

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

Isabella de Almeida Francisquini

**Influência da Osseodensificação e da Macrogeometria dos Implantes na
Estabilidade Primária e na Microarquitetura Óssea Peri-implantar: Estudo
Experimental**

Juiz de Fora

2026

Isabella de Almeida Francisquini

Influência da Osseodensificação e da Macrogeometria dos Implantes na Estabilidade Primária e na Microarquitetura Óssea Peri-implantar: Estudo Experimental

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Odontologia, pelo Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Juiz de Fora.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Salles Sotto Maior
Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Davi Rabelo

Juiz de Fora
2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Francisquini, Isabella de Almeida.

Influência da Osseodensificação e da Macrogeometria dos
Implantes na Estabilidade Primária e na Microarquitetura Óssea
Peri-implantar: Estudo Experimental / Isabella de Almeida
Francisquini. -- 202.

51 f. : il.

Orientador: Buno Salles Sotto Maior

Coorientador: Gustavo Davi Rabelo

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Juiz de Fora,
Faculdade de Odontologia. Programa de Pós-Graduação em
Odontologia, 202.

1. Implantes dentários; . 2. Osseodensificação;. 3. Estabilidade
primária; . 4. Macrogeometria do implante; . 5. Microarquitetura
óssea.. I. Sotto Maior, Buno Salles, orient. II. Rabelo, Gustavo Davi,
coorient. III. Título.

Isabella de Almeida Francisquini

Influência da Osseodensificação e da Macrogeometria dos Implantes na Estabilidade Primária e na Microarquitetura Óssea Peri-implantar: Estudo Experimental

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Odontologia. Área de concentração: Clínica Odontológica.

Aprovada em 16 de setembro de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Bruno Salles Sotto Maior - Orientador e Presidente da Banca
Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

Prof. Dr. Gustavo Davi Rabelo - Coorientador e Membro titular externo
Universidade Federal da Santa Catarina - UFSC

Prof.^a Dr.^a Neuza Maria Souza Picorelli Assis - Membro titular interno
Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

Prof.^a Dr.^a Karina Lopes Devito - Membro titular interno
Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

Prof. Dr. Daniel Amaral Alves Marlière - Membro titular interno
Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

Prof.ª Dr.ª Martinna de Mendonça e Bertolini - Membro titular externo

University of Pittsburgh

Prof. Dr. Daniel Augusto de Faria Almeida - Membro titular externo

Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL

Juiz de Fora, 25/08/2026.



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Salles Sotto Maior, Professor(a)**, em 16/09/2026, às 19:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Amaral Alves Marliére, Professor(a)**, em 16/09/2026, às 20:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Davi Rabelo, Usuário Externo**, em 17/09/2026, às 09:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Karina Lopes Devito, Professor(a)**, em 17/09/2026, às 10:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Augusto de Faria Almeida, Usuário Externo**, em 17/09/2026, às 11:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Neuza Maria Souza Picorelli Assis, Usuário Externo**, em 17/09/2026, às 11:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Martinna de Mendonça e Bertolini, Usuário Externo**, em 18/09/2026, às 12:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **3171163** e o código CRC **40724B64**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, por guiar meus passos, iluminar meu caminho e me conceder força, sabedoria e perseverança para superar cada desafio ao longo desta jornada. A Ele, toda honra por mais este sonho realizado.

Aos meus pais, Angilene e Antônio, por serem meu maior exemplo de amor, dedicação e honestidade. Obrigada por sempre acreditarem em mim, por renunciarem aos próprios sonhos em favor dos meus e por nunca medirem esforços para que eu pudesse alcançar meus objetivos. Esta conquista também é de vocês.

Ao Rodolfo, por caminhar ao meu lado e tornar parte desta jornada mais leve.

A todos os meus familiares, pelo carinho e torcida constante.

Aos meus amigos, pelos momentos compartilhados, pelas palavras de incentivo, pela compreensão durante as ausências e por tornarem essa caminhada mais feliz.

À professora Dra. Neuza Picorelli, minha grande inspiração, pelos ensinamentos tão valiosos, pela amizade, pelo exemplo profissional e humano e por toda a contribuição ao longo da minha formação. Ao professor Dr. Bruno Salles Sotto Maior, pela orientação segura, pelos ensinamentos, pela confiança depositada em mim e pela compreensão em todos os momentos desta pesquisa. Ao professor Dr. Gustavo Davi Rabelo, pelo suporte, mesmo à distância, pela disponibilidade, pelos ensinamentos e pela contribuição fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Ricardo e Ana Paula do Laboratório de Instrumentação Nuclear – COPPE/UFRJ por toda ajuda na realização das aquisições e análises micro tomográficas.

Aos professores que gentilmente aceitaram o convite para compor a banca de defesa desta tese, pela disponibilidade, pelas valiosas contribuições e pelo tempo dedicado à avaliação deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), em nome do professor Dr. Bruno Salles Sotto Maior.

À Faculdade de Odontologia da UFJF, em nome do diretor professor Dr. Márcio da Silva Campos.

Às funcionárias da secretaria do Programa de Pós-Graduação em Odontologia FO/UFJF Letícia e Valéria, por toda a atenção, disponibilidade e auxílio ao longo desta trajetória.

Ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e ao Departamento de Odontologia da mesma universidade, em nome dos professores Dr. Gustavo Davi Rabelo e Dr. Cesar Augusto Magalhães Benfatti, ainda, da mestranda Lilian Bezerra, pela recepção no Núcleo Integrado de Pesquisa em Odontologia (NIPO) e no Laboratório de Patologia Bucal, onde foram realizados parte dos experimentos desta pesquisa.

Aos meus alunos, que diariamente renovam minha paixão pela docência. Obrigada por cada troca de conhecimento, por cada desafio, pela confiança e pelo entusiasmo que me inspiram a buscar constante crescimento profissional e humano.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha formação acadêmica, profissional e pessoal e que, de alguma forma, fizeram parte desta caminhada.

O meu mais sincero muito obrigada!

*"Suba o primeiro degrau com fé.
Não é necessário que você
veja toda a escada.
Apenas dê o primeiro passo."*

Martin Luther King

RESUMO

A estabilidade primária é um fator crucial para o sucesso da osseointegração, sendo influenciada pela densidade óssea, técnica de fresagem e macrogeometria do implante. Em ossos de baixa densidade, a técnica de osseodensificação se mostra como alternativa para otimizar o travamento mecânico inicial, por meio da condensação lateral e compactação apical do osso. Este estudo teve como objetivo avaliar a influência da macrogeometria de implantes (Epikut - E *versus* Strong SW – SW, SIN Sistemas de Implantes), associada à técnica de osseodensificação, na estabilidade primária e na microarquitetura óssea peri-implantar. Este estudo experimental foi desenvolvido com a instalação de 40 implantes em 10 tíbias suínas, na condição *ex vivo*, em osso segmentado na região epifisária. As perfurações foram realizadas utilizando brocas Densah® na técnica de osseodensificação, e em seguida, foram instalados 20 implantes de cada tipo, de forma organizada, garantindo a instalação das duas macrogeometrias em ambas as porções superior e inferior do platô da tíbia, de forma proporcional. Na sequência, a estabilidade foi aferida por torque de inserção e análise de frequência de ressonância (ISQ), por operador único calibrado. Posteriormente, as porções ósseas contendo os implantes foram coletadas com trefina, e acondicionadas em álcool 70% para análise microtomográfica (voxel isotrópico de 13 µm). Ainda, fragmentos ósseos longe das regiões de implantes foram coletados para compor o grupo controle. Após a análise microarquitetural, 3 amostras de cada grupo foram escolhidas aleatoriamente para serem incluídas em metilmetacrilato, previamente coradas com *Xylenol Orange*, para análise em microscopia de fluorescência. Os resultados demonstraram que não houve diferença estatisticamente significativa entre as macrogeometrias para o torque de inserção e ISQ. A análise por microtomografia revelou que, associada a osseodensificação, a espessura trabecular no grupo Epikut foi maior e o grupo Strong SW, apresentou um menor número de trabéculas e maior separação trabecular, ambos em relação ao controle. Não houve diferença entre as duas macrogeometrias. Observou-se ainda que o torque digital se correlacionou positivamente com a fração de volume ósseo e com a espessura trabecular. A morfologia tecidual peri-implantar evidenciou áreas de osso mais condensado e padrões compatíveis com

compactação e reorganização trabecular, corroborando os achados quantitativos obtidos por microtomografia computadorizada. Também foram identificadas regiões correspondentes à zona epifisária de ossificação endocondral, o que apontou para exclusão de amostras da análise estatística, devido a interferência de cartilagem no volume de interesse da análise microarquitetural peri-implantar. Concluiu-se que a macrogeometria dos implantes, quando associada à técnica de osseodensificação, não influenciou significativamente a estabilidade primária nas condições experimentais avaliadas. Por outro lado, a osseodensificação promoveu alterações na microarquitetura óssea peri-implantar compatíveis com compactação e reorganização trabecular, o que pode favorecer a performance biomecânica para a estabilidade inicial dos implantes. Esses achados sugerem que as modificações promovidas pela técnica de preparo do leito cirúrgico exercem maior influência sobre o comportamento biomecânico inicial do que as diferenças de macrogeometria entre os implantes avaliados.

Palavras-chave: Implantes dentários; Osseodensificação; Estabilidade primária; Macrogeometria do implante; Microarquitetura óssea; Microtomografia computadorizada.

ABSTRACT

Primary stability is a crucial factor for successful osseointegration and is influenced by bone density, drilling protocol, and implant macrogeometry. In low-density bone, osseodensification has emerged as an alternative technique to optimize initial mechanical stability by promoting lateral bone condensation and apical compaction. This experimental study aimed to evaluate the influence of implant macrogeometry (Epikut – E versus Strong SW – SW, SIN Implant System), associated with the osseodensification technique, on primary stability and peri-implant bone microarchitecture. Forty implants were placed in ten porcine tibiae under ex vivo conditions using the epiphyseal region. Osteotomies were prepared using Densah® burs according to the osseodensification protocol. Subsequently, twenty implants of each macrogeometry were inserted in a standardized and balanced distribution between the superior and inferior portions of the tibial plateau. Primary stability was assessed by insertion torque and resonance frequency analysis (implant stability quotient, ISQ) by a single calibrated operator. Bone cores containing the implants were then harvested using a trephine bur and stored in 70% ethanol for micro-computed tomography (micro-CT) analysis (13- μ m isotropic voxel size). Additional core bone samples collected away from the implant sites were used as the control group. After the microarchitectural analysis, three specimens from each group were randomly selected, embedded in methyl methacrylate, previously labeled with Xylenol Orange, and evaluated by fluorescence microscopy. The results demonstrated no statistically significant differences between implant macrogeometries regarding insertion torque or ISQ values. Micro-CT analysis revealed that, when associated with osseodensification, the Epikut group exhibited greater trabecular thickness, whereas the Strong SW group showed a lower trabecular number and greater trabecular separation compared with the control group. No significant differences were observed between the two implant macrogeometries. Digital insertion torque showed a positive correlation with bone volume fraction and trabecular thickness. Qualitative peri-implant tissue analysis demonstrated areas of increased bone condensation and morphological patterns consistent with trabecular compaction and reorganization, corroborating the quantitative findings obtained by micro-CT. Regions corresponding to the epiphyseal endochondral ossification zone were also identified, leading to the exclusion of these specimens

from the statistical analysis because the cartilage areas would interfere with the peri-implant volume of interest used for microarchitectural evaluation. It was concluded that implant macrogeometry, when associated with the osseodensification technique, did not significantly influence primary stability under the experimental conditions evaluated. Conversely, osseodensification promoted changes in the peri-implant bone microarchitecture consistent with trabecular compaction and reorganization, providing a biomechanically more favorable environment for initial implant stability. These findings suggest that the modifications induced by the osteotomy preparation technique exert an influence on the initial biomechanical behavior than the differences in implant macrogeometry evaluated in this study.

