente ativas, incluindo proteínas morfológicas ósseas (BMP), fatores de crescimento e plasma rico em plaquetas (PRP) (Correia et al., 2012).

A avaliação dos seios maxilares enxertados após o procedimento de elevação do seio maxilar é efetuada através da análise histomorfométrica de biópsias ósseas. Esta análise permite determinar a percentagem de osso recém-formado, partículas do enxerto que permanecem e os componentes de tecido conjuntivo em toda a área observada no local enxertado durante o período de cicatrização. Estes parâmetros são de extrema importância clínica para avaliar o sucesso do procedimento de aumento do seio maxilar: uma percentagem mais elevada de osso recém-formado e uma menor quantidade de partículas de enxerto remanescentes indicam uma integração bem-sucedida do enxerto ósseo, o que, por sua vez, melhora a sobrevivência do implante (Al-Moraissi et al., 2020).

5.1 Autoenxertos ou Enxertos Autógenos/Autólogos

Autoenxerto ou enxerto de osso autólogo é o termo usado para descrever tecido ósseo colhido de uma região do mesmo paciente que irá receber esse enxerto ósseo. Em procedimentos ortopédicos e de reconstrução facial, o osso autólogo pode ser obtido de diversas áreas, como a crista ilíaca, o osso tibial, o ramo mandibular, a sínfise do queixo e a tuberosidade maxilar (Bernardi et al., 2020).

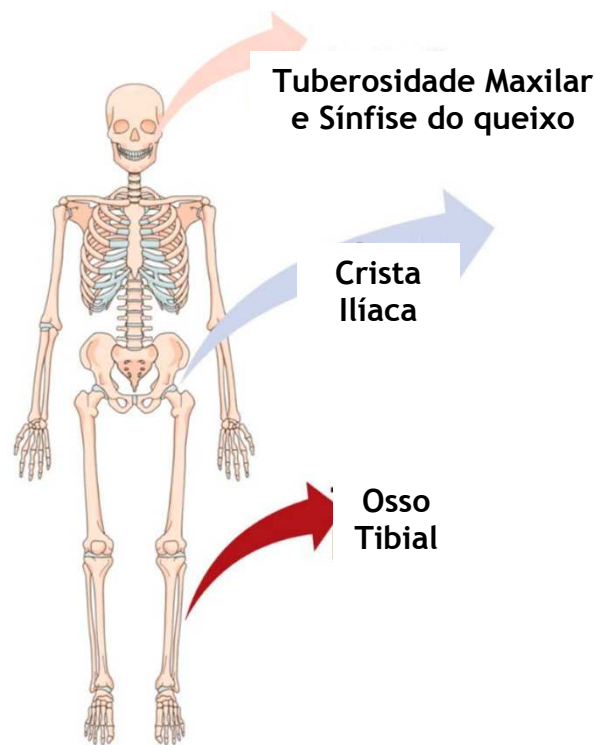


Figura 16 – Representação esquemática dos possíveis locais de colheita de osso autógeno (adaptado de Bernardi et al., 2020).

Dos vários materiais de aumento disponíveis, apenas o osso autólogo reúne características osteocondutoras, osteoindutoras e osteogênicas, em comparação com os materiais de substituição óssea e compostos. Devido às suas propriedades e à ausência de reações imunológicas, os enxertos ósseos autólogos são considerados o "*gold standard*" e o material mais eficaz em procedimentos de regeneração óssea (Sakkas et al., 2017).

A principal vantagem do enxerto autólogo é o uso do próprio tecido do hospedeiro, eliminando os riscos associados aos enxertos de doadores, como a transmissão de doenças. Para além disso, raramente desencadeia reações imunológicas, como respostas a corpos estranhos. Os enxertos autólogos transmitem não apenas o osso, mas também os seus componentes vitais, incluindo tecidos vivos. Sendo manipulado adequadamente durante a cirurgia, o material de enxerto contém células viáveis e os seus fatores de crescimento associados, uma vez que é derivado de tecido vivo. As células osteoprogenitoras estão presentes no perióstio e no endóstio e, quando estimuladas, diferenciam-se em osteoblastos, facilitando a formação de novo osso (Moussa & Dym, 2020).

Como já foi referido, os enxertos ósseos autólogos usados em aplicações de enxertos dentários podem ter origem intraoral ou extraoral. Os locais intraorais para colheita de autoenxertos incluem a espinha nasal, a tuberosidade e a crista zigomático-alveolar da maxila, o ramo, a região retromolar e a região da sínfise da mandíbula, bem como exostoses ósseas e osso colhido de diferentes locais usando raspadores ósseos (Sheikh et al., 2019).

No entanto, estes tipos de enxertos ósseos apresentam limitações, incluindo a restrição de locais doadores disponíveis, a possibilidade de complicações na área de colheita, relatos de reabsorção imprevisível e limitações no volume ósseo disponível (Sakkas et al., 2017).

A colheita de osso de um local intraoral reduz o tempo da cirurgia, elimina a necessidade de internação hospitalar e, portanto, diminui os custos totais; no entanto, geralmente não fornece quantidades substanciais de osso para reconstruções mais abrangentes (Patel & Newman, 2021). Para além disto, a colheita de osso autólogo requer muitas vezes um segundo local cirúrgico, aumentando o tempo do procedimento, o risco de morbilidade e possível desconforto para o paciente (Correia et al., 2012).

No que toca à colheita no ramo da mandíbula, existem riscos potenciais acrescidos, como lesões no nervo alveolar inferior, reabertura da incisão, desenvolvimento de trismo e fratura da mandíbula. Já as complicações relacionadas com a sínfise mandibular podem incluir regeneração insuficiente do enxerto ósseo, alterações na sensibilidade, problemas pulpares dos dentes do 5º sextante, lesões nervosas, danos vasculares, reabertura da

incisão e fraturas mandibulares. Para evitar a maioria dessas complicações cirúrgicas, é essencial um planeamento meticuloso e um profundo conhecimento anatómico (Correia et al., 2012).

Por outro lado, os autoenxertos podem igualmente ser obtidos a partir de locais extraorais, como a crista ilíaca ou a calote craniana, sendo a principal desvantagem a maior morbidade associada. A crista ilíaca é um local comum de colheita extraoral que fornece quantidades substanciais de osso autólogo cortical e esponjoso (Sheikh et al., 2019).

Embora tanto a crista ilíaca anterior quanto a crista ilíaca posterior possam fornecer uma quantidade considerável de osso cortical e esponjoso em comparação com outros locais, é importante notar que elas estão associadas a possíveis complicações no local dador. Estas complicações podem incluir dor crónica no local dador, distúrbios sensoriais, infeções, formação de hematoma, fraturas e o desenvolvimento de cicatrizes hipertróficas (Patel & Newman, 2021).

Em relação à aplicação deste tipo de enxerto ósseo nos variados procedimentos de *Sinus Lift*, diversos estudos recorreram exclusivamente a osso autógeno como material de enxerto, aproveitando as suas reconhecidas propriedades osteoindutoras, osteogénicas e osteocondutoras. Alguns autores, em revisões sistemáticas previamente publicadas na literatura, notaram que se encontrava uma maior quantidade de tecido mineralizado após 4 a 9 meses do processo de cicatrização quando apenas se usava osso autógeno como material de enxerto, em comparação com a utilização de outros materiais de enxerto isoladamente ou em combinação entre si. Na literatura, foi mencionado que não existem diferenças em termos de sucesso do procedimento e aumento de volume ao comparar o osso autógeno com qualquer outro material de substituição óssea em várias técnicas de aumento ósseo, incluindo aumento ósseo vertical e lateral, bem como na reconstrução de maxilares completamente edêntulos. Estas descobertas parecem ser corroboradas pelos resultados de procedimentos de elevação do seio maxilar com abordagem lateral. No entanto, é importante notar que alguns estudos reportaram uma taxa de reabsorção do enxerto acima da média a médio e longo prazo quando se utiliza apenas osso autógeno, especialmente se este for obtido a partir de locais extraorais (Corbella et al., 2015).

Pode ser suposto que, na presença de todas as condições que permitam a estabilidade adequada do coágulo, especialmente a integridade da membrana do seio maxilar e a existência de uma estrutura porosa, o espaço entre a membrana do seio maxilar e a crista óssea remanescente pode ser povoado por células osteoprogenitoras que estimulam a regeneração óssea, independentemente do biomaterial específico usado para preencher esse espaço. Esta suposição parece ser apoiada pela biologia da formação óssea na cavidade do seio maxilar. Alguns autores sugeriram que a membrana de Schneider pode desempenhar um papel na promoção da formação de novo osso após procedimentos de elevação da membrana sinusal por via lateral devido ao seu potencial osteogénico (Corbella et al., 2015).

