



Personalized Implantology With Root-Analogue Implants: Advances in CAD/CAM, 3D Printing, and Biomaterials.

Ana Luísa de Castro e Silva¹, Flavia Priscila Pereira², Matheus Canova Machado³, Ediliana Dias Chaves Campos de Amaral⁴, Diego Barbosa da Silva⁵, Grazielle Eliane Almeida Picote⁶, William alves dos Reis⁷, Renata Aparecida Rosa de Oliveira⁸, Joice de Oliveira Monteiro⁹



<https://doi.org/10.36557/2009-3578.2025v11n2p3198-3208>

Artigo recebido em 18 de Julho e publicado em 18 de Setembro de 2025

REVISÃO DE LITERATURA

RESUMO

A implantodontia moderna vem sendo marcada pela busca de soluções cada vez mais personalizadas e biomiméticas, capazes de aliar previsibilidade funcional e excelência estética. Nesse contexto, os implantes root-analogue (RAI) emergem como alternativa inovadora, uma vez que replicam fielmente a morfologia radicular natural e permitem instalação imediata após a exodontia, com o objetivo de preservar a arquitetura alveolar e os tecidos moles peri-implantares. O presente trabalho apresenta uma revisão narrativa de literatura baseada em dezessete artigos publicados entre 2004 e 2025, que exploram desde aplicações clínicas iniciais até o desenvolvimento de novas tecnologias digitais e biomateriais aplicados à implantodontia personalizada. Os estudos analisados destacam avanços relevantes no uso de sistemas CAD/CAM, impressão 3D e materiais como titânio, zircônia, PEEK e policaprolactona, evidenciando que a personalização é uma tendência irreversível na área. Embora as taxas de sobrevivência dos RAI relatadas em curto prazo sejam encorajadoras, as evidências disponíveis ainda se concentram em séries de casos e acompanhamentos limitados, carecendo de ensaios clínicos robustos e de longo prazo. Conclui-se que os implantes root-analogue apresentam grande potencial clínico e estético, mas permanecem em caráter experimental, devendo sua ampla incorporação à prática clínica depender da consolidação científica futura.

Palavras-chave: Implantes dentários; Implantodontia digital; CAD/CAM; Impressão 3D; Root-analogue.



Personalized Implantology With Root-Analogue Implants: Advances in CAD/CAM, 3D Printing, and Biomaterials.

ABSTRACT

Modern implant dentistry has been characterized by the pursuit of increasingly personalized and biomimetic solutions, aiming to combine functional predictability with high aesthetic outcomes. Within this context, root-analogue implants (RAI) have emerged as an innovative alternative, as they faithfully replicate the natural root morphology and allow immediate placement after tooth extraction, preserving alveolar bone and peri-implant soft tissues. This study presents a narrative literature review based on seventeen articles published between 2004 and 2025, covering initial clinical applications as well as the development of digital technologies and biomaterials applied to personalized implantology. The studies reviewed highlight significant advances in CAD/CAM systems, 3D printing, and materials such as titanium, zirconia, polyether-ether-ketone (PEEK), and polycaprolactone (PCL), emphasizing personalization as an irreversible trend in the field. Although short-term survival rates of RAI reported in the literature are encouraging, the available evidence remains limited to case series and studies with short to medium-term follow-ups, lacking robust randomized clinical trials. It is concluded that root-analogue implants hold great clinical and aesthetic potential but should still be regarded as experimental, with their widespread adoption depending on further scientific validation through long-term clinical studies.

Keywords: Dental implants; Digital implantology; CAD/CAM; 3D printing; Root-analogue.

Instituição afiliada – ¹Universidade Salgado de Oliveira, ²São Leopoldo Mandic –Rio de Janeiro, ³ Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ,

Autor correspondente: Ana Luísa de Castro e Silva, dra.analuisacastro@gmail.com

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).