Keywords: Dental implants; Osseodensification; Primary stability; Implant macrogeometry; Bone microarchitecture; Micro-computed tomography.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Macrogeometrias dos implantes.	18
Figura 2: Esquema de preparo dos leitos cirúrgicos	19
Figura 3: Aferição da estabilidade primária	20
Figura 4: Aparelho de microtomografia de bancada da marca Bruker High Energy SkyScan 1273 (Bruker – Kontich – Bélgica).....	21
Figura 5: Definição do volume de interesse.	23
Figura 6: Binarização das imagens.	24
Figura 7: Confeção dos blocos de MMA.....	25
Figura 8: Processo de corte e montagem das lâminas histológicas.....	26
Figura 9: Fotomicrografia da interface osso-implante analisada em microscopia de fluorescência	27
Figura 10: Fluxograma experimental	28
Figura 11: Regiões hipodensas	30
Figura 12: Reconstrução tridimensional	31
Figura 13: Fotomicrografia da interface osso-implante analisada em microscopia de fluorescência.	33
Figura 14: Fotomicrografia da interface osso-implante, próximo a área de cartilagem em microscopia de fluorescência.....	34
Figura 15: Matriz de correlação de variáveis da estabilidade primária com os dados da análise de microarquitetura óssea.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados de Média $\pm$ Desvio Padrão para as variáveis de toque de inserção e análise de frequência de ressonância (ISQ). 29

Tabela 2: Comparação dos parâmetros da microarquitetura óssea obtidos por microtomografia computadorizada nos grupos Controle (C), Epikut (E) e Strong SW (SW). 32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BV/TV	Fração de volume ósseo (<i>do inglês Bone Volume/Total Volume</i>)
BS/BV	Superfície óssea relativa (<i>do inglês Bone Surface/Bone Volume</i>)
C	Grupo Controle
Conn.Dn	Densidade de conectividade (<i>do inglês Connectivity Density</i>)
CTAn	<i>CT Analyser</i> – Software de análise microtomográfica.
DP	Desvio padrão
E	Grupo Epikut
FD	Dimensão fractal (<i>do inglês Fractal Dimension</i>)
ISQ Quotient)	Quociente de estabilidade do implante (<i>do inglês Implant Stability</i>
MMA	Metilmetacrilato
Ncm	Newton-centímetro
NRecon	<i>NRecon Reconstruction Software</i>
SMI	Índice de modelo estrutural (<i>do inglês Structure Model Index</i>)
SW	Grupo Strong SW
Tb.N	Número de trabéculas (<i>do inglês Trabecular Number</i>)
Tb.Sp	Separação trabecular (<i>do inglês Trabecular Separation</i>)
Tb.Th	Espessura trabecular (<i>do inglês Trabecular Thickness</i>)
μCT Tomography)	Microtomografia computadorizada (<i>do inglês Micro-Computed</i>
VOI	Volume de interesse (<i>do inglês Volume of Interest</i>)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	17
3 MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1 Delineamento experimental	18
3.2 Preparo dos espécimes	18
3.3 Preparo do leito cirúrgico e instalação dos implantes	19
3.4 Aquisição, reconstrução e processamento das imagens de microtomografia computadorizada.....	21
3.5 Avaliação geral qualitativa e critérios de avaliação	22
3.6 Definição do volume de interesse	24
3.7 Binarização	24
3.8 Análise histológica.....	27
3.9 Análises estatísticas	27
4 RESULTADOS.....	29
4.1 Estabilidade primária.....	29
4.2 Morfologia tecidual do osso e tecidos peri-implantares.....	32
4.3 Microarquitetura óssea.....	33
5 DISCUSSÃO.....	39
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46

1 INTRODUÇÃO

O uso de implantes dentários osseointegrados é uma alternativa para a reabilitação de pacientes edêntulos totais ou parciais (Gehrke, Neto e Mardegan, 2013). A estabilidade do implante é um fator crucial para o sucesso, sendo classificada como: primária (mecânica), atrito inicial entre o tecido ósseo e implante alcançada no ato cirúrgico, e secundária (biológica), contato entre osso e implante proveniente da regeneração tecidual e remodelação óssea que caracterizam a osseointegração. A estabilidade primária é fundamental para o sucesso da osseointegração e a micro movimentação do implante deve ser limitada abaixo de 150 μm (Blanco *et al.*, 2011; Slete, Olin e Prasad, 2018). A estabilidade primária é influenciada por diversos fatores como quantidade e densidade ósseas do leito receptor, técnica de fresagem e macro e micro geometria do implante (Bahat e Sullivan, 2010; Cohen *et al.*, 2016; Huwais e Meyer, 2017).

A classificação de densidade óssea (D1-D4) é baseada em aspectos macroscópicos da região cortical e trabecular, sendo a D1 a mais robusta e mineralizada e a D4, a de menor densidade (Misch, 2008). Várias técnicas cirúrgicas são utilizadas para aumentar a estabilidade primária em ossos de baixa densidade, tais como osseodensificação, ancoragem bicortical, uso de osteótomos para compactação óssea e sub fresagem (Blanco *et al.*, 2011; Moon *et al.*, 2010)

Além da qualidade e quantidade óssea disponíveis, as características macroscópicas dos implantes desempenham papel fundamental na obtenção da estabilidade primária (Bahat e Sullivan, 2010; Sennerby e Meredith, 1998). A macro geometria corresponde ao desenho externo do implante, incluindo formato do corpo, conicidade, passo, profundidade e perfil das roscas. Essas características determinam a forma como as cargas mastigatórias são distribuídas ao osso e influenciam diretamente na estabilidade primária obtida no momento da instalação. A macro geometria dos implantes pode aumentar a área de contato com o osso, favorecer a compactação óssea lateral durante a inserção e elevar os valores de torque de inserção especialmente em regiões de

baixa densidade óssea (Cahyaningtyas *et al.*, 2023; Heimes *et al.*, 2023; Huang, Huang e Ding, 2023).

A técnica convencional de fresagem consiste no uso de fresas helicoidais com diâmetros progressivos girando em sentido horário sob constante irrigação, que cortam e removem o osso em forma de lascas (Tretto *et al.*, 2018). Um novo método de fresagem foi sugerido a fim de se melhorar a estabilidade primária dos implantes instalados em regiões de baixa densidade óssea (Lahens *et al.*, 2019). A osseodensificação, técnica desenvolvida por Salah Huwais em 2013, é fundamentada no uso de fresas especialmente desenhadas para aumentar a densidade óssea por meio da condensação lateral do osso das paredes do leito cirúrgico e compactação apical (Farronato *et al.*, 2020; Huwais e Meyer, 2017; Lahens *et al.*, 2016; Pai *et al.*, 2018; Trisi *et al.*, 2016). A literatura científica acerca da osseodensificação mostra que esta técnica apresenta excelentes resultados tanto no aumento do contato osso-implante quanto no aumento da estabilidade primária em ossos de baixa densidade (Gaikwad, Joshi e Nadgere, 2022).

Com o objetivo de otimizar o desempenho biomecânico dos implantes, diferentes modificações macro geométricas têm sido propostas, destacando-se o aumento da conicidade, o desenvolvimento de roscas mais profundas e agressivas e passos de rosca maiores. Essas alterações podem favorecer a compactação lateral do tecido ósseo durante a inserção, aumentando o torque de inserção e a estabilidade inicial do implante (Barikani *et al.*, 2013; Heimes *et al.*, 2023; Huang, Huang e Ding, 2023). Entretanto, embora a influência da macro geometria sobre a estabilidade primária esteja bem documentada, permanece incerto se essas vantagens são mantidas quando técnicas de preservação e compactação óssea, como a osseodensificação, são empregadas no preparo do leito cirúrgico.

Evidências recentes obtidas em modelo experimental *ex vivo* demonstraram que a osseodensificação é capaz de promover modificações na microarquitetura óssea peri-implantar, caracterizadas principalmente por compactação e redistribuição do tecido ósseo durante o preparo da osteotomia. Embora esses achados reforcem o potencial da técnica em modificar a reorganização estrutural do tecido ósseo, o estudo não avaliou a influência de diferentes macrogeometrias de implantes sobre essas alterações. Assim,

permanece incerto se os benefícios biomecânicos proporcionados pela osseodensificação são suficientes para minimizar a influência do desenho macro geométrico do implante na obtenção da estabilidade primária. Nesse contexto, torna-se relevante investigar a interação entre a macrogeometria e a técnica cirúrgica de osseodensificação, buscando compreender seus efeitos sobre a estabilidade primária e a microarquitetura óssea peri-implantar.

A morfologia e microarquitetura óssea, tanto trabecular quanto cortical, podem ser avaliadas por meio de microtomografia computadorizada (μ CT) (Bouxsein *et al.*, 2010). A μ CT é utilizada para avaliar características morfométricas em três dimensões, como alternativa à análise histológica convencional bidimensional. Seu uso permite uma análise mais representativa, uma vez que a preparação das amostras para estudo histológico é destrutiva, de alto custo e limitado a um ou dois cortes (Irie *et al.*, 2018; Vandeweghe *et al.*, 2013). A microarquitetura analisada em volume ósseo representativo avaliará locais distintos e não apenas nas poucas seções fornecidas nos métodos histológicos (Irie *et al.*, 2018).

Com base em metodologias que acessem a microarquitetura óssea, juntamente com outros parâmetros, faz-se necessário realizar estudos que envolvam estes métodos para avaliar as estruturas e condições periimplantares para se entender melhor os processos que ocorrem nestes procedimentos. Neste sentido, é importante aprimorar o conhecimento das diversas estratégias para melhorar a densidade óssea que visam a obtenção da adequada estabilidade primária do implante. Entretanto, até o presente momento, existem lacunas na literatura de estudos que avaliem, por meio de μ CT, as alterações estruturais e volumétricas ósseas em decorrência da técnica de osseodensificação e sua associação com instalação de implantes com diferentes macrogeometrias.

2 OBJETIVOS

Objetivo geral:

Avaliar a influência da macrogeometria de implantes, associada à técnica de osseodensificação, na estrutura óssea periimplantar e na biomecânica de sítios ósseos de baixa densidade.

Objetivos específicos:

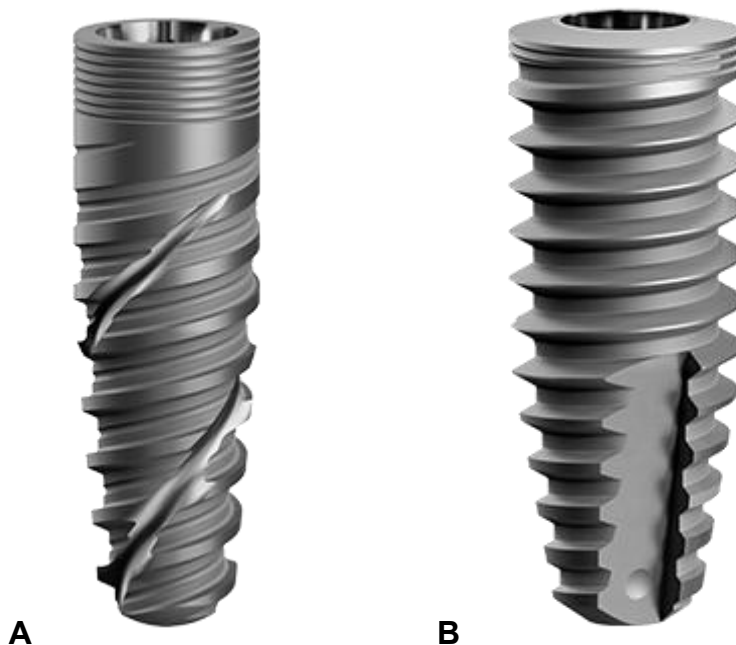
- Comparar os valores de estabilidade primária, determinados pelo torque de inserção e pelo quociente de estabilidade, nas duas condições experimentais:
 - Osseodensificação seguida da instalação de implante Epikut – E;
 - Osseodensificação seguida da instalação de implante Strong SW – SW.
- Avaliar a microarquitetura trabecular em sítios ósseos de baixa densidade, considerando as duas condições experimentais mencionadas e o grupo controle (grupo C) de osso nativo;
- Analisar qualitativamente as alterações morfológicas do tecido ósseo periimplantar decorrentes da técnica de osseodensificação associada à instalação de implantes com diferentes macrogeometrias (grupos E e SW).
- Investigar possíveis correlações entre os achados de microarquitetura óssea e os valores de estabilidade primária nas condições avaliadas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Delineamento experimental

Foram utilizados 40 implantes *cone morse* com tratamento de superfície por condicionamento ácido duplo e com as mesmas dimensões (4,5 x 13 mm), sendo 20 implantes com macrogeometria híbrida, Grupo SW, corpo cilíndrico e ápice cônico com rosca trapezoidal (Strong SW – S.I.N, Sistema de Implantes Nacionais, São Paulo, Brasil) (Figura 1A) e 20 implantes com corpo cônico, Grupo E, com roscas de suporte duplas invertidas e alto poder de corte (Epikut - S.I.N, Sistema de Implantes Nacionais, São Paulo, Brasil) (Figura 1B). Todos os implantes foram instalados em tíbias suínas de animais esqueleticamente maduros, coletadas no dia do abate, instalados com a mesma técnica de fresagem, osseodensificação, utilizando brocas Densah® (Versah, LLC, Jackson, MI).

Figura 1: Macrogeometrias dos implantes.



Legenda: Macrogeometrias dos implantes Epikut (A) e Strong SW (B). Fonte: SIN Sistema de Implantes.

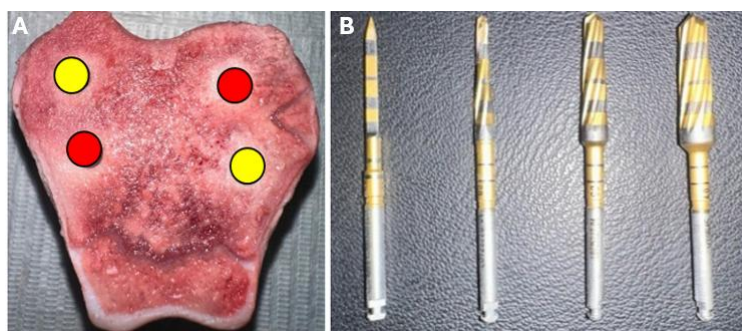
3.2 Preparo dos espécimes

Os espécimes utilizados foram tíbias de animal suíno que após a remoção de tecidos moles, foram seccionadas transversalmente removendo-se aproximadamente 20 mm da superfície articular e osso subcondral, expondo a porção medular do platô da tíbia. Os ossos foram mantidos sob refrigeração a -18°C e preservados até o uso. Cada espécime mediu cerca de 100 mm x 200 mm e nestes blocos ósseos foram realizadas todas as condições de estudo.