O material de enxerto ósseo autógeno possui a melhor capacidade osteogénica, mas é gradualmente substituído por osso recém-formado e é rapidamente absorvido. Consequentemente, ocorre uma considerável pneumatização após a realização de um enxerto ósseo no seio maxilar com recurso a osso autógeno. Num estudo que avaliou a estabilidade a longo prazo da altura do seio maxilar, o osso autógeno diminuiu $1,8\pm 0,4$ mm, o osso sintético diminuiu $0,9\pm 0,3$ mm, e a combinação de osso autógeno com osso sintético diminuiu $0,8\pm 0,6$ mm em altura, o que indica uma pneumatização mais acentuada nos casos que envolvem o osso autógeno em comparação com o osso sintético (Jeong & Lee, 2014).

Com estes diversos resultados podemos chegar à conclusão de que, apesar das desvantagens representadas pela colheita deste tipo de enxerto e as suas taxas de reabsorção, tendo em conta as suas excelentes propriedades, continua a ser um biomaterial de eleição para aplicação como enxerto ósseo em procedimentos de elevação do seio maxilar.



Figura 17 – Colheita de Osso Autógeno (fotografias cedidas por Prof. Dr. António Mano Azul).

5.1.1 Utilização de Plasma Autólogo

Os profissionais de saúde confiam na utilização de concentrados autólogos de plaquetas, quer como uma espécie de "estrutura" natural devido à rede de fibras de fibrina, quer em combinação com outros biomateriais, devido às suas claras propriedades osteocondutoras e osteoindutoras (Bernardi et al., 2020).

Os concentrados de plaquetas, conforme originalmente descritos por Whitman et al., são produtos derivados do sangue obtidos após a centrifugação de uma amostra sanguínea. Para obter plasma rico em plaquetas (PRP) e plasma rico em fatores de crescimento (PRGF), utiliza-se sangue com citrato durante o processo de centrifugação para prevenir a coagulação, resultando em PRP e PRGF líquidos. Para obter a sua forma em gel, trombina e/ou cloreto de cálcio são adicionados para induzir a polimerização da fibrina, criando uma preparação de gel de fibrina de baixa densidade. No caso da fibrina rica em plaquetas (PRF), o sangue é colhido sem anticoagulantes, e a coagulação natural ocorre durante a centrifugação. A utilização de concentrados autólogos de plaquetas nas diversas áreas da Medicina Dentária teve início nas décadas de 1980 e 1990. Desde então, concentrados de plaquetas e fatores de crescimento têm sido utilizados com o intuito de aprimorar a regeneração guiada de tecidos na periodontologia, na regeneração do complexo pulpo-dentinário e na recuperação guiada da perda óssea na cirurgia oral (Ortega-Mejia et al., 2020).

Os concentrados autólogos de plaquetas desempenham um papel crucial devido às suas fibras de fibrina e à riqueza de fatores de crescimento que contêm. A fibrina formada por essas plaquetas cria uma matriz tridimensional que oferece um ambiente propício para o crescimento celular, agindo como um suporte osteocondutor. Além disso, os fatores de crescimento ativados durante a formação do coágulo sanguíneo aumentam os processos de reparação envolvidos na cicatrização de feridas. Entre esses fatores de crescimento, destacam-se o fator de crescimento derivado de plaquetas (PDGF), o fator de crescimento transformador β (TGF- β), o fator de crescimento semelhante à insulina, o fator de crescimento epidérmico, o fator de crescimento de fibroblastos e a proteína morfogenética óssea (BMP). O PDGF estimula a proliferação celular e a síntese de colagénio em fibroblastos, enquanto o TGF- β influencia a expressão de proteínas da matriz extracelular e atua em osteoblastos em estados iniciais de desenvolvimento, estimulando também a síntese de colagénio por fibroblastos. O IGF auxilia na diferenciação e promove a proliferação de osteoblastos, além de melhorar funções diferenciadas, como a expressão de colágeno tipo I. As BMPs constituem uma família de moléculas sinalizadoras que estimulam a formação de osso novo, mesmo em locais heterotópicos. Os concentrados autólogos de plaquetas contêm BMP-2, que é capaz de induzir a diferenciação de osteoblastos, representando assim elementos osteoindutores fundamentais (Bernardi et al., 2020).

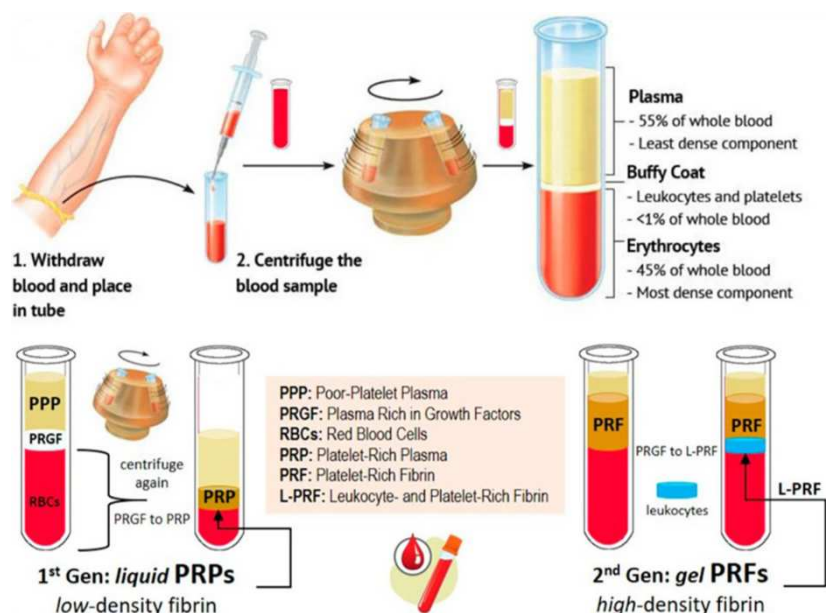


Figura 18 – Representação esquemática da preparação clínica, diferentes tipos ou classes e a demonstração prática de várias preparações de fibrina rica em plaquetas (PRF) e fibrina rica em plaquetas e leucócitos (L-PRF) (adaptado de Damsaz et al., 2020)

A evidência atual não é suficiente para conclusões definitivas sobre o uso exclusivo de concentrados de plaquetas em procedimentos de aumento do seio maxilar. Embora estudos sugiram resultados positivos, são necessárias mais pesquisas para comparar a sua eficácia com outros materiais. Adicionar fibrina rica em plaquetas a outros biomateriais parece não trazer benefícios adicionais. Apesar disso, os concentrados de plaquetas podem ser considerados uma opção de tratamento confiável para acelerar a cicatrização e melhorar a formação óssea em procedimentos de aumento do seio maxilar (Ortega-Mejia et al., 2020).

Diversos estudos demonstraram que o PRF pode aprimorar a cicatrização dos tecidos moles e ósseos, além de reduzir a incidência de complicações, como infecções pós-operatórias ou osteíte alveolar, no local da cirurgia. A presença de numerosos fatores de crescimento e a capacidade de induzir a migração e diferenciação celular para promover a angiogênese tornam o PRF uma opção viável na cirurgia de elevação do seio maxilar. Normalmente, o PRF é combinado com um material de enxerto sólido para maximizar a proporção de osso recém-formado (Canellas et al., 2021).

Existe também evidência de que os concentrados de plaquetas reduzem o risco de deslocação do enxerto para o seio, especialmente em casos de perfuração da membrana do seio. Além disso, os concentrados de plaquetas funcionam como uma barreira contra a invaginação e crescimento de tecido mole após procedimento de *sinus lift* (Stumbras et al., 2019), fazendo com que a utilização deste material neste tipo de procedimentos apresente diversas vantagens.

5.2 Aloenxertos ou Enxertos Alógenos

Os aloenxertos são a segunda opção mais comum após os enxertos autógenos. Um enxerto ósseo alógeno é colhido de um indivíduo da mesma espécie e processado antes de ser utilizado no indivíduo recetor (Patel & Newman, 2021).

Os aloenxertos são uma escolha vantajosa, estão disponíveis em quantidades maiores do que os autoenxertos e não apresentam as limitações comuns a estes últimos. Podem ser encontrados em diversos tamanhos de partículas e são amplamente utilizados em procedimentos de aumento ósseo, com um risco mínimo de transmissão de doenças. Os

aloenxertos são disponibilizados em várias formas, podendo ser preparados como osso congelado, liofilizado, mineralizado ou desmineralizado (Sheikh et al., 2019).