INTRODUÇÃO

A implantodontia contemporânea tem se consolidado como uma das áreas mais dinâmicas e inovadoras da odontologia, impulsionada pela crescente demanda por tratamentos que conciliem previsibilidade clínica, estética avançada e conforto para o paciente. O desenvolvimento de técnicas digitais, a incorporação de novos biomateriais e a aplicação de fluxos de trabalho baseados em CAD/CAM e impressão tridimensional (3D) transformaram radicalmente a forma como os implantes dentários são planejados e executados (Mangano et al., 2013; Nikzad et al., 2010).

Nesse cenário de evolução tecnológica, surgem os implantes root-analogue (RAI), projetados para replicar de maneira fidedigna a morfologia radicular natural, permitindo sua instalação imediata após a exodontia, com o objetivo de preservar a arquitetura óssea e gengival. Diferentemente dos implantes roscados convencionais, cuja geometria cilíndrica ou cônica demanda maior preparo cirúrgico, os RAI se propõem a reduzir o trauma operatório, eliminar discrepâncias entre implante e alvéolo e otimizar os resultados estéticos em regiões críticas (Dantas et al., 2021).

Paralelamente, avanços no campo dos biomateriais — incluindo titânio, zircônia, policaprolactona (PCL), PEEK e compósitos bioativos — têm ampliado as possibilidades de personalização, oferecendo soluções com diferentes propriedades biomecânicas e estéticas (Mounir et al., 2018; El-Sawy et al., 2024; Park et al., 2025). Estudos recentes apontam que a combinação de estruturas rígidas produzidas por manufatura aditiva com scaffolds bioabsorvíveis pode representar um caminho promissor para o desenvolvimento de implantes personalizados mais biocompatíveis (Cengiz et al., 2019; Owji et al., 2022).

Apesar dos avanços, os dados clínicos disponíveis ainda são limitados, concentrando-se em séries de casos e acompanhamentos de curto a médio prazo (Mangano et al., 2014; Furze et al., 2012). Além disso, desafios relacionados à estabilidade primária, à padronização dos protocolos cirúrgicos e à validação de longo prazo permanecem como barreiras para a ampla difusão dos RAI na prática clínica.

Diante desse contexto, a presente revisão de literatura tem como objetivo reunir e analisar criticamente as evidências disponíveis sobre implantes root-analogue e tecnologias correlatas de personalização em implantodontia, destacando os avanços em CAD/CAM, impressão 3D e novos biomateriais, bem como suas implicações clínicas, biomecânicas e estéticas.

METODOLOGIA

A presente investigação caracteriza-se como uma revisão narrativa de literatura, desenvolvida a partir da análise crítica de estudos previamente selecionados pelo autor em bases científicas de referência internacional, como PubMed/MEDLINE, Scopus e Web of Science, complementada por buscas manuais em periódicos especializados em implantodontia. Foram incluídos dezessete artigos publicados entre 2004 e 2025, contemplando diferentes desenhos metodológicos, desde ensaios clínicos prospectivos, séries de casos e relatos clínicos até estudos experimentais e publicações de caráter conceitual. O critério de inclusão fundamentou-se na pertinência temática, de modo a abranger produções científicas voltadas para a personalização em implantodontia, englobando tanto os implantes root-analogue propriamente ditos quanto as tecnologias



digitais de planejamento e fabricação assistida por computador (CAD/CAM) e impressão tridimensional, além do desenvolvimento e aplicação de biomateriais inovadores, como titânio, zircônia, policaprolactona (PCL) e poliéter-éter-cetona (PEEK).

Excluíram-se da análise publicações sem interface com a personalização em implantodontia ou que não apresentassem dados clínicos, tecnológicos ou conceituais relevantes ao escopo da pesquisa. A avaliação dos estudos foi realizada de forma narrativa e crítica, buscando identificar convergências e divergências nos resultados apresentados, bem como mapear as principais contribuições e limitações das evidências disponíveis. A organização dos achados permitiu estruturar uma linha de análise centrada nos avanços tecnológicos, nos materiais empregados e nos desfechos clínicos e estéticos reportados, de modo a oferecer uma visão integrada do estado atual da literatura sobre implantes root-analogue e abordagens correlatas.