3.3 Preparo do leito cirúrgico e instalação dos implantes

Toda a sequência de osteotomia foi realizada com o uso de um contra-ângulo para implantes com redução de 20:1 (Driller – São Paulo – Brasil), sob irrigação externa e constante (solução salina a 0,9%, em temperatura ambiente, com fluxo de 100 mL / min), acoplada a um motor elétrico com rotação, irrigação e torque controlados eletronicamente (Driller BLM 600 Plus – São Paulo – Brasil). Todas as perfurações foram realizadas pelo mesmo operador, com experiência prévia em instalação de implantes dentais. O segmento ósseo foi adaptado a um dispositivo que o manteve imóvel durante a perfuração, a fim de evitar micromovimentos indesejáveis. As osteotomias foram realizadas seguindo as orientações para a técnica de osseodensificação do fabricante Densah Versah Burs (Jackson – Mississippi – USA) sendo iniciadas pela fresa lança/ piloto de 1,7mm, seguidas pelas fresas VT 1525 (2,0) VT 2535 (3,0) VT 3545* (4,0) (Figura 2 A-B). Imediatamente após a realização das perfurações, os implantes foram instalados a 2 mm infraósseos, com auxílio de contra-ângulo e chave manual.

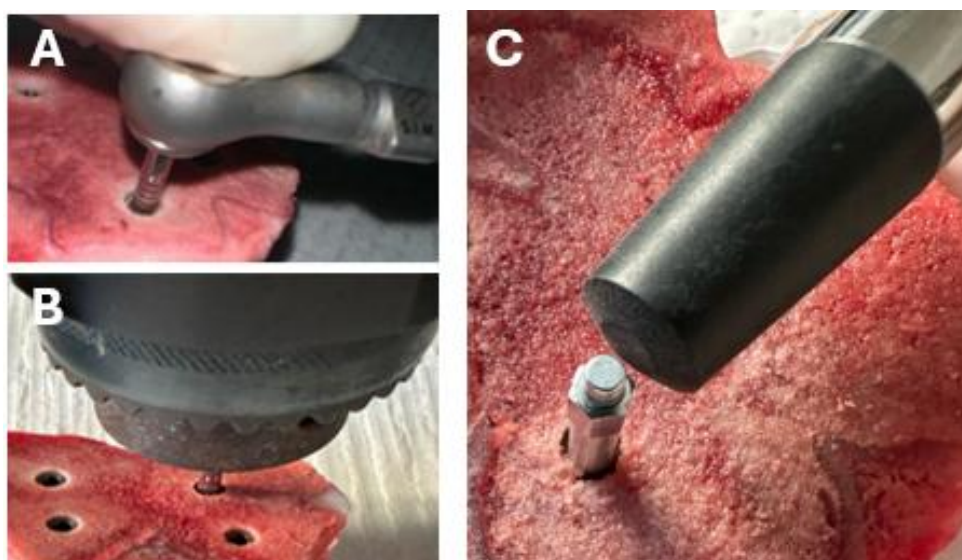
Figura 2: Esquema de preparo dos leitos cirúrgicos



Legenda: (A) Amostra óssea com as marcações dos locais das osteotomias e instalação dos respectivos implantes, Strong SW (círculo amarelo) e Epikut (círculo vermelho). (B) Kit de fresas utilizado no preparo (VERSAH BURS, Jackson - Mississipi - USA). Fonte: Autoria própria.

Foi aferido o torque de inserção (N.cm) de cada implante por meio do uso de torquímetro manual (kit Epikut, SIN - Sistema de Implantes, São Paulo – Brasil) (Figura 3 A), torquímetro digital de precisão (INSTRUTHERM TQ-680 – São Paulo – Brasil) (Figura 3 B) e o quociente de estabilidade primária, utilizando o componente Smartpeg conectado ao implante e o equipamento Osstell® (Osstell – Gotemburgo – Suécia) (Figura 3 C). Para a determinação dos valores do quociente de estabilidade primária foi obtida uma média aritmética dos valores referentes às faces do implante (anterior, posterior, medial e lateral).

Figura 3: Aferição da estabilidade primária



Legenda: (A) Medição do torque com torquímetro manual (Kit Epikut – SIN – Sistema de Implantes, São Paulo- Brasil). (B) Medição do torque com torquímetro digital. (C) Medição do Índice de frequência de ressonância – Osstell (Osstell – Gotemburgo – Suécia). Fonte: Autoria própria.

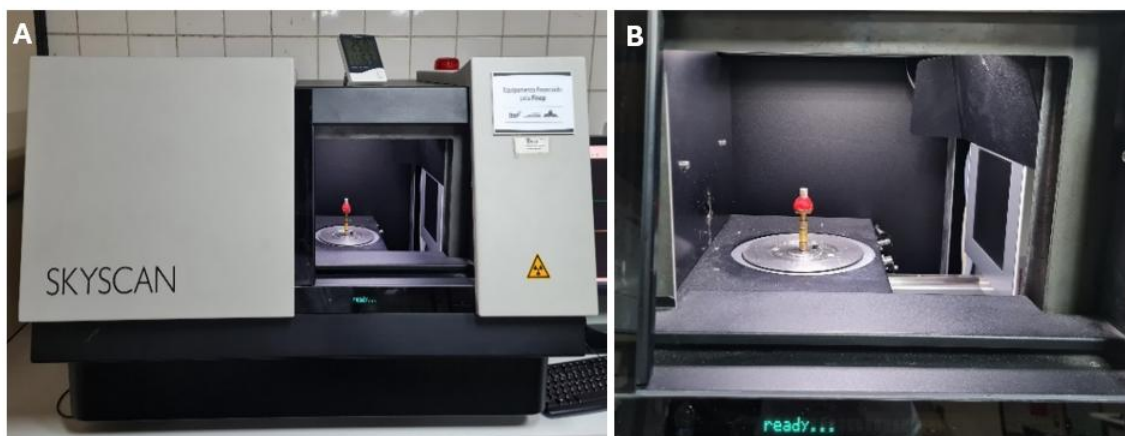
Para cada grupo foram obtidos vinte cilindros ósseos contendo o implante instalado utilizando uma trefina de 10 mm de diâmetro (DSP Biomedical, São Paulo, Brasil) e dez cilindros apenas do tecido ósseo que foi destinado ao grupo controle (n = 10). Todos os espécimes foram imediatamente acondicionados individualmente em recipientes de vidro âmbar hermeticamente vedados, contendo álcool 70%, devidamente identificados e armazenados até a realização

das análises. Inicialmente, os fragmentos foram submetidos à microtomografia computadorizada (μ CT) para caracterização da microarquitetura óssea. Posteriormente, as amostras permaneceram conservadas nas mesmas condições até o processamento para as análises qualitativas.

3.4 Aquisição, reconstrução e processamento das imagens de microtomografia computadorizada

A técnica de microtomografia foi realizada em microtomógrafo de bancada do tipo Bruker High Energy SkyScan 1273 (Bruker, Kontich, Bélgica), com o objetivo de avaliar a microarquitetura óssea peri-implantar após a instalação dos implantes (Figura 4 A-B). Todas as etapas de aquisição e processamento das imagens foram realizadas por um único operador previamente treinado, visando à padronização metodológica. Foram utilizados os seguintes parâmetros de aquisição: tensão de aceleração de 50 kV, corrente de 160 μ A, tamanho de voxel de 13,0 μ m, filtro de alumínio de 1,0 mm, matriz do detector de 2240 $\times$ 2240 pixels, passo de rotação de 0,5°, rotação total de 360° e tempo médio de escaneamento de 48 minutos por amostra.

Figura 4: Aparelho de microtomografia de bancada da marca Bruker High Energy SkyScan 1273 (Bruker – Kontich – Bélgica).



Legenda: A) Visão panorâmica do aparelho de microtomografia de bancada. B) Visão aproximada da parte interna do aparelho mostrando a amostra posicionada no dispositivo (holder), fixada com cera utilidade. Fonte: Tese de doutorado de Breno Fortes Bittar (pág. 35).

Após a aquisição, as imagens foram reconstruídas pelo software NRecon (1.7.0.4) e as análises realizadas pelo CT Analyser (1.17.7.2). Foram utilizadas

as seguintes configurações: suavização: 2; artefato de anel: 4; correção de endurecimento do feixe: 75%; intervalo de coeficiente de atenuação: 0.00 – 0.16.

As análises microtomográficas foram realizadas com o objetivo de caracterizar quantitativamente a microarquitetura óssea peri-implantar e identificar possíveis alterações estruturais associadas à técnica de osseodensificação e aos diferentes desenhos de implantes avaliados. Para isso, foram mensurados parâmetros tridimensionais relacionados à quantidade, morfologia, conectividade e organização espacial do osso trabecular, incluindo a fração de volume ósseo (BV/TV), superfície óssea relativa a área avaliada (BS/BV), espessura trabecular (Tb.Th), número de trabéculas (Tb.N), separação trabecular – espaço entre as trabéculas (Tb.Sp), índice de modelo estrutural (SMI), densidade de conectividade (Conn.Dn) e dimensão fractal (FD). Os dados obtidos foram utilizados para comparação entre os grupos experimentais e o grupo controle, e também para análise da correlação entre a microarquitetura óssea e os parâmetros de estabilidade primária dos implantes.

3.5 Avaliação geral qualitativa e critérios de avaliação

A avaliação inicial das imagens de microtomografia de todas as amostras revelou, em parte delas, a presença de *gaps* ósseos sendo caracterizados por importantes lacunas hipodensas, que por vezes, trespassavam toda a região do *core* ósseo contendo o implante, e que interferia no volume de interesse (VOI). Esses *gaps* ósseos mostravam uma espessura significativa, que atrapalharia na avaliação da microarquitetura trabecular, onde entendeu-se que essas amostras não serviriam para a análise comparativa.

Embora o delineamento experimental inicial previsse a instalação e análise de 40 implantes (20 por grupo) e a utilização de 10 amostras como grupo controle para avaliação da microtomografia computadorizada (μ CT), o fluxo amostral para as análises estatísticas subsequentes foi condicionado a rigoroso critério de inclusão para comparação das variáveis microarquiteturais e optou-se por realizar a exclusão das amostras com os *gaps*, restando 16 espécimes para análise, sendo 6 pertencentes ao grupo Epikut, 5 ao grupo Strong SW e 5 ao grupo controle, uma vez que as alterações observadas interferiam diretamente

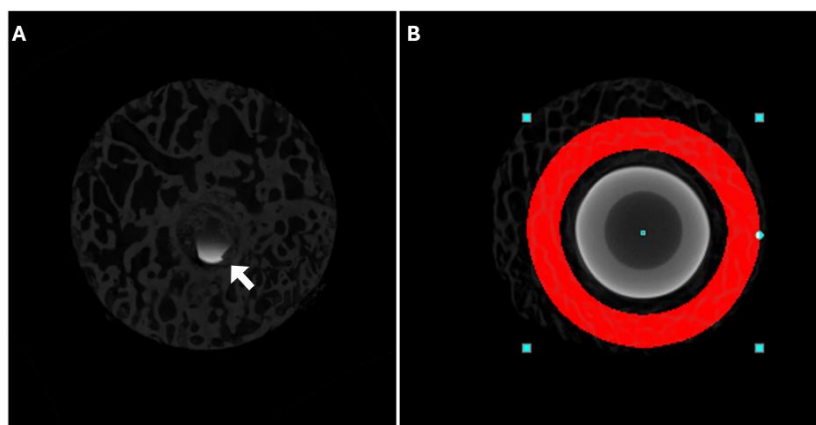
no VOI e poderiam introduzir viés na comparação entre os grupos, garantindo assim, a análise de amostras compostas por tecido ósseo trabecular sem interferências, aumentando a confiabilidade das comparações microarquiteturais.

3.6 Definição do volume de interesse

O volume de interesse (VOI) foi definido com formato circular, apresentando 1 mm de extensão (equivalente a 56 pixels), envolvendo longitudinalmente duas áreas ao longo da extensão da interface osso-implante, tanto na região apical quanto cervical separadamente. Essas regiões foram selecionadas para a realização das análises da microarquitetura óssea peri-implantar e analisados uma média de 300 cortes microtomográficos em todos os grupos previamente definidos

A fim de minimizar artefatos de endurecimento do feixe (beam hardening) decorrentes da presença do implante, foi estabelecido um espaçamento (gap) de 6 pixels (0,05 mm) entre a superfície do implante e o limite interno do VOI. Em função da geometria do implante, o VOI foi ajustado ao longo de sua extensão, preservando-se, contudo, a área e o espaçamento previamente definidos, resultando em um volume total de análise de aproximadamente 8.000 mm³ (Figura 5 A-B).

Figura 5: Definição do volume de interesse.



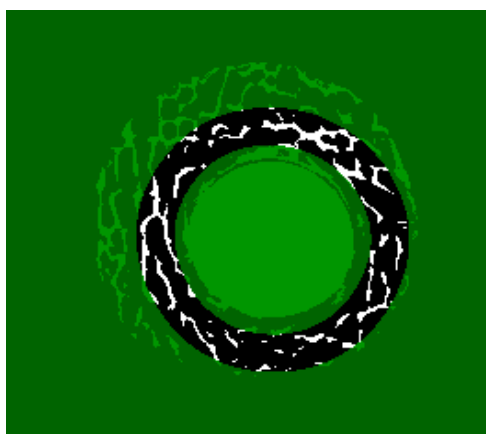
Legenda: Cortes microtomográficos axiais. (A) Imagem inicial obtida das amostras, mostrando ao centro a região correspondente ao ápice do implante (seta branca). (B) Definição do volume

de interesse (VOI) com formato circular, apresentando 1 mm de extensão, envolvendo longitudinalmente toda a interface implante-osso (círculo vermelho). Fonte: Autoria própria.