O processamento a que são sujeitos estes tipos de enxertos pode ter um impacto considerável nas propriedades do material do enxerto quando utilizado no corpo, incluindo a velocidade e extensão da reabsorção. Os aloenxertos possuem propriedades osteoindutoras e osteocondutoras, mas carecem de osteogênese, uma vez que as células viáveis são removidas durante o processo de esterilização. Geralmente, o material do enxerto é obtido a partir de cadáveres ou de doadores vivos durante procedimentos ortopédicos. Apesar de o material ser esterilizado por radiação gama ou óxido de etileno, existe um potencial risco de transmissão de doenças, como o HIV, HCV, HBV, distúrbios autoimunes e toxinas, embora este risco seja extremamente baixo (Patel & Newman, 2021).

Existem três formas padrão de aloenxerto: fresco, congelado, liofilizado mineralizado e liofilizado desmineralizado (Patel & Newman, 2021).

Contudo, devido ao risco de transmissão de doenças, o uso de aloenxertos frescos ou congelados foi descontinuado (Sheikh et al., 2019).

Os enxertos ósseos desmineralizados apresentam vantagens significativas em comparação com os enxertos mineralizados, pois são tanto osteoindutores quanto osteocondutores. Isso se deve à presença de proteínas morfogenéticas ósseas (BMPs) que estimulam a diferenciação das células mesenquimais em osteoblastos, contribuindo para a formação óssea. A liofilização na preparação desses enxertos afeta a apresentação tridimensional das partículas do enxerto, impactando a resposta do sistema imunológico. O enxerto ósseo alógeno liofilizado (FDBA) é valorizado por suas propriedades osteocondutoras e pode ser combinado com enxertos autógenos para aprimorar a osteogênese. O FDBA cortical é especialmente osteoindutor devido aos fatores de crescimento armazenados na matriz. Por outro lado, o enxerto ósseo desmineralizado liofilizado (DFDBA) é reabsorvido rapidamente, contendo BMPs e fatores de crescimento, mas tende a produzir menos novo osso em comparação com os autoenxertos. A eficácia do DFDBA varia conforme a idade do doador, afetando os níveis de BMP em lotes diferentes (Sheikh et al., 2019; Moussa & Dym, 2020).

O DFDBA não oferece vantagens particulares quando comparado com enxertos xenogênicos e enxertos sintéticos, e tanto os relatórios clínicos como os estudos de investigação sobre este tema estão a diminuir. Contudo, como evidenciado pelos resultados do estudo realizado, a utilização de osso alógeno desmineralizado liofilizado para a elevação do pavimento do seio maxilar alcançou uma elevação média de 10,95 mm, que diminuiu 1,53 mm seis meses mais tarde, resultando numa taxa média de redução de 14,30% (Jeong & Lee, 2014).

Os enxertos ósseos alógenos vêm em diferentes tamanhos de partículas, o que pode influenciar o grau de osteocondutividade no osso enxertado. Na literatura, é amplamente aceite que um tamanho de partícula de 100 a 300 micrómetros possui o maior potencial osteocondutor (Moussa & Dym, 2020).

É importante ter em consideração que a remoção de agentes patogénicos e antigénicos durante o processamento dos materiais de enxerto resulta numa redução significativa na quantidade de fatores de crescimento (Danesh-Sani et al., 2016).

O processamento de aloenxertos pode variar de fabricante para fabricante, e os produtos resultantes podem apresentar diferenças na garantia de esterilização, potencial osteoindutor e desempenho clínico comprovado (Lei et al., 2015). Sendo esta uma das maiores desvantagens deste tipo de biomaterial quando considerado como enxerto ósseo para utilização nos procedimentos de *sinus lift*.

5.3 Xenoenxertos ou Enxerto Heterógeno

Xenoenxertos são tecidos de enxerto de origem animal obtidos de espécies não humanas, geralmente animais, e são principalmente osteocondutores, com potencial limitado de reabsorção. O xenoenxerto mais frequentemente utilizado em procedimentos de regeneração periodontal é o osso mineral bovino desproteínizado, conhecido comercialmente como Bio-Oss, que é um osso de origem bovina processado para obter minerais ósseos naturais sem os elementos orgânicos (Sheikh et al., 2019).

O enxerto pode ser utilizado sozinho ou em combinação com outros materiais. Uma preocupação associada aos produtos de origem bovina é a possível transmissão de

doenças zoonóticas e infecções priônicas, como a encefalopatia espongiforme bovina (BSE), embora isso seja muito raro (Patel & Newman, 2021).

Uma vez que os xenoenxertos provêm de diferentes espécies, o processo de esterilização é mais rigoroso do que o dos enxertos alógenos (Moussa & Dym, 2020). O material é submetido a um processo de tratamento químico ou térmico para remover os componentes orgânicos, resultando na perda das propriedades osteogênicas e parcialmente das propriedades osteoindutoras (Patel & Newman, 2021).

A aplicação de xenoenxertos sujeitos a altas temperaturas, entre 900–1200 °C em contraste com os 250–600 °C, resulta numa reabsorção mais lenta e pode ser vantajosa para requisitos específicos de reconstrução, dependendo da taxa de reabsorção necessária em locais específicos. Uma revisão sistemática de Aghaloo et al., que analisou dados de sobrevivência de implantes, indica que materiais sintéticos de enxerto estão associados a taxas de sobrevivência de implantes dentários mais baixas do que os substitutos ósseos bovinos de xenoenxerto. No entanto, em ensaios clínicos controlados randomizados envolvendo substitutos ósseos sintéticos ou xenoenxertos bovinos, ambos os tipos de enxertos ósseos apresentaram alterações radiográficas semelhantes no osso alveolar quando utilizados para preservação da crista alveolar. Isso destaca a natureza dinâmica da reconstrução com enxerto ósseo e a possível multiplicidade de requisitos ideais de propriedades que podem estar presentes ou variar mesmo dentro de um determinado local de reconstrução (Patel & Newman, 2021).

Para além dos enxertos ósseo derivados de bovinos, é igualmente possível obter a partir de outras fontes animais, como equinos ou suínos. O tecido de enxerto ósseo suíno é um material de enxerto inorgânico poroso composto principalmente por fosfato de cálcio. Este material é fornecido sob a forma granular e é produzido através da remoção dos componentes orgânicos do osso suíno. A matriz mineral óssea anorgânica é biocompatível, apresentando uma estrutura porosa interligada que promove a formação e crescimento de novo osso no local da implantação (Sheikh et al., 2019).

Sob uma perspectiva clínica, diversos estudos têm demonstrado que o osso bovino anorgânico (OBA) se integra eficazmente com o tecido recém-formado e pode ser utilizado com sucesso em várias aplicações clínicas, como a preservação de cristas, o aumento ósseo e a regeneração periodontal. Recentemente, foi introduzido no mercado

um enxerto ósseo equino anorgânico (OEA), preparado através de uma técnica de desproteinização a alta temperatura. Devido ao facto de materiais de origem equina poderem reduzir o risco de transmissão de doenças priónicas iatrogénicas, o uso de OEA não suscita preocupações de segurança ou ética (Addis et al., 2022).

Nos estudos analisados por Addis et al., (2022) foi, então, possível concluir que as propriedades estruturais e fisicoquímicas gerais e as evidências pré-clínicas apresentadas no estudo indicam que o OEA exhibe características típicas dos substitutos ósseos xenogénicos tratados termicamente. Assim, é razoável esperar que o OEA produza resultados semelhantes aos de outros substitutos ósseos xenogénicos tratados termicamente em procedimentos cirúrgicos orais, podendo ser eficazmente utilizado como material de enxerto ósseo. No entanto, são necessários estudos clínicos adicionais para confirmar esta suposição.

Embora a utilização exclusiva de osso autógeno em elevações do seio maxilar assegure uma elevada taxa de sobrevivência dos implantes, é comum misturar com materiais de absorção lenta, como os xenoenxertos. Os xenoenxertos têm provado ser eficazes na elevação do pavimento do seio maxilar, tanto quando usados isoladamente como em combinação com osso autógeno. Estes funcionam como mantenedores de espaço eficazes e caracterizam-se pela sua absorção muito gradual. Estudos histológicos têm relatado a presença de partículas de xenotransplante intactas, mesmo 3 a 11 anos após o procedimento de elevação do seio, sem alterações dimensionais significativas em comparação com as observações feitas seis meses após a cirurgia (Pesce et al., 2021).

Resultados obtidos num estudo realizado por Canellas et al. (2021) corroboram a existência de diferenças significativas entre os materiais de xenoenxertos comercialmente disponíveis, o que representa uma desvantagem aquando da escolha da utilização destes em procedimentos de *sinus lift*.



