UNIVERSIDADE SANTO AMARO

Programa de Pós-graduação

Doutorado em Odontologia

Carlos Kiyoshi Moreira Massuda

INFLUÊNCIA DA DENSIDADE ÓSSEA NA PRECISÃO DA TÉCNICA DE CIRURGIA GUIADA ESTÁTICA PARA INSTALAÇÃO DE IMPLANTES: ESTUDO *IN VITRO*

São Paulo

2023

Carlos Kiyoshi Moreira Massuda

INFLUÊNCIA DA DENSIDADE ÓSSEA NA PRECISÃO TÉCNICA DE CIRURGIA GUIADA ESTÁTICA PARA INSTALAÇÃO DE IMPLANTES: ESTUDO *IN VITRO*

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* da Universidade Santo Amaro - UNISA, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Odontologia – Área de concentração em Implantodontia**.**
Orientadora: Prof.ª Dra. Yeon Jung Kim

São Paulo

2023

M371i Massuda, Carlos Kiyoshi Moreira
Influência da densidade óssea na precisão técnica de cirurgia guiada estática para instalação de implantes: estudo in vitro / Carlos Kiyoshi Moreira Massuda. - 2023.

56 f. : il., color.
Orientador: Prof. Dr. Yeon Jung Kim.

Tese. (Doutorado em Odontologia com ênfase em Implantodontia) - Universidade Santo Amaro, 2023.
Bibliografia incluída.

1. Implantes dentários. 2. Densidade óssea. 3. Cirurgia assistida por computador. I. Kim, Yeon Jung. II. Universidade Santo Amaro. III. Título.

CDD 617.69

Elaboradora pela Bibliotecária Andréa Carvalho Gomes de Lima CRB8/9304

Carlos Kiyoshi Moreira Massuda

INFLUÊNCIA DA DENSIDADE ÓSSEA NA PRECISÃO TÉCNICA DE CIRURGIA GUIADA ESTÁTICA PARA INSTALAÇÃO DE IMPLANTES: ESTUDO *IN VITRO*

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* da Universidade Santo Amaro - UNISA, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Odontologia – Área de concentração em Implantodontia**.**

Orientador: Prof.ª Dra. Yeon Jung Kim

São Paulo, de de 2023

Banca Examinadora

_____

Prof.ª Dra. Yeon Jung Kim

Doutora em Odontologia – Área de Concentração: Periodontia – UNESP

_____

Prof. Dr. Wilson R. Sendyk

Doutor em Odontologia – Área de Concentração: Periodontia – USP

_____

Profª. Dra. Débora Pallos

Doutora em Pediatria e Ciências Aplicadas em Pediatria – UNIFESP

_____

Prof. Dr. Ricardo Violante de Souza

Doutor em Ciências – Área de Concentração: Clínica Cirúrgica – FMRP-USP

_____

Prof. Dr. Daniel Isaac Sendyk

Doutor em Ciências Odontológicas - USP

Conceito Final: _____

Dedico este trabalho aos meus pais, Kiyoshi (*in memoriam*) e Eponina (*in memoriam*), pelo exemplo de luta e dedicação a família, espelho para a minha caminhada.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, que com seu infinito amor e bondade, concedeu mais essa oportunidade em minha trajetória de vida.

A Marcia Rosa, pelo incentivo constante, paciência e compreensão.

A toda minha família, que sempre me apoiou para que chegasse até aqui. Em especial o meu irmão Honório Massuda, exemplo e inspiração na busca da evolução profissional.

A Universidade Santo Amaro, pela oportunidade de participar do Doutorado em Odontologia e a concessão da bolsa de estudo.

A CAPES/PROSUP, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Ilustre Professor Doutor Wilson Roberto Sendyk, coordenador do programa de Doutorado em Odontologia da Universidade Santo Amaro, pela oportunidade concedida e por compartilhar seus ensinamentos sempre com dedicação e humildade, incentivando a busca do conhecimento científico.