3.7 Binarização

As imagens geradas pelo microtomógrafo apresentam 256 cores, sendo 254 tons de cinza, além do branco (valor 255) e preto (valor 0). A binarização consiste na escolha de um limiar que vai separar e demarcar nas imagens as regiões mineralizadas (osso) e não-mineralizadas (background), para que as métricas possam ser calculadas em todo o volume por meio de algoritmos já pré-definidos dentro do software de análise. Neste trabalho, os pixels marcados em branco representam o tecido ósseo mineralizado e os pixels marcados em preto representam o tecido não mineralizado (Figura 6).

Figura 6: Binarização das imagens.



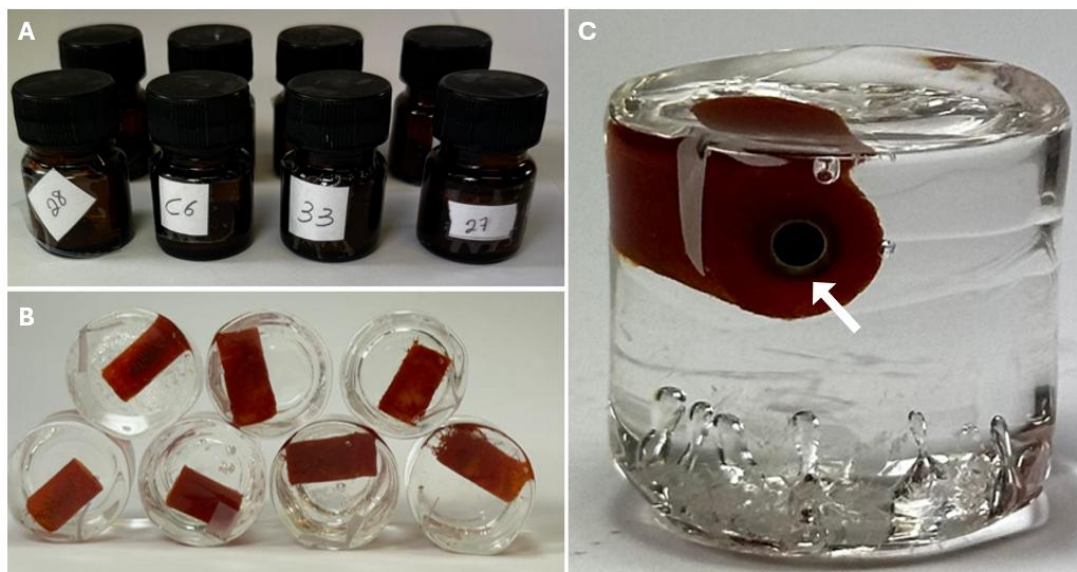
Legenda: Máscara binária da região de interesse. Nota-se no fundo verde a parte de *background*, e em preto e branco, a região utilizada na análise microarquitetural. Fonte: Autoria própria.

Os parâmetros morfométricos para cada volume de interesse ósseo (VOI) foram calculados determinando a região de interesse (ROI) compreendendo todo o volume trabecular. O osso trabecular foi avaliado de acordo com a metodologia de Buxsein et al.(2010) e Irie et al.(2018). Foi utilizado um threshold global para todas as amostras em termos de padronização no valor de 20.

3.8 Análise histológica

Após a realização da análise microtomográfica, 9 amostras foram selecionadas aleatoriamente para a avaliação microscópica. As amostras já estavam fixadas em álcool 70°, e foram então coradas em Xylenol Orange 5 mM (Sigma-Aldrich/Merck, Alemanha) por imersão, ficando o fragmento ímerso na solução por um período de 7 dias, e posteriormente foram incluídas em metilmetacrilato, de acordo com a metodologia de Rabelo et al. (2018a). Para inclusão, os blocos foram imersos em soluções contendo o metilmetacrilato (MMA) e quantidades crescentes do ativador (peróxido de benzoíla), mantidos sob refrigeração por um período de seis dias. No último passo do processo de inclusão, os blocos foram posicionados em recipientes de vidro âmbar e acondicionados em estufa à 36°C por 5 dias para completar o processo de polimerização (Figura 7).

Figura 7: Confeção dos blocos de MMA.



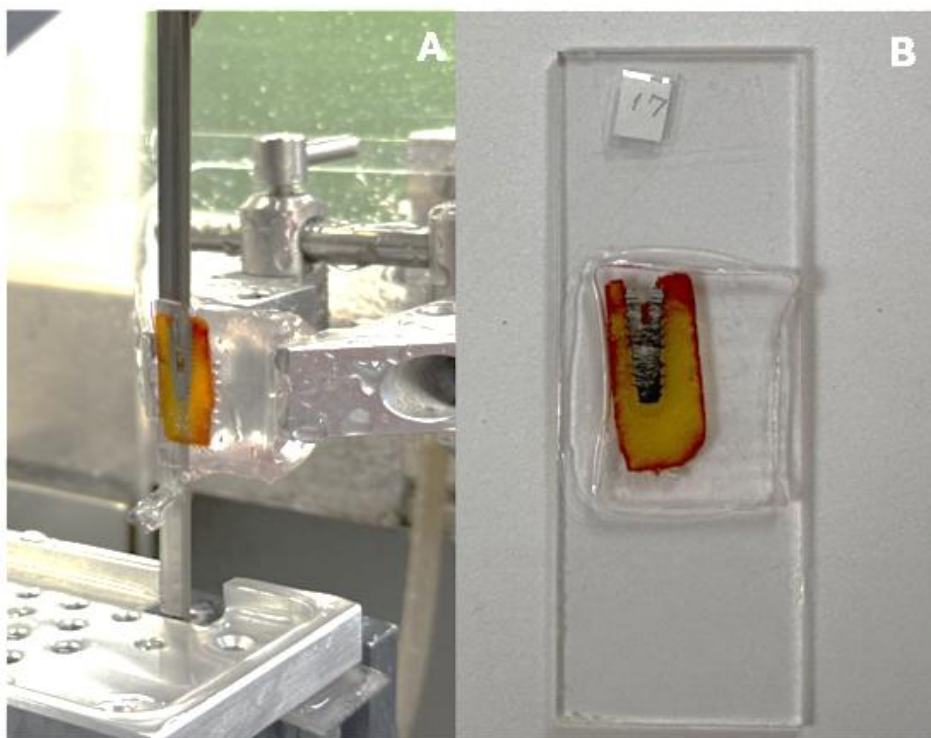
Legenda: (A) Processo de inclusão dos blocos em MMA. (B) Blocos de MMA obtidos. (C) Bloco de MMA com detaque para o implante ao centro (seta branca). Fonte: Autoria própria, Professor Doutor Gustavo Davi Rabelo e Lilian Bezerra.

Foram obtidas duas secções histológicas por bloco ósseo, utilizando o sistema de corte de precisão EXAKT (Exakt Diamonds Band Saw 300, Norderstedt, Alemanha), com o objetivo de avaliar a interface implante-osso e o tecido peri-implantar adjacente (Figura 8 A). Após o seccionamento, os cortes foram submetidos a polimento manual com disco de feltro associado à pasta de

pedra-pomes, seguido de imersão em cuba ultrassônica para remoção de detritos e partículas residuais. Ao todo, foram analisadas 15 lâminas histológicas, pois 3 foram perdidas durante o preparo.

Posteriormente, as secções foram montadas em lâminas de acrílico e submetidas a desgaste progressivo em lixadeira de precisão EXAKT (Exakt Diamonds Band Saw 300, Norderstedt, Alemanha), sob sistema a vácuo, até atingirem espessura final padronizada de aproximadamente 70 a 120 μm . Em seguida, as lâminas foram encaminhadas à capela para montagem final com verniz e lamínula, garantindo adequada preservação do material para análise microscópica (Figura 8 B).

Figura 8: Processo de corte e montagem das lâminas histológicas.

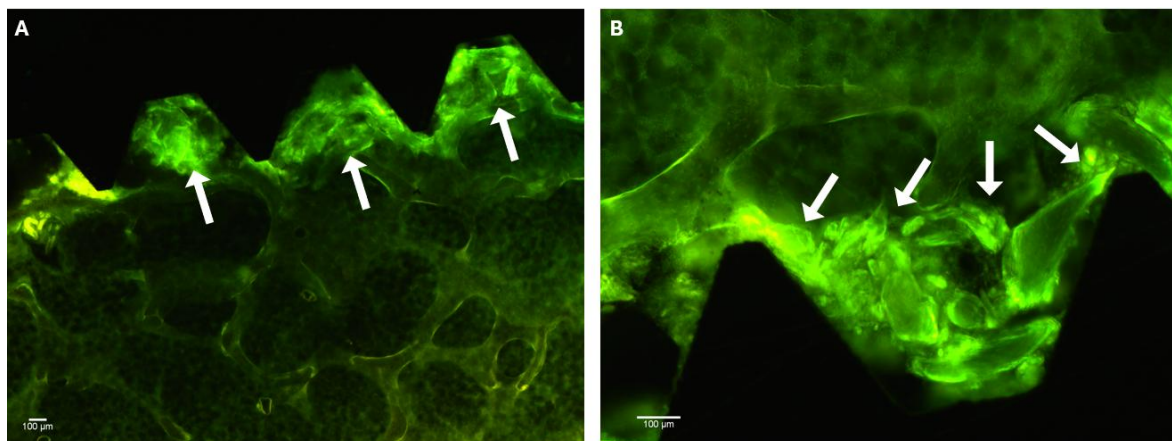


Legenda:(A) Processo corte das secções histológicas. (B) Lâminas histológicas. Fonte:Autoria própria, Professor Doutor Gustavo Davi Rabelo e Lilian Bezerra.

Após a secagem, as amostras foram avaliadas qualitativamente por meio de microscopia de fluorescência, conforme metodologias previamente descritas na literatura (Portero-Muzy et al., 2011; Rabelo, Gustavo Davi et al., 2018a; Rabelo, Gustavo D. et al., 2018b; Francisquini, Caldas e Rabelo, 2020). Todas

as análises foram realizadas por um único examinador previamente calibrado, sob supervisão de um professor. Todas as lâminas foram avaliadas na íntegra para avaliação da qualidade do osso ao redor do implante, e ainda, investigar outros tecidos, presença de artefatos, anomalias e variações. As imagens mais representativas foram capturadas utilizando objetiva com aumento original de 4x e 10x, em microscópio AxioPhot HB 50 (Carl Zeiss AG, Oberkochen, Alemanha), acoplado a câmera digital AxioCam ICc3 (Carl Zeiss AG, Oberkochen, Alemanha) (Figura 9 A-B).

Figura 9: Fotomicrografia da interface osso-implante analisada em microscopia de fluorescência



Legenda: Avaliação qualitativa por microscopia de fluorescência nas objetivas com aumento de 4x (A) e 10x (B), sendo observada na área em preta, as espiras dos implantes. Na cor verde, nota-se acentuado brilho ao redor das espiras do implante, sugerindo aumento de superfície óssea impregnada com o corante, mostrando a presença de partículas ósseas e trabéculas fraturadas (setas brancas). Na porção em cor verde mais escura, nota-se a presença de osso trabecular com características de normalidade. Fonte: Autoria própria, em conjunto com Prof. Dr. Gustavo Davi Rabelo e Lilian Bezerra.

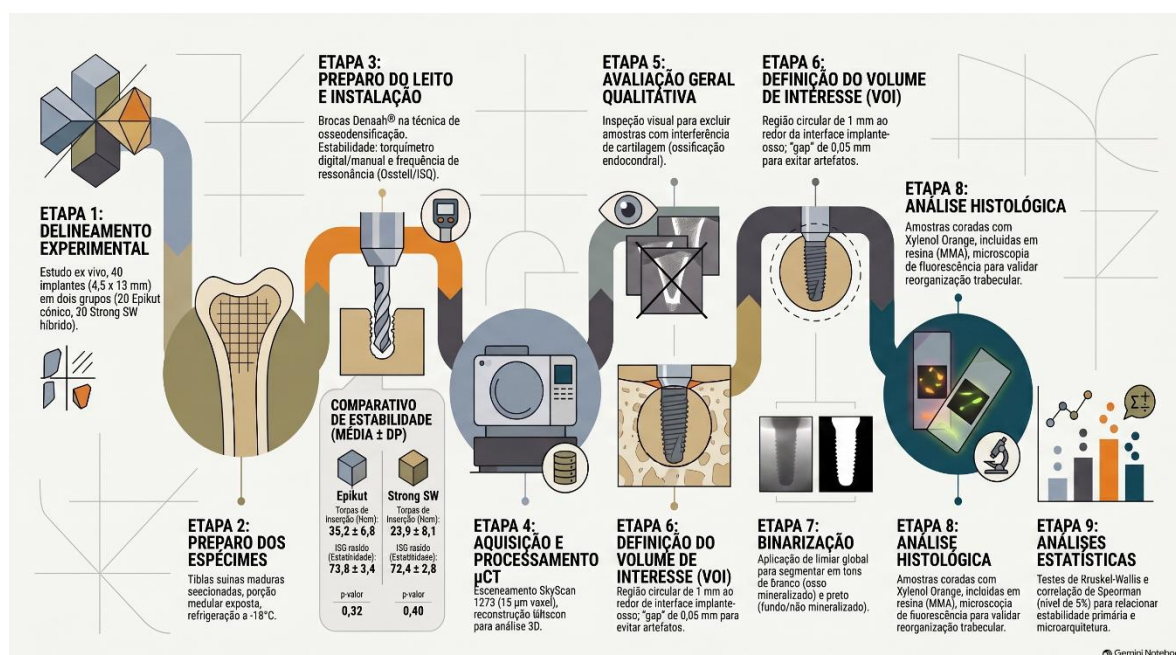
3.9 Análises estatísticas

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software GraphPad Prism 5 (GraphPad Software Inc., La Jolla, Califórnia, EUA). A distribuição dos dados foi avaliada pelo teste de normalidade de Shapiro Wilk. Considerando a ausência de distribuição normal para parte das variáveis

analisadas e o tamanho amostral, optou-se pela utilização de testes não paramétricos para as comparações entre grupos.