Figura 19 – Exemplo de duas formas de Xenoenxertos comercializadas, em seringa e em bloco, da marca Ti-oss® (fotografia cedida por Prof. Dr. António Mano Azul)

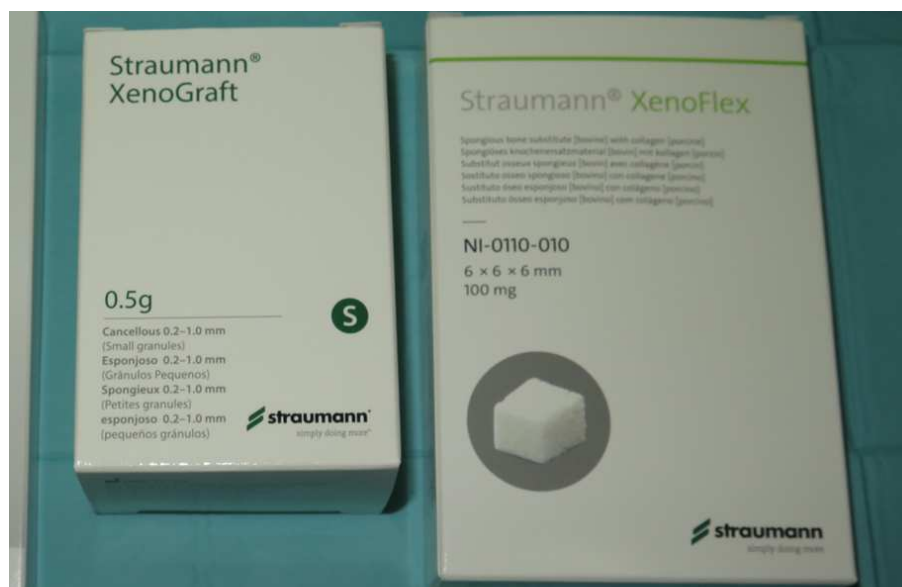


Figura 20 – Exemplo de duas formas de Xenoenxertos comercializadas, em grânulos e em bloco, da marca Straumann® (fotografia cedida por Prof. Dr. António Mano Azul)

5.4 Materiais Aloplásticos

Os materiais aloplásticos são materiais de origem sintética e foram concebidos para contrariar as desvantagens dos autoenxertos. São produzidos em várias formas, apresentando diversas características físico-químicas, podendo ser ou não degradáveis (Sheikh et al., 2019).

Os materiais sintéticos oferecem diversas vantagens em relação ao procedimento cirúrgico necessário para obter material autólogo: são biocompatíveis, promovem a

osteocondução, são injetáveis, moldáveis e de fácil manipulação. Permitem procedimentos minimamente invasivos, reduzem cicatrizes, uma vez que apenas a área afetada é tratada cirurgicamente, e requerem apenas uma intervenção. Além disso, estão amplamente disponíveis, já que podem ser facilmente produzidos em grande escala, ao contrário dos materiais autólogos, alogénicos ou xenogénicos (Ferraz, 2023).

Não obstante, os materiais sintéticos atualmente disponíveis demonstram apenas propriedades osteointegradoras e osteocondutoras. Os materiais que se inserem nesta categoria englobam cerâmicas de fosfato de cálcio, como a hidroxiapatite (HA), o fosfato tricálcico (TCP) e vidros bioativos (*bioglass*); metais, como o níquel-titânio; polímeros e poliglicóis, além de cimentos de fosfato de cálcio (Zhao et al., 2021).

Um material aloplástico ideal deve ser biocompatível, provocar reações mínimas de fibrose, ser facilmente remodelado e possuir uma resistência e elasticidade comparáveis ao osso natural que substitui. Em geral, tendem a ser não tóxicos e não provocam inflamações, mas muitas vezes são frágeis e podem ser menos adequados para locais de reconstrução complexos sob stress, como é o caso da maxila atrofica enxertada para posterior colocação de implantes, a menos que sejam combinados com outros biomateriais (Patel & Newman, 2021).

5.4.1 Cerâmicas de Fosfato Tricálcico

As cerâmicas de fosfato de cálcio são substâncias sintéticas frequentemente utilizadas como suportes na reconstrução de defeitos ósseos. As cerâmicas, em geral, possuem a vantagem de serem biocompatíveis e de resistirem bem à compressão e corrosão. No entanto, esses biomateriais também compartilham algumas desvantagens, como fragilidade e baixa resistência (Patel & Newman, 2021).

Os biomateriais cerâmicos mais comuns consistem em HA (hidroxiapatite) e alfa ou beta fosfato tricálcico (α ou β TCP) (Perez et al., 2018).

O β -TCP é um tipo de material de fosfato de cálcio amplamente utilizado como substituto ósseo há muitos anos. Este material tem uma biodegradação e absorção mais rápidas em comparação com a HA, devido à sua menor proporção de Ca/P (Wang & Yeung, 2017).

O β -TCP puro tem qualidades favoráveis, como a facilidade de manuseio, radiopacidade para monitorização da cicatrização, boa osteocondutividade, baixa imunogenicidade e risco mínimo de transmissão de doenças. A sua estrutura porosa promove vascularização, mas carece de resistência para aplicações de carga. Não é adequado como substituto ósseo, mas é adequado para preencher defeitos ósseos em reparos marginais periodontais e periapicais, e como preenchimento parcialmente reabsorvível em defeitos ósseos alveolares (Zhao et al., 2021).

Nakajima et al. (2007) constataram que o potencial de regeneração óssea do β -TCP é semelhante ao de enxertos ósseos alógenos liofilizados, enxertos ósseos alógenos liofilizados desproteinizados e materiais autólogos. No entanto, as propriedades mecânicas deste material limitam a sua aplicação mais abrangente (Nakajima et al. 2007; De Grado et al., 2018).

Atualmente, estruturas cerâmicas de fosfato de cálcio impressas em 3D podem ser utilizadas sozinhas ou para auxiliar na contenção e proteção de outros biomateriais de reconstrução. Elas são facilmente adaptáveis virtualmente, fixadas rapidamente durante a cirurgia, contribuindo para a redução do tempo cirúrgico, e apresentam bons resultados estéticos (Trombetta et al., 2016).

Normalmente, o β -TCP sofre reabsorção aproximadamente 13-20 semanas após a implantação e é posteriormente substituído por osso remodelado. Além disso, o β -TCP, com os seus poros interligados, pode acelerar o processo de remodelação óssea ao facilitar a colonização de células osteogénicas e nutrientes através de uma melhor capilaridade, sugerindo uma possível influência na angiogénese. A utilização de β -TCP tem revelado muito poucas complicações, como infeção ou não consolidação. Apesar da sua resistência mecânica adequada, ainda não consegue igualar as propriedades mecânicas do osso esponjoso ou de um aloenxerto ósseo (De Grado et al., 2018). Tendo isto em conta, pode ser um material utilizado com segurança em procedimentos de sinus lift.



Figura 21 – Exemplo de uma forma de beta fosfato tricálcico (β -TCP) comercializada, em formato de cone (fotografia cedida por Prof. Dr. António Mano Azul)

5.4.2 Materiais Bifásicos

Foram ainda desenvolvidas cerâmicas de fosfato de cálcio bifásico, que em geral consistem numa associação de β -TCP e HA (Hidroxiapatite). Desta associação resultou uma regeneração óssea mais rápida e taxas mais elevadas em comparação com o uso de HA sozinho, bem como melhores propriedades mecânicas em relação ao β -TCP isolado (De Grado et al., 2018).

O β -TCP é frequentemente utilizado em conjunto com a HA (Hidroxiapatite). A HA sintética pode ser produzida pela precipitação do nitrato de cálcio e do fosfato de amónio-dihidrogenado. Esta combinação oferece todas as vantagens dos seus dois componentes, incluindo osteocondutividade, biocompatibilidade, uso seguro e não alergénico, bem como a promoção da formação óssea (De Grado et al., 2018).

O principal benefício da utilização de materiais bifásicos reside na sua reabsorção. De facto, o β -TCP é reabsorvido mais rapidamente do que a HA, mas esta última apresenta ligeiramente melhores propriedades mecânicas do que o β -TCP. Como resultado, a combinação de β -TCP e HA facilita uma taxa de crescimento ósseo mais rápida e abrangente em comparação com o uso apenas de HA, enquanto proporciona melhores propriedades mecânicas do que o β -TCP isolado. Por exemplo, após 12 meses da implantação do material, cerca de 60% do β -TCP é reabsorvido, em contraste com apenas 10% para a HA. As cerâmicas de HA e β -TCP estabelecem uma sólida ligação direta com

o osso hospedeiro. Estas cerâmicas estão disponíveis em várias proporções de HA/ β -TCP e podem ser combinadas com aspirado de medula óssea, o que melhora as propriedades osteogénicas do material (De Grado et al., 2018).