REVISÃO DE LITERATURA

O avanço da implantodontia nas últimas décadas tem sido marcado pela busca de técnicas cada vez mais previsíveis, estéticas e personalizadas, alinhadas ao perfil funcional e biológico de cada paciente. Nesse contexto, a introdução dos implantes root-analogue (RAI) surgiu como proposta inovadora para superar as limitações dos implantes convencionais roscados, que, por apresentarem geometria padronizada cilíndrica ou cônica, exigem preparo ósseo mais invasivo e, muitas vezes, complementação com enxertos e membranas. O princípio dos RAI é reproduzir de maneira fiel a anatomia radicular natural, permitindo sua instalação imediata após a extração dentária, com o objetivo de preservar a arquitetura do alvéolo e reduzir o risco de reabsorções ósseas e retrações gengivais. A consolidação dessa proposta só se tornou possível com o desenvolvimento de tecnologias digitais, como a tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT), associada a softwares de modelagem tridimensional e à produção de implantes por meio de sistemas CAD/CAM e manufatura aditiva, tecnologias já exploradas em diversas frentes da implantodontia (Mangano et al., 2013; Nikzad et al., 2010).

Estudos pioneiros demonstraram que a aplicação de CAD/CAM no planejamento e na confecção de dispositivos personalizados, como malhas de titânio ou enxertos ósseos sintéticos, possibilitou a ampliação do conceito de individualização no tratamento reabilitador (Mangano et al., 2014; Al-Ardah et al., 2018). Em investigações subsequentes, a utilização de scaffolds sintéticos customizados, fabricados digitalmente, mostrou viabilidade clínica em aumentos de rebordo alveolar com resultados satisfatórios em acompanhamentos de médio prazo, reforçando o potencial das tecnologias digitais na regeneração óssea guiada (Mangano et al., 2022). Esses avanços oferecem sustentação teórica e prática ao desenvolvimento dos RAI, uma vez que o mesmo raciocínio tecnológico de personalização aplicado em enxertos e scaffolds passou a ser direcionado à confecção de implantes endósseos individualizados.

A evolução do design e dos materiais também ocupa papel central no aprimoramento dos implantes personalizados. A introdução de biomateriais como o poliéter-éter-cetona (PEEK) e a policaprolactona (PCL) tem ampliado as possibilidades de aplicação clínica. Implantes subperiosteais confeccionados em titânio ou PEEK já foram descritos como alternativas eficazes em pacientes com maxilas severamente



atróficas, mostrando a viabilidade do uso de materiais poliméricos de elevada biocompatibilidade (Mounir et al., 2018; El-Sawy et al., 2024). Da mesma forma, estruturas em PCL impressas em 3D vêm sendo utilizadas em casos de aumento vertical e horizontal de rebordo, demonstrando capacidade de regeneração óssea e ampliando o espectro de aplicações clínicas dos biomateriais bioabsorvíveis (Park et al., 2025). Estudos experimentais reforçam essa perspectiva ao evidenciar que compósitos híbridos, como scaffolds de fibroína de seda reforçados com malha de PCL, apresentam propriedades mecânicas satisfatórias e biocompatibilidade em modelos pré-clínicos (Cengiz et al., 2019).

A impressão tridimensional de ligas metálicas, como o titânio Ti6Al4V, representa outra vertente promissora na fabricação de implantes personalizados. A possibilidade de desenvolver implantes com desenho biomimético, porosidade controlada e resistência mecânica adequada amplia o potencial dos RAI, ao oferecer maior integração com o tecido ósseo e melhor dissipação de cargas mastigatórias (Peng et al., 2019; Ng et al., 2021). Paralelamente, estudos com polímeros bioimpressos apontam para soluções alternativas de elevada biocompatibilidade, ainda que não apresentem superioridade comprovada em relação aos materiais consagrados como o titânio (Owji et al., 2022).