As diferenças entre os grupos Controle (C), Epikut (E) e Strong SW (SW) foram avaliadas pelo teste de Kruskal–Wallis, seguido do pós-teste de Dunn's para comparações múltiplas, quando identificada diferença global significativa. Para a avaliação da correlação entre os parâmetros de estabilidade primária dos implantes (torque de inserção e quociente de estabilidade do implante – ISQ) e as variáveis da microarquitetura óssea obtidas por microtomografia computadorizada, foi empregado o teste de correlação de Spearman. A magnitude das correlações foi interpretada de acordo com os critérios propostos por Baba, Vaz e Costa (2014), sendo consideradas muito fortes ($r \geq 0,90$), fortes ($r = 0,70\text{--}0,89$), moderadas ($r = 0,40\text{--}0,69$) e fracas ($r < 0,40$). Em todas as análises, adotou-se nível de significância de 5%, sendo considerados estatisticamente significativos os resultados com $p \leq 0,05$.

Figura 10: Fluxograma experimental



Legenda: Fluxograma experimental das etapas de execução da metodologia. Fonte: Autoria própria, gerado por Inteligência Artificial Generativa (Notebook LM).

4 RESULTADOS

Durante as etapas de fresagem e instalação dos implantes, observou-se macroscopicamente que o tecido ósseo apresentava características compatíveis com baixa densidade, condizentes com a porção medular das tíbias suínas utilizadas como modelo experimental. Não houve perdas de espécimes durante a instalação dos implantes, permitindo a avaliação de todas as unidades experimentais previstas para as análises biomecânicas e de estabilidade primária. Na caracterização microestrutural, algumas amostras foram excluídas em razão da presença de áreas cartilaginosas, como já mencionado nos materiais e métodos, com o intuito de preservar a integridade do cálculo, avaliando apenas osso que não tivesse influência por variações anatômicas ou presença de outros tecidos, como a cartilagem. De modo geral, os resultados demonstraram diferenças pontuais entre os grupos quanto aos parâmetros de estabilidade primária e à microarquitetura óssea, bem como associações significativas entre características microestruturais e os indicadores biomecânicos de estabilidade, que estão discriminados nos itens a seguir.

4.1 Estabilidade primária

A análise comparativa entre os grupos Epikut (E) e Strong SW (SW) revelou que não houve diferenças estatisticamente significativas na estabilidade primária, torque de inserção e análise de frequência de ressonância entre as macrogeometrias estudadas (Tabela 1).

Tabela 1: Resultados de Média $\pm$ Desvio Padrão para as variáveis de torque de inserção e análise de frequência de ressonância.

Variável	Epikut (n = 20) Média $\pm$ DP	Strong SW (n = 20) Média $\pm$ DP	p-valor
Torque de inserção (Ncm)	35,2 $\pm$ 6,8	23,9 $\pm$ 8,1	0,32
ISQ médio	73,8 $\pm$ 2,4	72,4 $\pm$ 2,8	0,40

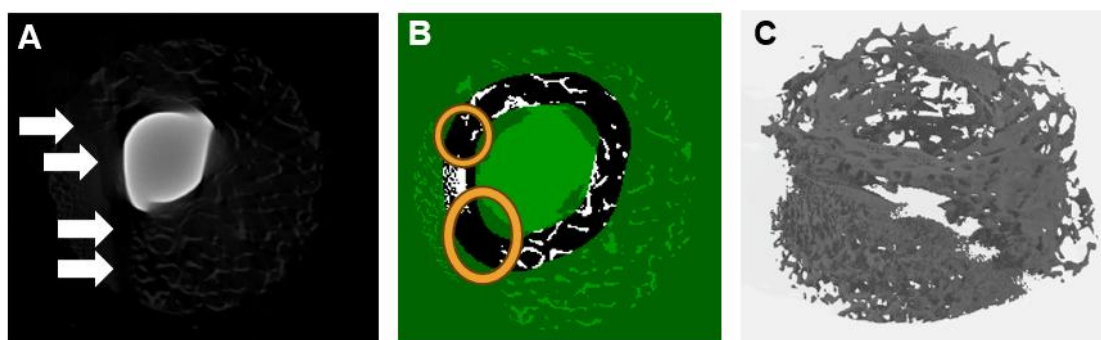
Legenda: ISQ análise de frequência de ressonância. DP desvio padrão. Fonte: Autoria própria.

Ambos os grupos apresentaram valores médios elevados, compatíveis com boa estabilidade inicial do implante, apesar do tecido ósseo de baixa densidade.

4.2 Microarquitetura óssea

A análise da microarquitetura óssea por microtomografia computadorizada revelou variações estruturais relevantes entre os grupos Controle (C), E e SW, especialmente nos parâmetros relacionados à morfologia e organização trabecular. Durante a avaliação qualitativa inicial dos cortes microtomográficos, foi observado que havia a presença de áreas hipodensas na região peri-implantar em algumas amostras, compatíveis com *gaps* na estrutura óssea (Figura 11).

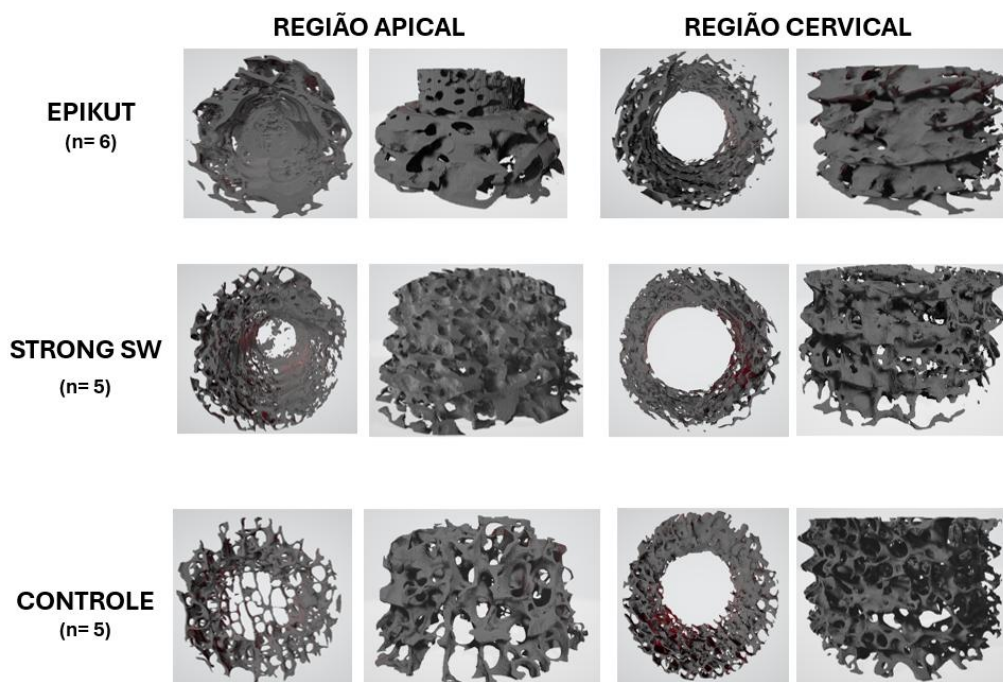
Figura 11: Regiões hipodensas



Legenda: (A) Corte microtomográfico axial, mostrando região hipodensa (setas brancas) próximo ao implante (região central hiperdensa), caracterizada como os *gaps* na microestrutura óssea. (B) Máscara binária da região de interesse. Nota-se regiões de cor preta (círculos laranjas) demonstrando as áreas hipodensas. (C) Reconstrução tridimensional demonstrando o *gap* no osso, mostrado na parte anterior do fragmento, em formato de faixa, simulando uma separação óssea. Fonte: Autoria própria.

Das amostras preparadas e avaliadas inicialmente, apenas 32% foram utilizadas para as avaliações em todas as condições do estudo e para os cálculos estatísticos (n=16) e em parte delas, foram realizadas reconstruções tridimensionais para maior dimensionalidade do que se estava avaliando, nas regiões previamente definidas (Figura 12).

Figura 12: Reconstrução tridimensional do osso trabecular peri-implantar em duas regiões.



Legenda: Reconstrução tridimensional das análises das regiões apicais e cervicais, demonstrando as diferentes reorganizações ósseas entre os diferentes grupos e a ausência dos *gaps* no tecido ósseo. Fonte: Autoria própria.

A análise da morfologia trabecular evidenciou alterações estruturais compatíveis com os efeitos mecânicos promovidos pela osseodensificação. Observou-se redução da superfície óssea relativa (BS/BV) ($p = 0,01$) nos grupos experimentais em comparação ao controle. Já na fração de volume ósseo (BV/TV) ($p = 0,67$) houve a ausência de diferenças significativas entre os grupos indicando que a quantidade global de tecido ósseo foi semelhante, não aumentando a quantidade total de osso existente no local.

Em relação à espessura trabecular (Tb.Th), foi observada diferença global significativa ($p = 0,01$), com valores maiores no grupo Epikut em comparação ao grupo controle ($p = 0,03$). Já no que se refere à distribuição trabecular, observou-se que o grupo SW apresentou número de trabéculas (Tb.N) significativamente menor ($p = 0,04$) e uma maior separação trabecular (Tb.Sp) ($p = 0,01$) em relação ao controle (Tabela 2).

Os valores de SMI foram maiores no grupo controle, enquanto os grupos submetidos à osseodensificação (E e SW) apresentaram valores inferiores, com maior variabilidade observada no grupo SW. Apesar dessa tendência, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos ($p > 0,05$) (Tabela 2).

Por outro lado, os parâmetros de dimensão fractal (FD) e densidade de conectividade (Conn.Dn) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas, sugerindo manutenção da complexidade estrutural e da conectividade da rede trabecular entre os grupos avaliados (Tabela 2).

Tabela 2: Comparação dos parâmetros da microarquitetura óssea obtidos por microtomografia computadorizada nos grupos Controle (C), Epikut (E) e Strong SW (SW).