Apesar da melhoria nas propriedades mecânicas do β -TCP pela inclusão da HA, a resistência das cerâmicas de HA e β -TCP permanece inferior à resistência à compressão do osso cortical. Diferentes métodos de preparação estão disponíveis, incluindo uma forma compacta ou uma forma porosa com macroporos interligados, semelhante ao osso esponjoso, que é frequentemente preferida segundo De Grado et al. (2018), fazendo deste um dos materiais mais adequados e utilizados em procedimentos de elevação do seio maxilar.

5.4.3 Fosfosilicato de Cálcio

Foram propostos diversos biomateriais para utilização na elevação do seio maxilar, incluindo substitutos ósseos aloplásticos particulados. O constante desenvolvimento de biomateriais tem melhorado as características físicas e propriedades dos substitutos ósseos aloplásticos, introduzindo novas características como uma textura moldável semelhante a uma pasta. Uma textura mais densa dos biomateriais utilizados na elevação do seio maxilar pode ter um impacto positivo na estabilidade inicial de um implante colocado simultaneamente com o procedimento de elevação do seio maxilar (Kher et al., 2014).

O biomaterial em forma de pasta de fosfosilicato de cálcio (CPS) é um biomaterial de terceira geração que tem conseguido resultados semelhantes aos dos enxertos de osso autógeno. Este material tem recentemente atraído atenção devido às suas propriedades osteocondutoras e osteoestimuladoras, ou seja, a sua capacidade de estimular as células osteoprogenitoras e a sua bioatividade é iniciada de imediato após a implantação (Rao et al., 2014).

Uma elevada percentagem de osso vital após um período de cicatrização relativamente curto sugere que a pasta de fosfosilicato de cálcio bioativa pode ser uma opção fiável para a regeneração óssea em casos de preservação da crista e cirurgias relacionadas com implantes. O potencial de regeneração óssea da pasta de CPS tem sido explorado através de análises histológicas dos locais enxertados com CPS, e diversos estudos clínicos em

seres humanos têm confirmado estas descobertas. Os resultados histomorfométricos do uso da pasta de CPS em defeitos bem delimitados têm sido muito promissores, proporcionando percentagens de osso vital que variam de 31% a 49%, dependendo da duração da cicatrização. Além disso, estudos histológicos anteriores têm confirmado os efeitos positivos das partículas de CPS na percentagem de osso vital presente em alvéolos de extração e seios maxilares aumentados (Rao et al., 2014).

5.4.4 Polímeros

Substitutos ósseos à base de polímeros podem ser de origem natural ou sintética. Os polímeros sintéticos podem ser subdivididos em categorias absorvíveis e não-absorvíveis. Os polímeros mais amplamente utilizados na regeneração óssea incluem o ácido poliláctico, o ácido poliglicólico, a polie-caprolactona e os seus copolímeros e derivados, que são coletivamente designados por poliésteres alifáticos (Haugen et al., 2019).

As principais vantagens apresentadas por este conjunto de materiais incluem a capacidade de serem moldados em formas personalizáveis, baixa imunogenicidade, degradabilidade controlável, porosidade e estrutura fisicoquímica (Haugen et al., 2019).

Uma das formas mais utilizadas deste tipo de material na área da Medicina Dentária surge na forma de membrana, na Regeneração Óssea Guiada.

A ROG, ou Regeneração Óssea Guiada, baseia-se no conceito de compartimentalização proposto no final da década de 1970. Em resumo, consiste em evitar a migração de células indesejadas através da adaptação de uma membrana de barreira à área que se pretende reconstruir. A membrana de barreira confere estabilidade ao enxerto ósseo, evita o colapso do tecido mole no defeito, impede a migração de células não osteogénicas concorrentes para o local e acumula fatores de crescimento (Urban & Monje, 2019).

Em termos de composição das membranas são utilizados, por exemplo, o politetrafluoretileno não reabsorvível, bem como materiais sintéticos reabsorvíveis, como uma combinação de ácido poliglicólico e trimetileno carbonato. No entanto, atualmente, os materiais reabsorvíveis de origem xenogénica, como o colagénio, são a opção mais comumente usada na técnica de Regeneração Óssea Guiada (ROG) (Urban & Monje, 2019).

A introdução de membranas reabsorvíveis reduziu a necessidade de um segundo procedimento cirúrgico para remover membranas não absorvíveis. Essas membranas reabsorvíveis podem ser feitas de materiais como colágeno, ácido poliláctico, poliglactina e ácido glicólico. O colagénio, devido às suas propriedades de biocompatibilidade, capacidade de atrair fibroblastos e influência na homeostase, é o material de origem natural mais comumente utilizado (Ortega-Mejia et al., 2020).

Uma das vantagens do uso de membranas reabsorvíveis é a promoção da cicatrização, já que elas ajudam a estabilizar o coágulo sanguíneo na ferida. O colagénio, em particular, tem a capacidade de atrair fibroblastos, contribuindo para a cicatrização mais eficaz da ferida. No entanto, se essas membranas não forem fixadas adequadamente, podem permitir movimentos indesejados e reabsorção prematura, o que pode levar à formação de tecido mole entre a membrana e o coágulo rompido, reduzindo a eficácia do processo de regeneração óssea (Ortega-Mejia et al., 2020).

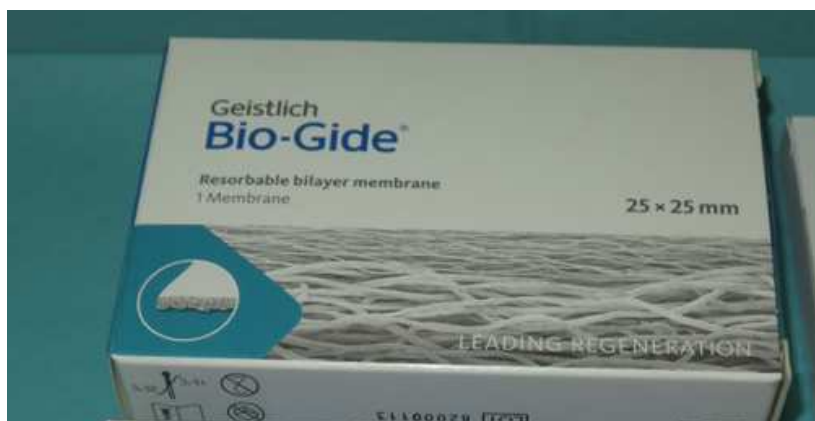


Figura 22 – Membrana de colagénio reabsorvível da marca GEISTLICH BIO-GIDE®
(fotografia cedida por Prof. Dr. António Mano Azul)

III. Conclusões

A regeneração óssea associada a materiais de enxerto no seio maxilar apresenta resultados positivos e previsíveis. Deste modo, a elevação do seio maxilar é uma alternativa real para a reabilitação da maxila posterior atrofica, cujo osso se apresenta com pouca altura óssea ou fraca qualidade para o suporte de implantes dentários.

Sobretudo em casos muito atroficos (altura óssea residual < 5 mm), a técnica clássica de janela lateral, apesar de mais traumática para o paciente, é ainda considerada a técnica *gold-standard* para a elevação do pavimento do seio maxilar, pois permite uma melhor visibilidade e uma colocação mais eficaz do material de enxerto ósseo.

Os implantes dentários colocados em áreas submetidas a procedimentos de aumento do volume ósseo têm demonstrado altas taxas de sobrevivência e sucesso, o que confirma a eficácia, viabilidade e previsibilidade da implantação de dispositivos dentários em osso proveniente de técnicas de regeneração do seio maxilar. No entanto, estes procedimentos não são totalmente isentos de riscos ou complicações. Estas podem decorrer da técnica utilizada, do tipo de biomaterial, da experiência do profissional, da localização anatômica ou ainda da inserção dos implantes dentários.

Apesar das diferenças nos princípios físicos envolvidos, todas as técnicas têm como objetivo aprimorar a combinação dos processos de osteocondução e osteoindução, com vista a melhorar a fixação da interface entre osso e biomaterial a curto, médio e longo prazo.

O enxerto ósseo é uma opção bem reconhecida e documentada por inúmeros autores para reabilitação, associado ou não a membranas de barreira. Inúmeros tipos de substitutos ósseos e as respectivas combinações são vulgarmente utilizadas com diferentes taxas de sucesso. Durante muito tempo, o osso autólogo foi considerado como o padrão de excelência, aliando as suas propriedades osteocondutoras, osteoindutoras e osteogénicas; no entanto apresenta limitações consideráveis de acesso e atualmente está associado a taxas de sobrevivência de implantes inferiores, quando comparado com associações entre substitutos ósseos. De forma a ultrapassar esta limitação, vários substitutos ósseos têm sido sugeridos, tais como aloenxertos, xenoenxertos e materiais aloplásticos que atuam maioritariamente por osteocondução, promovendo uma regeneração óssea capaz de

preencher um defeito, possibilitando assim uma reabilitação oral com implantes bem-sucedida.