A minha orientadora, Professora Doutora Yeon Jung Kim, por acreditar no projeto e me guiar na condução da pesquisa, transmitindo seus ensinamentos com muita dedicação, seriedade e paciência. Seu trabalho é exemplo e fonte de inspiração na contínua busca pelo conhecimento! Muito obrigado!

Ao corpo docente, Professores Doutores do programa do Doutorado em Odontologia da UNISA, por todos os ensinamentos compartilhados, contribuindo diretamente na minha formação e evolução.

Ao Professor João Baptista Moraes, pelo apoio fundamental na viabilização da pesquisa.

A minha prima, Luciana Murayama, pela participação na obtenção das mensurações dos dados.

Aos colegas doutorandos, por dividirem comigo experiências, conhecimentos e momentos agradáveis de convivência nessa caminhada.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

(*Madre Teresa de Calcutá*)

RESUMO

O posicionamento tridimensional adequado dos implantes osseointegrados é fundamental na obtenção de um resultado estético, funcional e a longo prazo, devendo sempre ser orientado pela restauração protética. A cirurgia guiada estática apresenta maior previsibilidade no posicionamento dos implantes comparada a técnica convencional. Entretanto, estudos prévios demonstraram desvios lineares e angulares entre o planejamento digital e o implante instalado. O objetivo desta pesquisa *in vitro* é investigar a influência da densidade óssea na acurácia dos implantes instalados pela técnica de cirurgia guiada estática, analisando os desvios angulares e desvios lineares entre os implantes planejados virtualmente e os implantes instalados. Sessenta corpos de provas simulando densidades ósseas de classificação de MISCH (1989) foram acoplados em modelos impressos em impressora 3D, que foram divididos em 6 grupos: D1: densidade D1; D2: densidade D2; D3: densidade D3; D4 densidade D4; D2C: densidade D2 com uma camada de 1 mm de cortical e D3C: densidade D3 com 1 mm de cortical. Foram realizadas tomografias computadorizadas cone beam e escaneamento com scanner intraoral de todas as amostras. Os dados obtidos foram integrados no software Exoplan® (Exocad) para planejamento dos implantes e das guias cirúrgicas totalmente apoiadas sobre dentes, sendo confeccionadas através de impressão 3D. Em cada modelo foi planejado e instalado na região do corpo de prova correspondente ao dente 15, um implante do tipo cone morse, de macrogeometria hibrida, de 3,5 mm de diâmetro por 10 mm de comprimento (S.I.N. Implant System), colocado no nível ósseo. Para obtenção da posição final, foi realizada a moldagem digital dos implantes nos modelos utilizando um scan body correspondente. As posições de planejamento e final dos implantes foram alinhadas, sendo mensurados os desvios no software Rhino 7 (Rhinoceros®). Foram mensuradas quatro variáveis: desvio angular, desvio coronal no ponto de entrada, desvio apical e desvio vertical . Um total de sessenta implantes foram instalados nos seis grupos (n= 10). Os resultados da pesquisa mostraram desvios em todos os parâmetros analisados, no entanto, não foi encontrada diferença estatisticamente significante entre os grupos. Dentro das limitações do estudo, podemos concluir que a densidade óssea não influenciou a precisão da cirurgia guiada estática em implantes instalados nos corpos de prova, com guias totalmente apoiadas sobre dentes.

Palavras chaves: Implantes dentários. Densidade óssea. Cirurgia assistida por computador. Simulação por Computador.