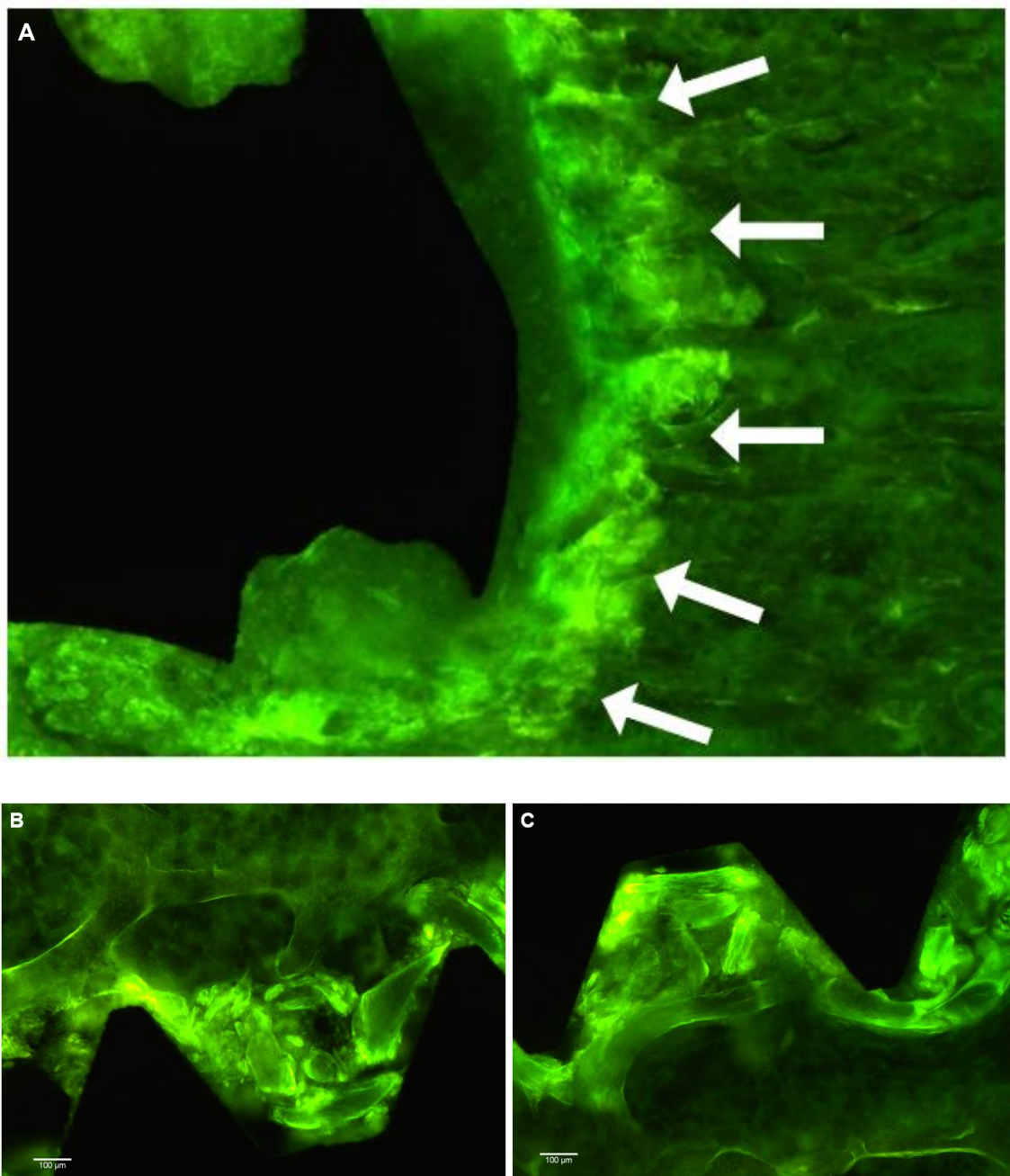
Variável	Controle	Epikut	Strong SW	p-valor
BS/BV	51,80 (65,19; 36,58) ^a	29,67 (32,21; 27,84) ^b	29,96 (35,53; 24,66) ^{a, b}	0,01*
BV/TV	18,4 (19,88; 13,06) ^a	18,77 (22,15; 17,66) ^a	17,35 (24,58; 13,19) ^a	0,67
Tb.Th	0,09 (0,10; 0,07) ^b	0,12 (0,13; 0,11) ^a	0,12 (0,15 - 0,10) ^{a, b}	0,01*
Tb.N	1,67 (2,21; 1,56) ^a	1,49 (1,62; 1,43) ^{a, b}	1,36 (1,56; 1,21) ^b	0,03*
Tb.Sp	0,25 (0,38; 0,16) ^b	0,40 (0,42; 0,38) ^{a, b}	0,43 (0,45; 0,40) ^a	0,008*
SMI	2,09 (2,33; 1,79) ^a	1,74 (1,80; 1,56) ^a	1,59 (1,97; 1,46) ^a	0,06
FD	2,39 (2,42; 2,32) ^a	2,38 (2,42; 2,36) ^a	2,35 (2,41; 2,33) ^a	0,69
Conn.Dn	20,52 (26,46; 15,53) ^a	27,44 (32,02; 24,51) ^a	24,11 (28,42; 21,81) ^a	0,19

Legenda: BS/BV superfície óssea relativa; BV/TV fração de volume ósseo; Tb.Th espessura trabecular; Tb.N número de trabéculas; Tb.Sp espaçamento entre trabéculas; SMI índice de modelo estrutural. FD dimensão fractal; Conn.Dn densidade da conectividade das trabéculas. Valores da estatística descritiva: mediana (percentil 25% (Q1); percentil 75% (Q3)). Valores de p em negrito indicam significância estatística* ($\leq 0,05$) pelo teste de Kruskal-Wallis. Letras diferentes representam diferenças entre os grupos pelo pós-teste de Dunns. Fonte: Autoria própria.

4.3 Morfologia tecidual do osso e tecidos peri-implantares

Os achados qualitativos foram consistentes com as alterações estruturais observadas. As áreas foram caracterizadas por uma organização trabecular mais compacta, com redução aparente dos espaços intertrabeculares e maior proximidade entre as estruturas ósseas, sugerindo o efeito da técnica de osseodensificação na reorganização do tecido ósseo peri-implantar (Figura 13).

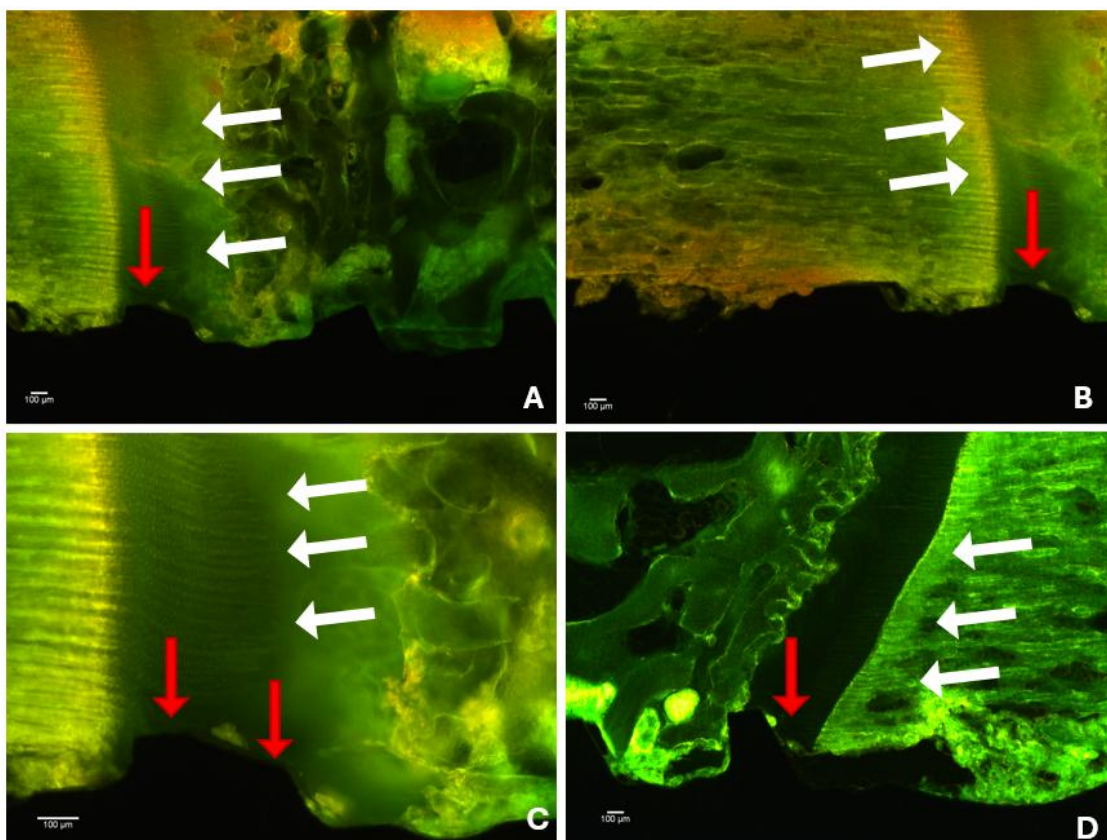
Figura 13: Fotomicrografia da interface osso-implante analisada em microscopia de fluorescência.



Legenda: (A-C) Fotomicrografia resultante da análise em microscopia de fluorescência. Na cor preta está representado o implante. Na cor verde, nota-se acentuado brilho ao redor das espiras dos implantes, sugerindo aumento de superfície óssea impregnada com o corante, mostrando a presença de partículas ósseas e trabéculas fraturadas (setas brancas). Na porção em cor verde mais escura, nota-se a presença de osso trabecular com características de normalidade. Fonte: Autoria própria, em conjunto com Prof. Dr. Gustavo Davi Rabelo e Lilian Bezerra.

Adicionalmente, durante a avaliação qualitativa dos cortes histológicos, foi possível identificar que a presença de áreas hipodensas na região peri-implantar correspondiam à zonas de ossificação endocondral epifisária, caracterizadas por tecido cartilaginoso remanescente apresentando aspecto distinto do tecido ósseo adjacente (Figura 14).

Figura 14: Fotomicrografia da interface osso-implante, próximo a área de cartilagem em microscopia de fluorescência.

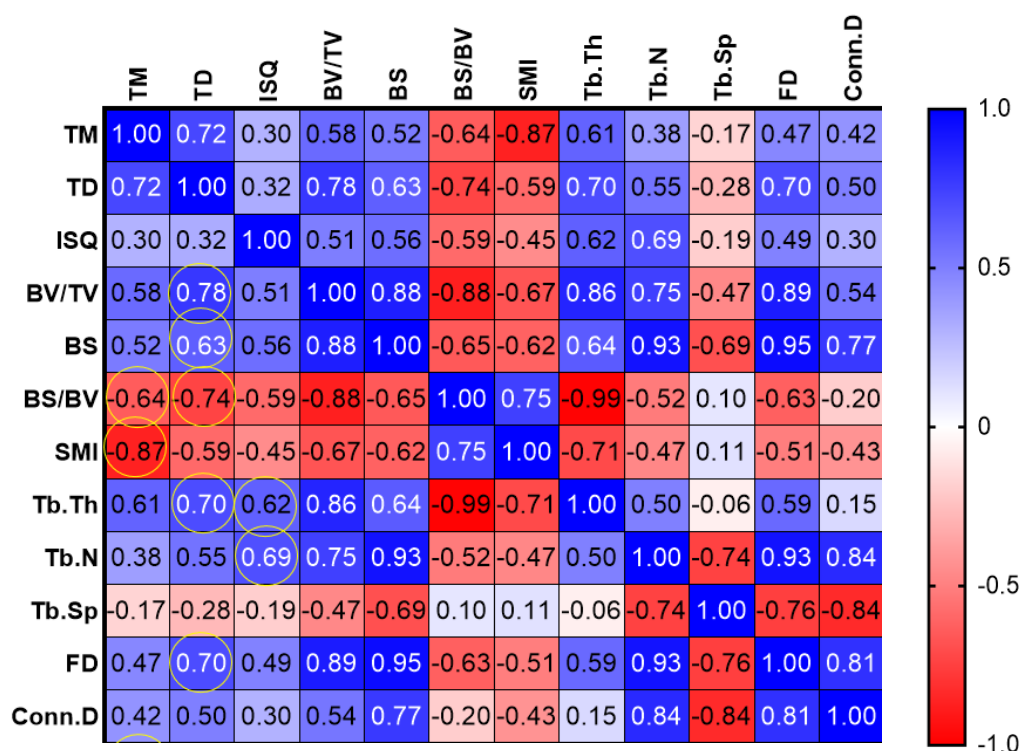


Legenda: Fotomicrografia resultante da análise em microscopia de fluorescência. Na cor preta está representado o corpo do implante. Na cor verde mais escura, nota-se a presença de uma zona de ossificação endocondral (setas brancas) e presença de cartilagem em contato íntimo com as espiras dos implantes (setas vermelhas). Fonte: Autoria própria, em conjunto com Prof. Dr. Gustavo Davi Rabelo e Lilian Bezerra.

4.4 Análise de correlação entre estabilidade primária e microarquitetura óssea

A análise das correlações entre os parâmetros de estabilidade primária e as variáveis microestruturais obtidas por microtomografia computadorizada evidenciou uma relação direta e consistente entre o comportamento biomecânico da estabilidade primária da macrogeometria do implante e a microarquitetura óssea (Figura 15).

Figura 15: Matriz de correlação de variáveis da estabilidade primária com os dados da análise de microarquitetura óssea.



Legenda: Os círculos em amarelo representam as correlações significantes ($p < 0,05$, correlação de Spearman), colocados apenas para as avaliações intermétodos. As demais avaliações intramétodos não foram destacadas na figura. Correlações positivas estão representadas em azul, e correlações negativas representadas em vermelho. A intensidade da cor está diretamente relacionada com a magnitude da correlação, de acordo com a legenda lateral. Fonte: Autoria própria, gerada no software GraphPad Prism.

Observou-se que o torque de inserção digital apresentou correlação positiva forte com a fração de volume ósseo (BV/TV) ($r = 0,78$) e com a espessura trabecular (Tb.Th) ($r = 0,70$), evidencia que tanto a quantidade de tecido ósseo quanto a robustez das trabéculas desempenham papel determinante na resistência mecânica e estabilidade primária dos implantes.

Adicionalmente, a correlação positiva entre o torque e a dimensão fractal (FD) ($r = 0,70$) sugere que a complexidade estrutural do osso também contribui para o aumento da estabilidade primária, refletindo maior interconectividade e organização da rede trabecular.

Em contrapartida, foram observadas correlações negativas significativas entre o torque de inserção e a superfície óssea relativa (BS/BV), tanto para o torque manual ($r = -0,64$) quanto para o torque digital ($r = -0,74$). Esses achados indicam que estruturas trabeculares caracterizadas por maior área superficial relativa — tipicamente associadas a trabéculas mais finas e fragmentadas — oferecem menor resistência mecânica.

Outro achado relevante refere-se à forte correlação negativa entre o torque manual e o índice de modelo estrutural (SMI) ($r = -0,87$), evidenciando que a geometria trabecular exerce influência decisiva na estabilidade primária.