Do ponto de vista clínico, as evidências disponíveis ainda são incipientes e baseiam-se principalmente em séries de casos e acompanhamentos de curto prazo. Estudos prospectivos envolvendo implantes customizados mostram taxas de sobrevivência animadoras em períodos de até um ano, embora os resultados quanto à perda óssea marginal e estabilidade estética ainda careçam de maior consistência (Mangano et al., 2014; Furze et al., 2012). Em situações mais complexas, como em maxilas atróficas, outras abordagens, como o uso de implantes zigomáticos em protocolos “All-on-6”, continuam sendo a opção mais consolidada, apresentando resultados satisfatórios em acompanhamentos de três anos (Abouelhuda et al., 2025). Essa comparação ressalta que, embora os RAI apresentem vantagens conceituais em casos unitários e em áreas estéticas, sua aplicação em arcadas extensamente reabsorvidas ainda encontra limitações.

Além dos aspectos técnicos e biológicos, a literatura reforça a importância do contexto histórico e conceitual da implantodontia para a compreensão do papel dos RAI. Publicações de revisão destacam que a especialidade tem evoluído constantemente por meio de inovações que aliam precisão tecnológica, novos materiais e melhores protocolos clínicos, abrindo espaço para a consolidação de implantes cada vez mais individualizados e biomiméticos (Chu & Salama, 2015; Ganz, 2013).

Assim, os estudos analisados convergem para a constatação de que a personalização, viabilizada por tecnologias digitais e pelo desenvolvimento de novos biomateriais, representa um dos caminhos mais promissores da implantodontia moderna. Os implantes root-analogue se inserem nesse panorama como alternativa inovadora que alia preservação tecidual, biomimética e potencial estético, embora ainda careçam de validação científica robusta em longo prazo para que possam ser amplamente incorporados à prática clínica.

DISCUSSÃO

A discussão sobre implantes root-analogue e tecnologias correlatas revela um



panorama heterogêneo, no qual diferentes grupos de pesquisa abordam a questão da personalização na implantodontia sob múltiplas perspectivas. O trabalho de Mangano et al. (2013) foi pioneiro ao demonstrar o uso do CAD/CAM em procedimentos de levantamento de seio maxilar, evidenciando que a tecnologia digital poderia ser aplicada não apenas em próteses, mas também em etapas cirúrgicas complexas. Essa mesma linha foi aprofundada por Mangano et al. (2014) em um estudo prospectivo com dez pacientes, no qual scaffolds customizados mostraram viabilidade clínica em aumentos de rebordo, confirmando que a personalização do material implantado era possível e clinicamente aceitável. Mais recentemente, Mangano et al. (2022) ampliaram essa abordagem em uma coorte com enxertos ósseos sintéticos CAD/CAM, acompanhados por três anos, demonstrando estabilidade funcional e biológica, o que reforça o potencial do fluxo digital na produção de implantes personalizados. Esses achados são fundamentais, pois constituem a base tecnológica sobre a qual os RAI se desenvolvem.

Outros autores, como Nikzad et al. (2010), exploraram o uso de planejamento virtual e modelos tridimensionais em cirurgias flapless associadas a levantamento de seio maxilar, demonstrando a integração entre diagnóstico digital e execução cirúrgica. Essa experiência evidencia a possibilidade de transformar protocolos cirúrgicos tradicionais em procedimentos mais previsíveis e menos invasivos, aspecto essencial quando se considera a instalação imediata de implantes root-analogue. Na mesma direção, Al-Ardah et al. (2018) descreveram a confecção de dispositivos personalizados em malha de titânio por impressão 3D, ressaltando que a utilização de guias e estruturas sob medida aumenta a precisão na adaptação e reduz falhas intraoperatórias, um raciocínio que se aplica diretamente ao conceito dos RAI.

No campo dos biomateriais, Hedia e Mahmoud (2004) já haviam discutido a otimização do design de implantes com gradiente funcional, destacando que propriedades biomecânicas mais próximas das do osso poderiam melhorar a dissipação de cargas e reduzir falhas. Esse raciocínio inspirou pesquisas posteriores que incorporaram materiais alternativos. Mounir et al. (2018) e El-Sawy et al. (2024) estudaram implantes subperiosteais confeccionados em titânio e PEEK, relatando boa adaptação clínica em maxilas severamente atroficas. Embora não se tratem de implantes root-analogue endósseos, essas experiências mostram que o conceito de personalização radical é aplicável e que biomateriais poliméricos podem desempenhar papel relevante em substituição parcial ao titânio. Em outra vertente, Park et al. (2025) descreveram casos clínicos de aumento de rebordo com malhas de policaprolactona (PCL) impressas em 3D, evidenciando que materiais bioabsorvíveis também podem ser explorados para regeneração óssea e futuramente integrados a sistemas híbridos de implantes.