ABSTRACT

The adequate three-dimensional positioning of osseointegrated implants is fundamental in obtaining an aesthetic, functional and long-term result, and should always be guided by the prosthetic restoration. Static guided surgery presents greater predictability in implant positioning compared to the conventional technique. However, previous studies have demonstrated linear and angular deviations between the digital planning and the implant installed. The aim of this in vitro research is to investigate the influence of bone density on the accuracy of implants installed using the static guided surgery technique, analyzing the angular deviations and linear deviations between the virtually planned implants and the installed implants. Sixty specimens simulating bone densities according to the MISCH classification (1989) were attached to models printed on a 3D printer, which were divided into 6 groups: D1: D1 density; D2: D2 density; D3: D3 density; D4 density D4; D2C: D2 density with a 1 mm cortical layer and D3C: D3 density with 1 mm cortical layer. Cone beam computed tomography and intraoral scanning of all samples were performed. The data obtained was integrated into the Exoplan® software (Exocad) for planning the implants and surgical guides fully supported on teeth, being manufactured using 3D printing In each model, a morse cone type implant, with hybrid macrogeometry, measuring 3.5 mm in diameter and 10 mm in length (S.I.N. Implant System), was planned and installed in the region of the specimen corresponding to tooth 15 (S.I.N. Implant System), placed at the level bone. To obtain the final position, digital impressions of the implants were performed on the models using a corresponding scan body. The planning and final positions of the implants were aligned, and deviations were measured using the Rhino 7 software (Rhinoceros®). Four variables were measured: angular deviation, coronal deviation at the entry point, apical deviation and vertical deviation. A total of sixty implants were installed in the six groups (n= 10). The research results showed deviations in all analyzed parameters, however, no statistically significant difference was found between the groups. Within the limitations of the study, we can conclude that bone density did not influence the precision of static guided surgery on implants installed in specimens, with guides fully supported on teeth.

Keywords: Dental Implants. Bone density. Computer assisted surgery. Computer Simulation.

Lista de Figuras

Figura 1 - Modelo digitalizado com confecção de nicho (software Autocad Meshmixer).....35

Figura 2 - Modelos em resina obtidos por impressão 3D, com nichos.....35

Figura 3 - Esquema indicando as densidades ósseas correspondentes nos corpos de prova (Nacional Ossos).....36

Figura 4 - Corpos de prova customizados com serra de ourives.....36

Figura 5 - Corpo de prova incorporado no nicho através de colagem, com cola a base de cianoacrilato (TEKBOND®).....37

Figura 6 - Identificação dos modelos de acordo com amostra e densidade do corpo de prova.....38

Figura 7 - Escaneamento do modelo.....39

Figura 8 - A - Arquivos DICOM e STL integrados no software Exoplan®. B - Alinhamento dos arquivos DICOM e STL. C e D – Enceramento virtual e planejamento virtual da instalação do implante.....39

Figura 9 - A - Planejamento e desenho do guia cirúrgico no Exoplan®. B – Guia com identificação referente a densidade e amostra.....40

Figura 10 - A - Impressora 3D Anycubics Photon Mono X 6K e resina Prizma 3D Bio Guide LCD. B – Guias cirúrgicos impressos.....40

Figura 11- A – Implante cone morse com dimensão de 3.5 x 10 mm da linha Strong SW (S.I.N. Implant System). B – Kit de cirurgia guiada estática SIN. C – Instalação do implante na região referente ao dente 15.....41

Figura 12 – Escaneamento do conjunto modelo/implante utilizando scan body aparafusado no implante.....42

Figura 13 A-D – Alinhamento do arquivo STL do conjunto scan body/implante com o scan body do modelo.....42

Figura 14 A e B – Alinhamento do modelo do planejamento e do modelo do implante instalado com o scan body/implante. C e D – Implante planejado e implante instalado alinhados.....43

Figura 15 - Software Rhinoceros® – mensuração dos desvios entre implante virtualmente planejado e implante colocado.....43

Figura 16 - Esquema das mensurações analisadas: A. desvio coronal entre implante planejado e o implante instalado; B. desvio apical entre implante planejado e instalado; α. desvio angular entre implante planejado e instalado; Y. desvio linear vertical.....44

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Mensurações dos desvios de ângulo (em graus) por amostra expressa em cada grupo. Média, desvio padrão (DP) e valores mínimo e máximo por grupo.....45

Tabela 2 - Mensurações dos desvios coronais (em mm) por amostra expressa em cada grupo. Média, desvio padrão (DP) e valores mínimo e máximo por grupo.....46