O uso de membranas, reabsorvíveis ou não reabsorvíveis, de forma a impedir o influxo de tecido mole para o interior do defeito ósseo, tem sido amplamente apoiado pela literatura e associado a taxas de sobrevivência de implantes superiores.

Até ao momento, apesar de não existir ainda consenso na literatura sobre qual o material ideal para a elevação do seio maxilar, há evidência robusta que demonstra altas taxas de sucesso com diferentes tipos de materiais de enxerto.

IV. Bibliografia

- Addis, A., Canciani, E., Campagnol, M., Colombo, M., Frigerio, C., Recupero, D., Dellavia, C., & Morroni, M. (2022). A new anorganic equine bone substitute for oral surgery: structural characterization and regenerative potential. *Materials*, 15(3), 1031. <https://doi.org/10.3390/ma15031031>
- Albrektsson, T., Zarb, G.A., Worthington, P., & Eriksson, A. (1986). The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *The International journal of oral & maxillofacial implants*, 1 1, 11-25 .
- Al-Dajani, M. (2014). Recent trends in sinus lift surgery and their clinical implications. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 18(1), 204–212. <https://doi.org/10.1111/cid.12275>
- Alhumaidan, G., Eltahir, M. A., & Shaikh, S. (2021). Retrospective analysis of maxillary sinus septa – A cone beam computed tomography study. *The Saudi Dental Journal*, 33(7), 467–473. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2020.11.001>
- Alifarag, A. M., Lopez, C. D., Neiva, R., Tovar, N., Witek, L., & Coelho, P. G. (2018). Atemporal osseointegration: Early biomechanical stability through osseodensification. *Journal of Orthopaedic Research*, 36(9), 2516–2523. <https://doi.org/10.1002/jor.23893>
- Almalki, A., Albati, M., Alhijaili, M., Hariri, A. R., Alnowaisser, H., Salem, A., Alibrahim, I., Alfattany, R., Alnowaisser, M., & Alshahrani, E. (2018). Dental implants characteristics, stability and designs. *International Journal of Community Medicine and Public Health*. <https://doi.org/10.18203/2394-6040.ijcmph20183858>
- Al-Moraissi, E. A., Alkhutari, A. S., Abotaleb, B., Al-Tairi, N. H., & Del Fabbro, M. (2020). Do osteoconductive bone substitutes result in similar bone regeneration for maxillary sinus augmentation when compared to osteogenic and osteoinductive bone grafts? A systematic review and frequentist network meta-

- analysis. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 49(1), 107–120. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2019.05.004>
- Ana, I. D. (2019). Bone substituting materials in dental implantology. In *Springer eBooks* (pp. 121–141). https://doi.org/10.1007/978-3-319-78951-4_7
- Andreucci, C. A., Fonseca, E., & Jorge, R. N. (2023). A new simplified autogenous sinus lift technique. *Bioengineering*, 10(5), 505. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10050505>
- Baranes, D., & Kurtzman, G. M. (2019). Biphasic calcium sulfate as an alternative grafting material in various dental applications. *Journal of Oral Implantology*, 45(3), 247–255. <https://doi.org/10.1563/aaid-joi-d-18-00306>
- Beck, F., Reich, K. M., Lettner, S., Heimel, P., Tangl, S., Redl, H., & Ulm, C. (2020). The vertical course of bone regeneration in maxillary sinus floor augmentations: A histomorphometric analysis of human biopsies. *Journal of Periodontology*, 92(2), 263–272. <https://doi.org/10.1002/jper.19-0656>
- Boyne, P. J., & James, R. A. (1980). Grafting of the maxillary sinus floor with autogenous marrow and bone. *Journal of oral surgery (American Dental Association : 1965)*, 38(8), 613–616.
- Bernardi, S., Macchiarelli, G., & Bianchi, S. (2020). Autologous materials in regenerative dentistry: harvested bone, platelet concentrates and dentin derivatives. *Molecules*, 25(22), 5330. <https://doi.org/10.3390/molecules25225330>
- Buck, D. W., & Dumanian, G. A. (2012). Bone biology and Physiology. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 129(6), 1314–1320. <https://doi.org/10.1097/prs.0b013e31824eca94>
- Câmara, M.A. (2010). Estudo anatomo-radiográfico do seio maxilar e sua correlação com patologia cirúrgica numa população portuguesa.

- Canellas, J. V. D. S., Drugos, L., Ritto, F., Fischer, R., & De Medeiros, P. J. (2021). Xenograft materials in maxillary sinus floor elevation surgery: a systematic review with network meta-analyses. *British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*, *59*(7), 742–751. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2021.02.009>
- Cawood, J., & Howell, R. A. (1988). A classification of the edentulous jaws. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, *17*(4), 232–236. [https://doi.org/10.1016/s0901-5027\(88\)80047-x](https://doi.org/10.1016/s0901-5027(88)80047-x)
- Cawood, J., & Howell, R. A. (1991). Reconstructive preprosthetic surgery. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, *20*(2), 75–82. [https://doi.org/10.1016/s0901-5027\(05\)80711-8](https://doi.org/10.1016/s0901-5027(05)80711-8)
- Cicciù, M., & Tallarico, M. (2021). Dental Implant Materials: Current state and Future Perspectives. *Materials*, *14*(2), 371. <https://doi.org/10.3390/ma14020371>
- Clarke, B. (2008). Normal bone anatomy and physiology. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*, *3*(Supplement_3), S131–S139. <https://doi.org/10.2215/cjn.04151206>
- Corbella, S., Taschieri, S., Weinstein, R., & Del Fabbro, M. (2015). Histomorphometric outcomes after lateral sinus floor elevation procedure: a systematic review of the literature and meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research*, *27*(9), 1106–1122. <https://doi.org/10.1111/clr.12702>
- Correia, F., Almeida, R. F., Costa, A. L., Carvalho, J., & Felino, A. (2012). Levantamento do seio maxilar pela técnica da janela lateral: tipos enxertos. *Revista Portuguesa De Estomatologia, Medicina Dentária E Cirurgia Maxilofacial*, *53*(3), 190–196. <https://doi.org/10.1016/j.rpemd.2012.03.003>
- Damsaz, M., Castagnoli, C. Z., Eshghpour, M., Alamdari, D. H., Alamdari, A. H., Noujeim, Z., & Haidar, Z. S. (2020). Evidence-Based clinical efficacy of leukocyte and Platelet-Rich fibrin in maxillary sinus floor lift, graft and surgical augmentation procedures. *Frontiers in Surgery*, *7*. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2020.537138>

- Danesh-Sani, S. A., Loomer, P. M., & Wallace, S. S. (2016). A comprehensive clinical review of maxillary sinus floor elevation: anatomy, techniques, biomaterials and complications. *British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*, 54(7), 724–730. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2016.05.008>
- Dashputra, A., Karemore, V., Phadnaik, M., & Chodankar, V. R. (2023). Crestal approach maxillary sinus augmentation by osseodensification with simultaneous implant placement. *IP International Journal of Periodontology and Implantology*, 8(1), 52–55. <https://doi.org/10.18231/j.ijpi.2023.010>
- David, G. M., Vermudt, A., Ghizoni, J. S., Pereira, J. R., & Pamato, S. (2018). Levantamento de seio maxilar: uma comparação de técnicas. *Journal of Research in Dentistry*, 6(2), 43. <https://doi.org/10.19177/jrd.v6e2201843-48>
- De Grado, G. F., Keller, L., Idoux-Gillet, Y., Wagner, Q., Musset, A. M., Benkirane-Jessel, N., Bornert, F., & Offner, D. (2018). Bone substitutes: a review of their characteristics, clinical use, and perspectives for large bone defects management. *Journal of Tissue Engineering*, 9, 204173141877681. <https://doi.org/10.1177/2041731418776819>
- Elias, C. (2011). *Factors affecting the success of dental implants*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Factors-Affecting-the-Success-of-Dental-Implants-Elias/d000dfd12f0c9616dfc8890c0ba311dd04975534>
- Esposito, M., Felice, P., & Worthington, H. V. (2014). Interventions for replacing missing teeth: augmentation procedures of the maxillary sinus. *The Cochrane Library*. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd008397.pub2>
- Everts, V., Jansen, I. D. C., & De Vries, T. J. (2022). Mechanisms of bone resorption. *Bone*, 163, 116499. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2022.116499>
- Farré-Guasch, E., Prins, H., Overman, J., Bruggenkate, C. T., Schulten, E., Helder, M. N., & Klein-Nulend, J. (2013). Human maxillary sinus floor elevation as a model