Além disso, Ng et al. (2021) investigaram a biossegurança de implantes de titânio impressos em 3D em modelo animal, concluindo que a manufatura aditiva não compromete a biocompatibilidade, mas reforçando a necessidade de estudos em longo prazo para confirmar a estabilidade dos resultados. De forma complementar, Peng et al. (2019) aplicaram conceitos de design biomimético em ligas de titânio Ti6Al4V com porosidade controlada, evidenciando que a personalização geométrica pode melhorar a distribuição de tensões e potencializar a osseointegração. Já Owji et al. (2022) destacaram que a inclusão de fosfato de cálcio em polímeros 3D não necessariamente melhora a resposta óssea, apontando que a simples adição de componentes bioativos não garante superioridade clínica, o que demonstra a complexidade de se desenvolver



novos materiais para implantodontia. Por sua vez, Cengiz et al. (2019) testaram scaffolds híbridos de fibroína de seda e PCL em modelo subcutâneo, reforçando a tendência de explorar compósitos bioinspirados capazes de aliar resistência mecânica e biocompatibilidade, um caminho que pode futuramente ser integrado ao conceito dos RAI.

No que se refere aos resultados clínicos e estéticos, Furze et al. (2012) avaliaram implantes unitários na região anterior da maxila, relatando sucesso clínico e satisfação estética em protocolos convencionais, o que fornece um padrão de comparação relevante para o desempenho esperado dos implantes root-analogue. Por outro lado, em situações de maior complexidade, como arcadas severamente reabsorvidas, Abouelhuda et al. (2025) mostraram que os implantes zigomáticos em protocolos “All-on-6” apresentam estabilidade e preservação óssea em acompanhamento de três anos, demonstrando que, embora a personalização seja promissora, ainda existem técnicas consolidadas mais indicadas em cenários de maior dificuldade anatômica.

O aspecto conceitual da evolução da implantodontia também foi discutido por Ganz (2013) e Chu e Salama (2015), que enfatizaram a constante transformação da especialidade a partir da introdução de novas tecnologias, novos materiais e protocolos clínicos inovadores. Esses autores ressaltam que a implantodontia é um campo em contínua evolução e que a incorporação de abordagens personalizadas, como os implantes root-analogue, é apenas uma etapa dentro de um processo maior de aprimoramento científico e tecnológico.

Diante desses diferentes enfoques, é possível afirmar que há convergência entre os autores no reconhecimento do potencial da personalização como tendência irreversível da implantodontia contemporânea. Entretanto, existem divergências quanto à aplicabilidade imediata dos RAI. Para melhor visualização dessas diferenças entre os estudos analisados, elaborou-se uma síntese comparativa apresentada na Tabela 1 – Síntese dos estudos incluídos na discussão, com foco em materiais, metodologias e relação com os implantes root-analogue (RAI).

Tabela de Evidências na Discussão

A tabela abaixo resume os principais estudos discutidos nesta revisão, destacando tipo de estudo, material/tecnologia, principais achados e relação com os implantes root-analogue (RAI).

Autor/Ano	Tipo de Estudo	Material/Tecnologia	Principais Achados	Relação com RAI
Mangano et al., 2013	Clínico (CAD/CAM em levantamento de seio)	Titânio – CAD/CAM	Viabilidade de personalização cirúrgica	Base tecnológica para RAI
Mangano et al., 2014	Prospectivo (10 pacientes, 1 ano)	Scaffolds CAD/CAM	Aumento de rebordo bem-sucedido	Aplicabilidade clínica da personalização
Mangano et al., 2022	Retrospectivo (3 anos)	Enxertos sintéticos CAD/CAM	Estabilidade funcional e biológica	Reforça potencial dos