No que se refere ao quociente de estabilidade do implante (ISQ), observou-se correlação positiva com o número de trabéculas (Tb.N) ($r = 0,69$), indicando que a estabilidade medida por análise de frequência de ressonância está relacionada à densidade estrutural e à quantidade de pontos de suporte ao redor do implante. Além disso, o ISQ apresentou correlação negativa com o SMI, corroborando a influência da geometria trabecular também sobre a estabilidade global do sistema osso-implante.

5 DISCUSSÃO

A obtenção de adequada estabilidade primária permanece como um dos principais desafios da implantodontia contemporânea, especialmente em situações de reduzida densidade óssea. Nesse contexto, o presente estudo investigou a influência da associação entre a técnica de osseodensificação e diferentes macrogeometrias de implantes sobre a estabilidade primária e a microarquitetura óssea peri-implantar. Os resultados demonstraram que, embora os diferentes desenhos de implantes tenham apresentado comportamento semelhante em relação à estabilidade primária e em relação ao osso ao redor do implante, ambos diferiram do osso normal do grupo controle, o que aponta para a interpretação que a osseodensificação promoveu alterações relevantes na organização estrutural do tecido ósseo, sugerindo que as modificações induzidas durante o preparo do leito cirúrgico exercem papel mais relevante na resposta biomecânica inicial do que a macrogeometria do implante isoladamente.

Essa interpretação está em consonância com a literatura recente, que descreve a osseodensificação como uma técnica capaz de preservar e compactar lateral e apicalmente o tecido ósseo durante a osteotomia, criando um ambiente biomecânico mais favorável à estabilidade primária sem, necessariamente, promover aumento imediato da quantidade de tecido ósseo (Francisquini *et al.*, 2025). Nesse sentido, os achados do presente estudo ampliam as evidências disponíveis ao demonstrar, por meio de análises microtomográficas e qualitativas, que os benefícios imediatos da técnica estão relacionados predominantemente à reorganização da microarquitetura trabecular, caracterizada por fenômenos de compactação e redistribuição do tecido ósseo, aspecto ainda pouco explorado na literatura.

Implantes com roscas mais agressivas podem potencializar o efeito de compactação ao exercer maior pressão lateral sobre o osso durante a inserção, conforme demonstram estudos recentes, que a macrogeometria do implante pode influenciar na distribuição de tensões e na compactação óssea, especialmente quando associada a técnicas de fresagem não subtrativas (Bittar *et al.*, 2024).

A ausência de diferenças estatisticamente significativas no torque de inserção e nos valores médios de ISQ entre as diferentes macrogeometrias avaliadas sugere que a osseodensificação atua como um importante fator modulador da estabilidade primária, reduzindo a influência isolada do desenho do implante sobre o comportamento biomecânico inicial. Esses resultados reforçam a hipótese de que, quando o leito cirúrgico é preparado por meio da compactação e preservação do tecido ósseo, as diferenças inerentes à macrogeometria tornam-se menos determinantes para a obtenção da estabilidade inicial, estando de acordo com estudos pioneiros de Huwais e Meyer (2017) e Huwais et al. (2018) que introduziram e consolidaram o conceito da osseodensificação como uma técnica de preparo ósseo não subtrativa, capaz de promover compactação lateral das trabéculas, preservação do osso autógeno e aumento do contato mecânico entre o implante e o tecido ósseo.

De forma semelhante, Trisi et al. (2016) demonstraram que a técnica proporciona aumento do torque de inserção e do contato osso-implante (BIC), evidenciando que a estabilidade primária passa a depender, em maior proporção, das propriedades biomecânicas do leito ósseo densificado do que exclusivamente das características macrogeométricas do implante. Recentemente, Francisquini et al. (2025), reforçaram esse entendimento ao demonstrar que o principal efeito inicial da osseodensificação consiste na preservação e condensação do tecido ósseo durante a osteotomia, promovendo um ambiente biomecanicamente mais favorável para a estabilidade primária e para o sucesso da osseointegração subsequente. Assim, os achados do presente estudo corroboram a literatura ao indicar que os benefícios imediatos da técnica decorrem predominantemente de mecanismos mecânicos de compactação, redistribuição e reorganização da matriz trabecular, enquanto os processos biológicos de neoformação e remodelação óssea representam eventos posteriores, observados apenas em modelos experimentais com acompanhamento *in vivo*. Lahens et al. (2016) também demonstraram que a osseodensificação aumenta a densidade óssea peri-implantar e melhora a estabilidade primária mesmo em ossos de baixa densidade, sugerindo um efeito “equalizador” da técnica.

Esse conceito é consistente com os resultados do presente estudo, nos quais implantes com macrogeometrias distintas apresentaram comportamento

biomecânico semelhante. No entanto, essa interpretação não é unânime na literatura, estudos clássicos de Sennerby e Meredith, (1998) e Misch (2008) destacam que a estabilidade primária depende significativamente da macrogeometria do implante, especialmente em condições de baixa densidade óssea, onde roscas mais agressivas tendem a proporcionar maior ancoragem mecânica. A aparente divergência entre esses achados pode ser explicada pelo fato de que tais estudos foram conduzidos em contextos nos quais a osseodensificação não foi empregada, reforçando a hipótese de que a técnica modifica substancialmente a contribuição relativa do design do implante.

Apesar da ausência de significância estatística, a tendência observada de maiores valores absolutos de torque no grupo Epikut sugere que a macrogeometria ainda pode exercer um papel complementar. Esse comportamento encontra respaldo em estudos mais recentes, como o de Bittar et al. (2024), que demonstraram que implantes com roscas mais agressivas podem potencializar os efeitos da compactação óssea ao promover maior pressão lateral durante a inserção, resultando em redistribuição mais eficiente das tensões no tecido ósseo. Dessa forma, embora a osseodensificação reduza a dependência da macrogeometria, não elimina completamente sua influência, especialmente em nível local.

A análise por microtomografia revelou aumento significativo da espessura trabecular (Tb.Th) no grupo Epikut em relação ao controle. Considerando o caráter *ex vivo* do modelo experimental, esse resultado não pode ser atribuído a processos biológicos, como neoformação ou remodelação óssea, mas sim a um efeito mecânico direto da técnica. Trisi et al. (2016) descreveram que a osseodensificação promove deformação plástica do osso trabecular, com deslocamento e compactação das trabéculas, sem remoção significativa de tecido durante a criação do alvéolo cirúrgico. Nesse contexto, os resultados do presente estudo podem ser interpretados à luz de um processo de compactação e coalescência trabecular promovidas pela osseodensificação, passando a serem interpretadas nas análises morfométricas como estruturas únicas mais espessas e podem estar relacionadas com a diferença de design, já que este grupo possui roscas mais agressivas.

Esse comportamento explica o aumento da espessura trabecular sem alteração significativa do BV/TV, indicando que não houve aumento de volume

ósseo total, mas sim uma reorganização geométrica da rede trabecular existente. Corroborando essa interpretação, observou-se redução significativa da superfície óssea relativa (BS/BV) no grupo Epikut. Esse parâmetro é classicamente associado ao grau de fragmentação trabecular, conforme descrito por Bouxsein et al. (2010), valores elevados de BS/BV são característicos de estruturas compostas por trabéculas finas e isoladas, enquanto valores reduzidos indicam uma rede mais contínua e menos fragmentada. Assim, a diminuição do BS/BV sugere a formação de uma rede trabecular mais contínua e menos fragmentada, compatível com o processo de fusão e compactação trabecular promovido pela osseodensificação, indicando uma reorganização da arquitetura trabecular. Enfim, interpretando esses dados em conjunto, o grupo Epikut diferiu do osso normal com a trabécula mais espessa e menor superfície, e como não houve remodelação no nosso modelo ex vivo, a compactação pode ter mesmo gerado a fusão das trabéculas rendendo maior porção de osso compacto, ou seja, quando compara com osso normal, a superfície trabecular é menor por isso, porque parte das superfícies das trabéculas fusionaram com as outras trabéculas mais próximas, formando maiores massas ósseas de matriz.

Entretanto, os resultados também indicam que essa reorganização trabecular não ocorre de maneira homogênea. O grupo SW mostrou maiores espaços intertrabeculares e menos trabéculas comparado ao osso normal. Esse comportamento sugere que a osseodensificação não promove uma compactação uniforme, mas sim uma reorganização tridimensional complexa do osso, na qual regiões de compactação coexistem com áreas de deslocamento trabecular e possível expansão dos espaços medulares. Esse padrão heterogêneo está de acordo com evidências recentes de que a osseodensificação promove predominantemente a compactação e a redistribuição do tecido ósseo ao redor da osteotomia, e não uma densificação uniforme de toda a interface implante-osso, dependendo das características locais ósseas, nas quais determinadas regiões sofrem compressão e coalescência, enquanto outras apresentam deslocamento e possível expansão dos espaços medulares adjacentes (Fontes Pereira et al., 2023).

Essa reorganização da microarquitetura óssea, também ajuda a explicar os achados relacionados ao número de trabéculas (Tb.N). Teoricamente, a fusão de trabéculas poderia resultar em redução desse parâmetro; no entanto, a

ausência de um padrão uniforme sugere que a mensuração depende da região analisada e da redistribuição estrutural local, reforçando a necessidade de interpretação integrada dos parâmetros morfométricos. A influência da macrogeometria nesse contexto também merece destaque. O grupo Epikut, caracterizado por roscas mais agressivas, apresentou aumento significativo da espessura trabecular em comparação ao controle, sugerindo que implantes com maior capacidade de interação mecânica podem potencializar os efeitos da osseodensificação, promovendo maior compressão lateral e reorganização estrutural do osso (Bittar *et al.*, 2024). Enquanto o grupo Strong SW apresentou uma microarquitetura compatível com um tecido ósseo mais rarefeito, caracterizada pela redução do número de trabéculas (Tb.N) e pelo aumento da separação trabecular (Tb.Sp), mais uma vez, apenas em relação ao osso normal, mas não em relação aos dois grupos. As características encontradas no SW estão geralmente associadas a uma menor conectividade estrutural e a alteração na distribuição de cargas mecânicas, podendo comprometer seu comportamento biomecânico (Ma *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2022; Fontes Pereira *et al.*, 2023; Bittar *et al.*, 2024). Embora não tenham sido observadas diferenças estatisticamente significativas entre as macrogeometrias quanto à estabilidade primária, essa organização trabecular menos favorável pode ter contribuído para os menores valores absolutos de torque de inserção e de ISQ observados no grupo Strong SW, reforçando a influência da qualidade da microarquitetura óssea sobre o desempenho biomecânico inicial dos implantes.

De forma semelhante, o ISQ apresentou correlação positiva com o número de trabéculas e negativa com o SMI, corroborando os achados de Sennerby e Meredith (1998), que descreveram a relação entre estabilidade medida por análise de frequência de ressonância e a qualidade do tecido ósseo ao redor do implante. Esses achados reforçam o conceito de que a estabilidade primária não depende apenas da quantidade de osso, mas também de sua organização estrutural e geométrica, ou seja, a qualidade arquitetural do osso pode ser mais determinante do que o volume ósseo isoladamente. Esses dados refletem uma transição na geometria trabecular, que deixa o formato predominantemente cilíndrico ("bastão") para assumir características mais lamelares ("placa"). Sua organização em placas proporciona maior área de contato e melhor distribuição de tensões durante a inserção do implante.

No que tange à densidade de conectividade (Conn.Dn) e à dimensão fractal (FD), a ausência de diferenças estatisticamente significativas entre os grupos sugere que a técnica de osseodensificação, apesar de promover uma compactação agressiva, preserva a complexidade estrutural e a integridade da conexão entre as trabéculas. A manutenção da Conn.Dn indica que as conexões entre as trabéculas não foram destruídas pelo preparo do leito, mas reorganizadas espacialmente. Relevante notar que a forte correlação positiva entre a FD e o torque digital evidencia que a complexidade e a interconectividade da rede óssea são fatores determinantes para a estabilidade primária. É fundamental ressaltar que as alterações encontradas neste estudo em específico não decorrem da formação de novo tecido ósseo, compatível com o modelo experimental *ex vivo* que usamos, mas sim da coalescência mecânica das trabéculas, que são comprimidas e aglutinadas pela técnica de osseodensificação, passando a ser interpretadas como estruturas únicas mais espessas.

Do ponto de vista clínico, tentando extrapolar esses achados de forma translacional, os achados sugerem que a osseodensificação pode atuar como uma estratégia eficaz para otimizar a estabilidade primária, especialmente em ossos de baixa densidade, reduzindo a necessidade de implantes com macrogeometrias altamente agressivas. Além disso, destacam a importância de considerar não apenas parâmetros quantitativos, como o volume ósseo, mas também aspectos qualitativos da microarquitetura, como espessura, número e organização das trabéculas. No entanto, a literatura ainda apresenta resultados heterogêneos quanto ao impacto clínico de longo prazo dessa técnica, ainda sendo necessários mais estudos clínicos longitudinais que avaliem sua influência sobre a osseointegração e a estabilidade secundária.

Os achados qualitativos obtidos por microscopia de fluorescência corroboraram os resultados quantitativos observados na análise microtomográfica, reforçando a interpretação de que as alterações detectadas na microarquitetura óssea decorreram predominantemente de fenômenos mecânicos induzidos pela técnica de osseodensificação. De forma consistente, observou-se a presença de áreas de osso densificado ao redor do leito implantar, especialmente na região apical dos implantes, tanto no grupo Epikut quanto no grupo Strong SW. Foram observados também diversos fragmentos ósseos,

como pequenas espículas, o que também é esperado como resultado das fresagens e osteotomias. Essas regiões bem próximas ao implante mostraram muitas trabéculas e fragmentos brilhantes, uma vez que foi usada a coloração de Xylenol Orange, sugerindo compactação, aspecto compatível com o processo de compactação e condensação ósseas descrito por Huwais e Meyer (2017) e Trisi et al. (2016).