- for bone regeneration enabling the application of One-Step surgical procedures. *Tissue Engineering Part B-reviews*, 19(1), 69–82. <https://doi.org/10.1089/ten.teb.2012.0404>
- Ferraz, M. P. (2023). Bone grafts in Dental Medicine: An overview of autografts, allografts and synthetic materials. *Materials*, 16(11), 4117. <https://doi.org/10.3390/ma16114117>
- Floodeen, E. G. (2021). Direct Sinus lift. In *Springer eBooks* (pp. 69–76). https://doi.org/10.1007/978-3-030-75750-2_10
- Gaspar, J., Esteves, T., Gaspar, R., Rua, J., & Mendes, J. J. (2018). Osseodensification for implant site preparation in the maxilla- a prospective study of 97 implants. *Clinical Oral Implants Research*, 29, 163. https://doi.org/10.1111/clr.48_13358
- Gerken, U., Esser, F., Möhlhenrich, S. C., Bartella, A. K., Hölzle, F., Fischer, H., Raith, S., & Steiner, T. (2020). Objective computerised assessment of residual ridge resorption in the human maxilla and maxillary sinus pneumatization. *Clinical Oral Investigations*, 24(9), 3223–3235. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03196-6>
- Göker, F., Taschieri, S., Bruno, G. A., Grecchi, E., Savadori, P., Donati, G., & Del Fabbro, M. (2020). Nanotechnology scaffolds for alveolar bone regeneration. *Materials*, 13(1), 201. <https://doi.org/10.3390/ma13010201>
- Guan, J. (2019). The effect of bone physiology on bone anatomy. In *Springer eBooks* (pp. 373–375). https://doi.org/10.1007/978-3-030-26044-6_120
- Hassan, S. A., & Beohar, G. (2022). Osseodensification- A review. *IP Annals of Prosthodontics and Restorative Dentistry*, 8(4), 203–206. <https://doi.org/10.18231/j.aprd.2022.042>

- Haugen, H. J., Lyngstadaas, S. P., Rossi, F., & Perale, G. (2019). Bone grafts: which is the ideal biomaterial? *Journal of Clinical Periodontology*, 46, 92–102. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13058>
- Helmy, M. (2017). Maxillary Sinus lifting: Review of the two main approaches. *Global Journal of Otolaryngology*, 8(4). <https://doi.org/10.19080/gjo.2017.08.555745>
- Huwais, S., & Meyer, E. G. (2017). A novel osseous densification approach in implant osteotomy preparation to increase biomechanical primary stability, bone mineral density, and Bone-to-Implant contact. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 32(1), 27–36. <https://doi.org/10.11607/jomi.4817>
- Ielo, I., Calabrese, G., De Luca, G., & Conoci, S. (2022). Recent advances in Hydroxyapatite-Based biocomposites for bone tissue regeneration in orthopedics. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(17), 9721. <https://doi.org/10.3390/ijms23179721>
- Jain, S. P., Soni, S., Lodhi, S., Khan, R., Jain, A., Khare, B., Thakur, B. S., & Jain, P. K. (2022). Contemporary trends in dental implants. *Asian Journal of Dental and Health Sciences*, 2(4), 48–54. <https://doi.org/10.22270/ajdhs.v2i4.25>
- Kaufman E. (2003). Maxillary sinus elevation surgery: an overview. *Journal of esthetic and restorative dentistry: official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry ... [et al.]*, 15(5), 272–283. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2003.tb00298.x>
- Jeong, T. M., & Lee, J. K. (2014). The Efficacy of the Graft Materials after Sinus Elevation: Retrospective Comparative Study Using Panoramic Radiography. *Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery*, 36(4), 146–153. <https://doi.org/10.14402/jkamprs.2014.36.4.146>
- Johansson, L. (2012). *On minimally invasive approaches to sinus lift procedures*. <http://hdl.handle.net/2077/30265>

- Kenkre, J., & Bassett, J. H. D. (2018). The bone remodelling cycle. *Annals of Clinical Biochemistry*, 55(3), 308–327. <https://doi.org/10.1177/0004563218759371>
- Kher, U., Mazor, Z., Stanitsas, P., & Kotsakis, G. A. (2014). Implants placed simultaneously with lateral window sinus augmentation using a putty alloplastic bone substitute for increased primary implant stability. *Implant Dentistry, Publish Ahead of Print*. <https://doi.org/10.1097/id.0000000000000117>
- Kini, U., & Nandeesh, B. N. (2012). Physiology of bone formation, remodeling, and metabolism. In *Springer eBooks* (pp. 29–57). https://doi.org/10.1007/978-3-642-02400-9_2
- Lei, Z., Van Mil, A., Van De Vrugt, A. M., Doevendans, P. A., & Sluijter, J. P. (2015). Dgcr8 is Indispensable for Cardiac Lineage Specification in Embryonic Stem Cells. *Journal of Stem Cell Research & Therapy*, 05(01). <https://doi.org/10.4172/2157-7633.1000260>
- Lim, H. C., Kim, S., Kim, D. H., Herr, Y., Chung, J. H., & Shin, S. I. (2021). Factors affecting maxillary sinus pneumatization following posterior maxillary tooth extraction. *Journal of periodontal & implant science*, 51(4), 285–295. <https://doi.org/10.5051/jpis.2007220361>
- Lin, H. K., Pan, Y., Salamanca, E., Lin, Y. T., & Chang, W. J. (2019). Prevention of Bone Resorption by HA/ β -TCP + Collagen Composite after Tooth Extraction: A Case Series. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(23), 4616. <https://doi.org/10.3390/ijerph16234616>
- Lundgren, S., Cricchio, G., Hallman, M., Jungner, M., Rasmusson, L., & Sennerby, L. (2016). Sinus floor elevation procedures to enable implant placement and integration: techniques, biological aspects and clinical outcomes. *Periodontology 2000*, 73(1), 103–120. <https://doi.org/10.1111/prd.12165>

- Mauer, R. G., Shadrav, A., & Dashti, M. (2021). Predictability of dental implants. In *Springer eBooks* (pp. 35–45). https://doi.org/10.1007/978-3-030-75750-2_7
- Mohan, N., Wolf, J., & Dym, H. (2015). Maxillary sinus augmentation. *Dental Clinics of North America*, 59(2), 375–388. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2014.10.001>
- Moussa, N., & Dym, H. (2020). Maxillofacial bone grafting materials. *Dental Clinics of North America*, 64(2), 473–490. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2019.12.011>
- Nakajima, Y., Fiorellini, J.P., Kim, D.M., & Weber, H.P. (2007). Regeneration of standardized mandibular bone defects using expanded polytetrafluoroethylene membrane and various bone fillers. *The International journal of periodontics & restorative dentistry*, 27 2, 151-9 .
- Nedir, R., Nurdin, N., Vazquez, L., Szmukler-Moncler, S., Bischof, M., & Bernard, J. (2010). Osteotome sinus floor elevation technique without grafting: a 5-year prospective study. *Journal of Clinical Periodontology*. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051x.2010.01610.x>
- Ortega-Mejia, H., Estrugo-Devesa, A., Saka-Herrán, C., Ayuso-Montero, R., López-López, J., & Velasco-Ortega, E. (2020). Platelet-Rich plasma in Maxillary sinus augmentation: Systematic Review. *Materials*, 13(3), 622. <https://doi.org/10.3390/ma13030622>
- Padhye, N. M., Padhye, A., & Bhatavadekar, N. (2020). Osseodensification — A systematic review and qualitative analysis of published literature. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, 10(1), 375–380. <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2019.10.002>
- Pai, U., Rodrigues, S. J., Talreja, K. S., & Mundathaje, M. (2018). Osseodensification – A novel approach in implant dentistry. *The Journal of Indian Prosthodontic Society*, 18(3), 196. https://doi.org/10.4103/jips.jips_292_17