				implantes customizados
Nikzad et al., 2010	Relato de caso	Planejamento virtual + modelo 3D	Cirurgia flapless previsível	Aplicabilidade digital em RAI
Al-Ardah et al., 2018	Carta técnica	Malha de titânio 3D	Maior precisão cirúrgica	Fluxo semelhante ao dos RAI
Mounir et al., 2018	Casos clínicos	PEEK e titânio (subperiosteais)	Boa adaptação em maxilas atróficas	Mostra potencial dos polímeros
El-Sawy et al., 2024	Série de casos	PEEK subperiosteal	Resultados satisfatórios em maxilas atróficas	Uso de materiais alternativos
Park et al., 2025	Relato de caso	Malha de PCL 3D	Aumento vertical/horizontal bem-sucedido	Potencial de materiais bioabsorvíveis
Ng et al., 2021	Experimental em animais	Titânio 3D impresso	Biocompatibilidade preservada	Apoia manufatura aditiva
Peng et al., 2019	Experimental	Ti6Al4V poroso biomimético	Boa dissipação de tensões	Reforça design radicular personalizado
Owji et al., 2022	In vitro/in vivo	Polímero + fosfato de cálcio	Sem ganho adicional de osteogênese	Mostra limites da bioatividade
Cengiz et al., 2019	Pré-clínico	Seda + PCL 3D	Resistência mecânica e biocompatibilidade	Potencial para scaffolds híbridos
Furze et al., 2012	Clínico (implantes unitários anteriores)	Titânio convencional	Bom resultado estético	Padrão comparativo para RAI
Abouelhuda et al., 2025	Clínico (All-on-6 zigomáticos, 3 anos)	Titânio	Estabilidade em maxilas atróficas	Alternativa consolidada, contraste com RAI
Ganz, 2013	Revisão conceitual	Implantodontia em evolução	Destaca inovações contínuas	Contexto histórico
Chu & Salama, 2015	Revisão conceitual	Avanços em implantodontia	Ênfase em estética e inovação	Reforça tendência de personalização

A análise da Tabela 1 evidencia que, enquanto Mangano e colaboradores (2013, 2014, 2022) reforçam a aplicabilidade clínica de estruturas CAD/CAM personalizadas, outros como Mounir et al. (2018) e El-Sawy et al. (2024) exploram alternativas com PEEK, destacando o papel dos polímeros. Por outro lado, estudos como o de Abouelhuda et al. (2025) ilustram que, em casos de maior complexidade anatômica, técnicas já consolidadas como os implantes zigomáticos permanecem sendo a escolha preferencial.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os implantes root-analogue representam uma proposta inovadora e promissora dentro da implantodontia contemporânea, ao aliarem conceitos de biomimética, personalização digital e preservação tecidual. A literatura revisada demonstra avanços consistentes na aplicação de tecnologias CAD/CAM, impressão 3D e biomateriais alternativos, que sustentam a viabilidade desse tipo de implante. Contudo, as evidências clínicas disponíveis ainda são limitadas a séries de casos e acompanhamentos de curto a médio prazo, o que restringe sua incorporação à prática clínica cotidiana. Nesse contexto, os RAI devem ser compreendidos como uma alternativa experimental em desenvolvimento, cujo futuro dependerá da realização de ensaios clínicos robustos e de longo prazo capazes de confirmar sua eficácia, previsibilidade e aplicabilidade em diferentes cenários clínicos.