Tabela 3 - Mensurações dos desvios apicais (em mm) por amostra expressa em cada grupo. Média, desvio padrão (DP) e valores mínimo e máximo por grupo.....46

Tabela 4 - Mensurações dos desvios verticais (em mm) por amostra expressa em cada grupo. Média, desvio padrão (DP) e valores mínimo e máximo por grupo.....47

Lista de Abreviaturas e Siglas

CAD/CAM	*Computer Assisted Design/Computer Assisted Manufacturing*
DICOM	*Digital Imaging and Communications in Medicine*
IC	Intervalo de confiança
mm	Milímetros
STL	*Standard Tesselation Language*
TC	Tomografia computadorizada
TCCB	Tomografia computadorizada cone beam

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO.....15
2 - REVISÃO DE LITERATURA.....17
3 – OBJETIVOS.....34
3.1 - OBJETIVO GERAL.....34
3.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....34
4 - MATERIAIS E MÉTODOS.....35
4.1 - DELINEAMENTO DO ESTUDO.....35
4.2 - ANÁLISE DA ACURÁCIA.....41
4.3 - MENSURAÇÃO DOS DADOS.....44
4.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA.....44
5 - RESULTADOS.....45
6 - DISCUSSÃO.....48
7 - CONCLUSÃO.....52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....53

1 – INTRODUÇÃO

Um dos principais fatores do sucesso das reabilitações com implantes osseointegrados é a execução de um correto planejamento, buscando a colocação dos implantes em uma posição tridimensional adequada (ESQUIVEL; MEDA; BLATZ, 2021; SAILER et al., 2022). O implante deve ser proteticamente guiado levando em consideração as limitações anatômicas e a disponibilidade óssea. A posição tridimensional correta é pré-requisito fundamental para obtenção de uma restauração estética e funcional, evitando complicações biológicas e técnicas, favorecendo a sua manutenção através da higienização adequada da reabilitação, a estabilidade dos tecidos duros e moles peri-implantares, possibilitando uma oclusão ideal e sucesso a longo prazo (D'HAESE et al., 2017; YOUNES et al., 2018). Implantes mal posicionados podem levar a complicações, como perda óssea peri-implantar, danos em raízes dos dentes adjacentes, danos a estruturas vitais, fraturas de parafusos de abutment e sobrecarga mecânica (DERE; SAHIN; OZDEDE, 2023).

Durante muitos anos, o diagnóstico e a execução de um tratamento com implantes osseointegrados eram baseados em imagens bidimensionais como radiografias panorâmicas e periapicais. A evolução através do surgimento das tomografias computadorizadas trouxe uma melhora significativa, principalmente no diagnóstico do tecido ósseo disponível para instalação dos implantes. Todavia, reproduzir no campo operatório o exato planejamento previamente realizado, baseado no exame tomográfico não era possível, principalmente pela falta de possibilidade de transferir as posições exatas planejadas do implante para o paciente e associar as informações protéticas no conjunto de dados de tomografia (TATAKIS; CHIEN; PARASHIS, 2019).

A possibilidade de diagnóstico através da tomografia computadorizada associada ao surgimento de softwares de planejamento cirúrgico, trouxe um grande avanço na melhoria do planejamento virtual do tratamento com implantes. Possibilita a avaliação tridimensional das áreas de disponibilidades ósseas, a colocação virtual de implantes e com possibilidade de analisar as suas implicações protéticas, com uma execução cirúrgica mais precisa. (AZARI; NIKZAD, 2008; VAN DE VELDE; SENNERBY; DE BRUYN, 2010; TATAKIS; CHIEN; PARASHIS, 2019).

A realização de um plano de tratamento virtual dos implantes através softwares de planejamento cirúrgico associado a sistemas CAD CAM (*computer-aided design*/*computer-aided manufacturing*), possibilitou o desenvolvimento da técnica de cirurgia guiada estática de implantes, na qual o planejamento virtual é transferido para o ambiente cirúrgico real através de um guia cirúrgico prototipado e kits de instalação específicos guiados (POZZI et al., 2014; D'HAESE et al., 2017).