- Park, Y., Jeon, H., Shim, J., Lee, K. W., & Moon, H. (2011). Analysis of the anatomy of the maxillary sinus septum using 3-Dimensional Computed tomography. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 69(4), 1070–1078. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2010.07.020>
- Patel, P., & Newman, M. F. (2021). Biomaterial for osseous reconstruction. In *Springer eBooks* (pp. 11–17). https://doi.org/10.1007/978-3-030-75750-2_3
- Perez, J., Kouroupis, D., Li, D. J., Best, T. M., Kaplan, L. D., & Correa, D. (2018). Tissue engineering and Cell-Based therapies for fractures and bone defects. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2018.00105>
- Pesce, P., Menini, M., Canullo, L., Khijmatgar, S., Modenese, L., Gallifante, G., & Del Fabbro, M. (2021). Radiographic and Histomorphometric evaluation of biomaterials used for lateral sinus augmentation: A Systematic review on the effect of residual bone height and vertical graft size on new bone formation and graft shrinkage. *Journal of Clinical Medicine*, 10(21), 4996. <https://doi.org/10.3390/jcm10214996>
- Povoroznyuk, V., Dedukh, N., Bystrytska, M., & Shapovalov, V. S. (2021). Bone remodeling stages under physiological conditions and glucocorticoid in excess: Focus on cellular and molecular mechanisms. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 12(2), 212–227. <https://doi.org/10.15421/022130>
- Raja, S. (2009). Management of the posterior maxilla with sinus lift: Review of Techniques. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 67(8), 1730–1734. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2009.03.042>
- Ramchand, S. K., & Seeman, E. (2020). Reduced bone modeling and unbalanced bone remodeling: targets for antiresorptive and anabolic therapy. In *Handbook of experimental pharmacology* (pp. 423–450). https://doi.org/10.1007/164_2020_354

- Rao, S., Mehta, S., & Nayyar, A. S. (2014). Efficacy Of Calcium Phosphosilicate (CPS) Putty As Alloplastic Bioactive Graft Material In Sinus Augmentation Procedures: An Original Study. *Journal of Dentistry and Oral Implants*, 1(3), 27–54. <https://doi.org/10.14302/issn.2473-1005.jdoi-16-1196>
- Rosen PS, Summers R, Mellado JR, Salkin LM, Shanaman RH, Marks MH, et al. The bone-added osteotome sinus floor elevation technique: multicenter retrospective report of consecutively treated patients. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1999;14:853-8.
- Riben, C., & Thor, A. (2012). The Maxillary Sinus Membrane Elevation Procedure: Augmentation of Bone around Dental Implants without Grafts—A Review of a Surgical Technique. *International Journal of Dentistry*, 2012, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2012/105483>
- Rodda, A., Koduganti, R. R., Manne, H. K., Gullapelli, P., & Devarampati, L. J. (2022). Implant placement post maxillary sinus lift using osseodensification concept: a case report. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.21756>
- Sakkas, A., Wilde, F., Heufelder, M., Winter, K., & Schramm, A. (2017). Autogenous bone grafts in oral implantology—is it still a “gold standard”? A consecutive review of 279 patients with 456 clinical procedures. *International Journal of Implant Dentistry*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s40729-017-0084-4>
- Sego, T. J., Hsu, Y., Chu, T. M. G., & Tovar, A. (2020). Modeling progressive damage accumulation in bone remodeling explains the thermodynamic basis of bone resorption by overloading. *Bulletin of Mathematical Biology*, 82(10). <https://doi.org/10.1007/s11538-020-00808-w>
- Sheikh, Z., Hamdan, N., Abdallah, M., Glogauer, M., & Grynepas, M. D. (2019). Natural and synthetic bone replacement graft materials for dental and maxillofacial applications. In *Elsevier eBooks* (pp. 347–376). <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102476-8.00015-3>

- Silva-Miranda, V. H., Astudillo-Campos, P. P., Vélez-Sánchez, M. V., & Sánchez-Valdiviezo, M. N. (2017). Tipos de superficie en los implantes dentales. *Polo Del Conocimiento*. <https://doi.org/10.23857/pc.v2i6.136>
- Smith, D. E., & Zarb, G. A. (1989). Criteria for success of osseointegrated endosseous implants. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 62(5), 567–572. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(89\)90081-4](https://doi.org/10.1016/0022-3913(89)90081-4)
- Sogo, M., Ikebe, K., Yang, T., Wada, M., & Maeda, Y. (2011). Assessment of bone density in the posterior maxilla based on Hounsfield units to enhance the initial stability of implants. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 14, e183–e187. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8208.2011.00423.x>
- Solar, P., Geyerhofer, U., Traxler, H., Windisch, A., Ulm, C., & Watzek, G. (1999). Blood supply to the maxillary sinus relevant to sinus floor elevation procedures. *Clinical Oral Implants Research*, 10(1), 34–44. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.1999.100105.x>
- Stern, A., & Green, J. (2012). Sinus lift procedures: an overview of current techniques. *Dental clinics of North America*, 56(1), 219–x. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2011.09.003>
- Summers R. B. (1994). A new concept in maxillary implant surgery: the osteotome technique. *Compendium (Newtown, Pa.)*, 15(2), 152–162.
- Tan, W., Lang, N. P., Zwahlen, M., & Pjetursson, B. E. (2008). A systematic review of the success of sinus floor elevation and survival of implants inserted in combination with sinus floor elevation Part II: Transalveolar technique. *Journal of Clinical Periodontology*, 35, 241–254. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051x.2008.01273.x>
- Tel, A., Tuniz, F., Fabbro, S., Sembronio, S., Costa, F., & Robiony, M. (2020). Computer-Guided In-House Cranioplasty: Establishing a novel standard for cranial reconstruction and proposal of an updated protocol. *Journal of Oral and*

Maxillofacial Surgery, 78(12), 2297.e1-2297.e16.
<https://doi.org/10.1016/j.joms.2020.08.007>

Torrioni, A., Parente, P. E. L., Witek, L., Hacquebord, J., & Coelho, P. G. (2020). Osseodensification drilling vs conventional manual instrumentation technique for posterior lumbar fixation: Ex-vivo mechanical and histomorphological analysis in an ovine model. *Journal of Orthopaedic Research*, 39(7), 1463–1469. <https://doi.org/10.1002/jor.24707>

Trombetta, R. P., Inzana, J. A., Schwarz, E. M., Kates, S. L., & Awad, H. A. (2016). 3D printing of calcium phosphate ceramics for bone tissue engineering and drug delivery. *Annals of Biomedical Engineering*, 45(1), 23–44. <https://doi.org/10.1007/s10439-016-1678-3>

Udayshankar, V., R. V. K., Prakash, P., & Jain, V. (2019). Bone graft materials used in dental implants: A review. *IP Annals of Prosthodontics and Restorative Dentistry*, 5(3), 58–62. <https://doi.org/10.18231/j.aprd.2019.014>

Urban, I. A., & Monje, A. (2019). Guided bone regeneration in alveolar bone reconstruction. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*, 31(2), 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.coms.2019.01.003>

Valentini, P., & Artzi, Z. (2022). Sinus augmentation procedure via the lateral window technique—Reducing invasiveness and preventing complications: A narrative review. *Periodontology 2000*, 91(1), 167–181. <https://doi.org/10.1111/prd.12443>

Velasco-Ortega, E., Valente, N. A., Iezzi, G., Petrini, M., Derchi, G., & Barone, A. (2020). Maxillary sinus augmentation with three different biomaterials: Histological, histomorphometric, clinical, and patient-reported outcomes from a randomized controlled trial. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 23(1), 86–95. <https://doi.org/10.1111/cid.12964>

- Wallace, S. S., & Froum, S. J. (2003). Effect of maxillary sinus augmentation on the survival of endosseous dental implants. A systematic review. *Annals of Periodontology*, 8(1), 328–343. <https://doi.org/10.1902/annals.2003.8.1.328>
- Wang, W., & Yeung, K. W. K. (2017). Bone grafts and biomaterials substitutes for bone defect repair: A review. *Bioactive Materials*, 2(4), 224–247. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2017.05.007>
- Whitman, D. H., Berry, R. L., & Green, D. M. (1997). Platelet gel: An autologous alternative to fibrin glue with applications in oral and maxillofacial surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 55(11), 1294–1299. [https://doi.org/10.1016/s0278-2391\(97\)90187-7](https://doi.org/10.1016/s0278-2391(97)90187-7)
- Wolde-Semait, H. T., & Komlos, D. (2020). Normal bone physiology. In *Springer eBooks* (pp. 1–8). https://doi.org/10.1007/978-3-030-33861-9_1
- Xu, H. H., Wang, P., Wang, L., Bao, C., Chen, Q., Weir, M. D., Chow, L. C., Zhao, L., Zhou, X., & Reynolds, M. A. (2017). Calcium phosphate cements for bone engineering and their biological properties. *Bone Research*, 5(1). <https://doi.org/10.1038/boneres.2017.56>
- Zhao, R., Yang, R., Cooper, P. R., Khurshid, Z., Shavandi, A., & Ratnayake, J. (2021). Bone Grafts and Substitutes in Dentistry: A review of current trends and developments. *Molecules*, 26(10), 3007. <https://doi.org/10.3390/molecules26103007>