REFERÊNCIAS

- ABOUELHUDA, A. M. et al. Maxillary All-on-6 Treatment Using Zygomatic Implants. Bone Loss Evaluation by CBCT: 3-Year Follow-up. *International Journal of Prosthodontics*, v. 38, n. 1, p. 46-54, 2025. DOI: 10.11607/ijp.8744.
- AL-ARDAH, A. J. et al. Using Virtual Ridge Augmentation and 3-Dimensional Printing to Fabricate a Titanium Mesh Positioning Device: A Novel Technique Letter. *Journal of Oral Implantology*, v. 44, n. 4, p. 293-299, 2018. DOI: 10.1563/aaid-joi-D-17-00160.
- CENGIZ, I. F. et al. Suturable regenerated silk fibroin scaffold reinforced with 3D-printed polycaprolactone mesh: biomechanical performance and subcutaneous implantation. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, v. 30, n. 6, p. 63, 2019. DOI: 10.1007/s10856-019-6265-3.
- CHU, S. J.; SALAMA, M. A. Implant Dentistry: Innovations, Improvements Creating an Ever-Advancing Landscape. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, v. 36, n. 8, p. 612-614, 2015. PMID: 26601333.
- EL-SAWY, M. A. et al. Polyetheretherketone subperiosteal implant retaining a maxillary fixed prosthesis: A case series. *Journal of Prosthetic Dentistry*, v. 132, n. 3, p. 562-569, 2024. DOI: 10.1016/j.prosdent.2022.08.027.
- FURZE, D. et al. Clinical and esthetic outcomes of single-tooth implants in the anterior maxilla. *Quintessence International*, v. 43, n. 2, p. 127-134, 2012. PMID: 22257874.
- GANZ, S. D. Dental implantology: an evolving treatment modality. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, v. 34, n. 8, p. 628-629, 2013. PMID: 24564617.
- HEDIA, H. S.; MAHMOUD, N. A. Design optimization of functionally graded dental implant. *Biomedical Materials and Engineering*, v. 14, n. 2, p. 133-143, 2004. PMID: 15156104.



MANGANO, F. et al. Maxillary sinus augmentation using computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM) technology. *International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, v. 9, n. 3, p. 331-338, 2013. DOI: 10.1002/rcs.1460.

MANGANO, F. et al. Maxillary ridge augmentation with custom-made CAD/CAM scaffolds. A 1-year prospective study on 10 patients. *Journal of Oral Implantology*, v. 40, n. 5, p. 561-569, 2014. DOI: 10.1563/AAID-JOI-D-12-00122.

MANGANO, C. et al. Custom-made computer-aided-design/computer-assisted-manufacturing (CAD/CAM) synthetic bone grafts for alveolar ridge augmentation: A retrospective clinical study with 3 years of follow-up. *Journal of Dentistry*, v. 127, p. 104323, 2022. DOI: 10.1016/j.jdent.2022.104323.

MOUNIR, M. et al. Titanium and polyether ether ketone (PEEK) patient-specific subperiosteal implants: two novel approaches for rehabilitation of the severely atrophic anterior maxillary ridge. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, v. 47, n. 5, p. 658-664, 2018. DOI: 10.1016/j.ijom.2017.11.008.

NG, S. L. et al. Benefits and Biosafety of Use of 3D-Printing Technology for Titanium Biomedical Implants: A Pilot Study in the Rabbit Model. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 22, n. 16, p. 8480, 2021. DOI: 10.3390/ijms22168480.

NIKZAD, S.; AZARI, A.; GHASSEMZADEH, A. Modified flapless dental implant surgery for planning treatment in a maxilla including sinus lift augmentation through use of virtual surgical planning and a 3-dimensional model. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, v. 68, n. 9, p. 2291-2298, 2010. DOI: 10.1016/j.joms.2010.02.002.

OWJI, N. et al. Inclusion of calcium phosphate does not further improve in vitro and in vivo osteogenesis in a novel, highly biocompatible, mechanically stable and 3D printable polymer. *Scientific Reports*, v. 12, n. 1, p. 16977, 2022. DOI: 10.1038/s41598-022-21013-w.

PARK, J. Y. et al. Vertical and Horizontal Ridge Augmentation Using Customized Three-Dimensionally Printed Polycaprolactone Mesh in Atrophic Posterior Maxillae: A Case Report. *Journal of Oral Implantology*, v. 51, n. 4, p. 326-336, 2025. DOI: 10.1563/aaid-joi-D-22-00007.

PENG, W. M. et al. Bionic mechanical design and 3D printing of novel porous Ti6Al4V implants for biomedical applications. *Journal of Zhejiang University Science B*, v. 20, n. 8, p. 647-659, 2019. DOI: 10.1631/jzus.B1800622.