A predominância dessas alterações na porção apical pode estar relacionada à dinâmica biomecânica da instrumentação por osseodensificação, uma vez que as brocas densificadoras promovem deslocamento ósseo progressivo em direção às paredes do alvéolo cirúrgico, gerando maior compressão do tecido ósseo nas regiões de maior atuação mecânica durante o avanço apical da fresagem. Estudos experimentais prévios demonstraram que a técnica produz deformação plástica do osso trabecular, sem remoção significativa de tecido mineralizado, promovendo aumento da densidade óssea local e maior contato osso-implante (Lahens *et al.*, 2019; Trisi *et al.*, 2016). Os achados qualitativos do presente estudo reforçam essa interpretação, evidenciando visualmente uma reorganização trabecular compatível com os fenômenos de compactação e coalescência trabecular identificados nos parâmetros quantitativos, especialmente no aumento da espessura trabecular (Tb.Th) e redução da superfície óssea relativa (BS/BV).

Adicionalmente, a análise qualitativa permitiu identificar regiões correspondentes à zona epifisária de ossificação endocondral, caracterizadas pela presença de tecido cartilaginoso remanescente. Essas áreas apresentavam morfologia distinta do tecido ósseo adjacente e correspondiam às regiões hipodensas observadas nas reconstruções por micro-CT, previamente descritas como *gaps* ósseos. A identificação dessas estruturas foi fundamental para a interpretação adequada dos resultados morfométricos, uma vez que a inclusão dessas regiões poderia interferir diretamente nos parâmetros de microarquitetura óssea, especialmente aqueles relacionados ao volume ósseo e à distribuição trabecular.

Outro aspecto relevante observado qualitativamente foi a heterogeneidade espacial das alterações estruturais promovidas pela osseodensificação. Embora áreas de compactação óssea tenham sido observadas predominantemente na região apical, outras regiões apresentaram

manutenção relativa dos espaços medulares, corroborando os achados quantitativos que demonstraram ausência de redução proporcional entre espessura trabecular e separação trabecular. Esse comportamento reforça a hipótese de que a osseodensificação não atua promovendo compactação uniforme do tecido ósseo, mas sim uma redistribuição tridimensional das trabéculas, com regiões localizadas de compressão, deslocamento e reorganização estrutural.

Além disso, as imagens qualitativas sugeriram comportamento distinto entre os diferentes designs de implante. Embora ambos os grupos tenham apresentado áreas de osso densificado, o grupo Epikut demonstrou regiões de compactação aparentemente mais pronunciadas, possivelmente em decorrência de sua macrogeometria mais agressiva e maior capacidade de interação mecânica com o tecido ósseo peri-implantar. Esse achado está em consonância com os resultados quantitativos, nos quais o grupo Epikut apresentou aumento significativo da espessura trabecular em comparação ao controle, sugerindo que implantes com roscas mais agressivas podem potencializar os efeitos mecânicos da osseodensificação sobre a microarquitetura óssea.

Algumas limitações do presente estudo devem ser consideradas. O modelo *ex vivo* impede a avaliação de processos biológicos fundamentais, como remodelação óssea, resposta celular e osseointegração, restringindo a interpretação dos achados a fenômenos mecânicos imediatos. Além disso, o tamanho amostral reduzido pode ter influenciado o poder estatístico das análises, especialmente em parâmetros com alta variabilidade intrínseca. Mas em contrapartida, a homogeneidade do tecido alcançada pela exclusão das zonas de ossificação endocondral permitiu obter correlações estatísticas muito fortes demonstrando confiabilidade nos resultados obtidos. A análise estatística da estabilidade primária também deve ser interpretada com cautela, uma vez que se sabe que alguns implantes estão instalados em áreas com componente cartilaginoso.

Portanto, os resultados qualitativos reforçam a coerência biomecânica dos achados quantitativos e sustentam a hipótese de que a estabilidade primária obtida após a osseodensificação está intimamente relacionada à reorganização estrutural do tecido ósseo peri-implantar. Dessa forma, a técnica parece promover um ambiente biomecanicamente mais favorável à ancoragem inicial

do implante por meio de mecanismos predominantemente mecânicos de compactação, redistribuição e coalescência trabecular, mais do que por alterações biológicas relacionadas à neoformação óssea.

Em síntese, os resultados sugerem que a osseodensificação atua como um fator modulador da resposta biomecânica inicial, promovendo modificações na microarquitetura óssea que parecem reduzir a influência isolada da macrogeometria do implante sobre a estabilidade primária. Dessa forma, os achados reforçam que a otimização do leito cirúrgico pode ser tão ou mais relevante para o desempenho biomecânico inicial quanto o próprio desenho do implante, ampliando a compreensão da interação entre técnica cirúrgica, tecido ósseo e estabilidade primária.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou que a técnica de osseodensificação promove alterações na microarquitetura óssea peri-implantar por mecanismos de compactação, redistribuição e reorganização trabecular, favorecendo um ambiente biomecanicamente mais adequado para a estabilidade primária dos implantes, sem evidências de aumento imediato da quantidade de tecido ósseo.

Nas condições experimentais avaliadas, as diferentes macrogeometrias dos implantes não influenciaram significativamente a estabilidade primária, sugerindo que a osseodensificação reduz a influência isolada do desenho do implante, tornando as características biomecânicas do leito ósseo preparado mais determinantes para a obtenção da estabilidade inicial. As duas macrogeometrias não diferiram entre si, mas diferiram distintamente do grupo controle em relação à superfície óssea e espessura trabecular para o Epikut, e para o número de trabéculas e espaço intertrabecular para o grupo SW.

Em conjunto, os resultados contribuem para a compreensão dos mecanismos biomecânicos da osseodensificação e reforçam seu potencial como estratégia para otimizar a estabilidade primária em ossos de baixa densidade, fornecendo subsídios para futuros estudos *in vivo* que investiguem sua influência sobre a osseointegração e o desempenho clínico dos implantes.

REFERÊNCIAS

BAHAT, O.; SULLIVAN, R. M. Parameters for successful implant integration revisited part II: Algorithm for immediate loading diagnostic factors. **Clinical Implant Dentistry and Related Research**, v. 12, n. SUPPL. 1, maio 2010.

BARIKANI, H. *et al.* **The Effect of Implant Length and Diameter on the Primary Stability in Different Bone Types** *Journal of Dentistry*. [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.jdt.tums.ac.ir>.

BITTAR, B. F. *et al.* Assessing peri-implant bone microarchitecture: conventional vs. osseodensification drilling - ex vivo analysis. **Brazilian Dental Journal**, v. 35, 2024.

BLANCO, J. *et al.* Influence on early osseointegration of dental implants installed with two different drilling protocols: A histomorphometric study in rabbit. **Clinical Oral Implants Research**, v. 22, n. 1, p. 92–99, jan. 2011.

BOUXSEIN, M. L. *et al.* **Guidelines for assessment of bone microstructure in rodents using micro-computed tomography** *Journal of Bone and Mineral Research*, jul. 2010.

CAHYANINGTYAS, N. A. *et al.* **Dental implant macrodesign features in the past 10 years: A systematic review** *Journal of Indian Society of Periodontology* Wolters Kluwer Medknow Publications, , 1 mar. 2023.

COHEN, O. *et al.* Differences in crestal bone-to-implant contact following an under-drilling compared to an over-drilling protocol. A study in the rabbit tibia. **Clinical Oral Investigations**, v. 20, n. 9, p. 2475–2480, 1 dez. 2016.

FARRONATO, D. *et al.* Influence of diameter/length on primary comparative study frequency analysis bone quality, on insertion torque and resonance drilling protocol, stability: An in vitro implant. **Journal of Oral Implantology**, v. 46, n. 3, p. 182–189, 1 jun. 2020.

FONTES PEREIRA, J. *et al.* **Osseodensification: An Alternative to Conventional Osteotomy in Implant Site Preparation: A Systematic Review***Journal of Clinical Medicine* Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). 2023.

FRANCISQUINI, CALDAS E RABELO. Avaliação de microdanos no osso: Uso de uma ferramenta complementar para visualização tridimensional. **Clin Lab Res Den.** 2020

FRANCISQUINI, I. DE A. *et al.* Impacto da osseodensificação na estabilidade primária e osseointegração de implantes dentários. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 25, p. e18530, 30 abr. 2025.

GAIKWAD, A. M.; JOSHI, A. A.; NADGERE, J. B. **Biomechanical and histomorphometric analysis of endosteal implants placed by using the osseodensification technique in animal models: A systematic review and meta-analysis.** [s.l: s.n.].

GEHRKE, S. A.; NETO, H. L.; MARDEGAN, F. E. C. Investigation of the effect of movement and irrigation systems on temperature in the conventional drilling of cortical bone. **British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, v. 51, n. 8, p. 953–957, 2013.

HEIMES, D. *et al.* How does dental implant macrogeometry affect primary implant stability? A narrative review. **International Journal of Implant Dentistry**, v. 9, n. 1, 5 jul. 2023.

HUANG, YU CHE; HUANG, YEN CHANG; DING, S. J. **Primary stability of implant placement and loading related to dental implant materials and designs: A literature review***Journal of Dental Sciences* Association for Dental Sciences of the Republic of China, , 1 out. 2023.

HUWAIS, S. *et al.* A Multicenter Retrospective Clinical Study with Up-to-5-Year Follow-up Utilizing a Method that Enhances Bone Density and Allows for

Transcrestal Sinus Augmentation Through Compaction Grafting. **The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants**, v. 33, n. 6, p. 1305–1311, nov. 2018.

HUWAIS, S.; MEYER, E. A Novel Osseous Densification Approach in Implant Osteotomy Preparation to Increase Biomechanical Primary Stability, Bone Mineral Density, and Bone-to-Implant Contact. **The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants**, v. 32, n. 1, p. 27–36, jan. 2017.

IRIE, M. S. *et al.* **Use of micro-computed tomography for bone evaluation in dentistry****Brazilian Dental Journal**Associação Brasileira de Divulgação Científica, , 1 maio 2018.

LAHENS, B. *et al.* Biomechanical and histologic basis of osseodensification drilling for endosteal implant placement in low density bone. An experimental study in sheep. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 63, p. 56–65, 1 out. 2016.

_____. The effect of osseodensification drilling for endosteal implants with different surface treatments: A study in sheep. **Journal of Biomedical Materials Research - Part B Applied Biomaterials**, v. 107, n. 3, p. 615–623, 1 abr. 2019.

MA, C. *et al.* **Biomechanics and mechanobiology of the bone matrix****Bone Research**Springer Nature, , 1 dez. 2022.

MOON, S. H. *et al.* The effect of implant shape and bone preparation on primary stability. **Journal of Periodontal and Implant Science**, v. 40, n. 5, p. 239–243, out. 2010.

PAI, U. *et al.* Osseodensification – A novel approach in implant dentistry. **The Journal of Indian Prosthodontic Society**, v. 18, n. 3, p. 196, 2018.

PORTERO-MUZY, N. R. *et al.* Staining procedure for the detection of microcracks: Application to ewe bone. **Bone**, v. 49, n. 4, p. 917–919, 2011.

RABELO, GUSTAVO D. *et al.* Spatial Distribution of Microcracks in Osteoarthritic Femoral Neck: Influence of Osteophytes on Microcrack Formation. **Calcified Tissue International**, v. 103, n. 6, p. 617–624, 2018.

RABELO, GUSTAVO DAVI *et al.* Evaluation of cortical mandibular bone in patients with oral squamous cell carcinoma. **Clinical Oral Investigations**, v. 22, n. 2, p. 783–790, 2018.

SENNERBY, L.; MEREDITH, N. **Implant stability measurements using resonance frequency analysis: biological and biomechanical aspects and clinical implications.** [s.l: s.n.].

SLETE, F. B.; OLIN, P.; PRASAD, H. Histomorphometric comparison of 3 osteotomy techniques. **Implant Dentistry**, v. 27, n. 4, p. 424–428, 2018.

TRETTO, P. H. W. *et al.* Systematic Review and Meta-Analysis Dental Implants Does the instrument used for the implant site preparation influence the bone-implant interface? A systematic review of clinical and animal studies Sarkis-Onofre, A. Bacchi: Does the instrument used for the implant site preparation influence the bone-implant interface? A systematic review of clinical and animal studies. **International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery**, 2018.

TRISI, P. *et al.* New osseodensification implant site preparation method to increase bone density in low-density bone: In vivo evaluation in sheep. **Implant Dentistry**, v. 25, n. 1, p. 24–31, 1 fev. 2016.

VANDEWEGHE, S. *et al.* Utilizing micro-computed tomography to evaluate bone structure surrounding dental implants: A comparison with histomorphometry. **Journal of Biomedical Materials Research - Part B Applied Biomaterials**, v. 101, n. 7, p. 1259–1266, out. 2013.

WANG, F. *et al.* The role of bone marrow on the mechanical properties of trabecular bone: a systematic review. **BioMedical Engineering Online BioMed Central Ltd**, 1 dez. 2022.