A cirurgia guiada estática apresenta vantagens comparada a cirurgia convencional de instalação de implantes, tais como redução do tempo operatório, melhor precisão cirúrgica e previsibilidade, minimizando riscos de potenciais lesões a estruturas anatômicas críticas nas cirurgias de implantes (APOSTOLAKIS; BROWN, 2012; MISTRY et al., 2021). Os pacientes apresentam menor morbidade, redução dos sintomas pós-operatórios com cicatrização mais rápida e redução no uso de medicamentos analgésicos (FORTIN et al., 2006).

Embora a cirurgia guiada estática resulte em uma maior precisão na instalação dos implantes, desvios lineares e de ângulos podem ocorrer. A acurácia da técnica vem sendo investigada desde o seu surgimento até os dias atuais, principalmente pela evolução tecnológica ao longo dos anos. Diversos estudos comparando e analisando diferentes variáveis tem sido publicados, demonstrando os fatores que podem afetar a precisão da técnica. (GIACOMO et al., 2005; VAN ASSCHE et al., 2012; RAICO-GALLARDO et al., 2017; BOVER-RAMOS et al., 2018; TAHMASEB et al., 2018; SKJERVEN et al., 2019a; SIQUEIRA et al., 2020; MASSUDA et al., 2022).

A evolução tecnológica como o escaneamento intraoral ou de modelos do paciente, associado diretamente a tomografia computadorizada cone beam, trouxe uma melhoria na precisão da técnica da cirurgia guiada estática de implantes. Entretanto, mesmo com essa evolução na forma da obtenção dos dados, muitos trabalhos observaram variações lineares e angulares nos implantes instalados pela cirurgia guiada, quando comparada aos implantes virtualmente planejados. Por esse motivo, a justificativa dessa pesquisa está baseada em investigar uma lacuna existente na literatura, que é a influência da densidade óssea na acurácia dos implantes instalados por essa técnica.

2 – REVISÃO DE LITERATURA

Misch em 1988, propôs uma classificação da densidade óssea dos maxilares, baseada nas características macroscópicas dos ossos corticais e trabeculares. Descreveu quatro tipos de densidades de forma crescente, da mais densa para a menos densa, sendo tipo D1 o osso cortical denso; tipo D2 o osso com uma cortical porosa e densa na crista e no seu interior um trabecular grosso; tipo D3 o osso cortical poroso e estreito e um trabecular fino e tipo D4 sendo osso trabecular fino. Os maxilares apresentam tipos de densidades ósseas distribuídas em diferentes regiões da boca. A densidade D1 é observada em baixa frequência na mandíbula, sendo geralmente na região anterior, e em menor porcentagem em região posterior. O tipo D2, é a densidade óssea mais observada na mandíbula, ocorrendo em cerca de dois terços dos casos na região anterior e em quase 50% dos pacientes na região posterior. Na maxila, o osso de densidade D2 é encontrado em um quarto dos pacientes, principalmente na região anterior e de pré-molares de pacientes parcialmente desdentados. A densidade D3 é muito comum na maxila, ocorrendo na região anterior desdentada em cerca de 75% dos pacientes e frequente em quase 50% dos pacientes na região posterior, principalmente em região de pré-molar. Na mandíbula, o tipo D3 ocorre em quase 50% dos pacientes em região posterior e em até 25% dos pacientes em região anterior. O tipo D4 é encontrado com frequência na região posterior da maxila, em cerca de 40% dos pacientes, sobretudo em região de molares, e em menos de 10% na região anterior. Na mandíbula o tipo D4 pode ocorrer em menos de 3% de pacientes completamente desdentados por longos períodos. A densidade óssea é um fator importante para se estabelecer um plano de tratamento em implantodontia. Influencia na escolha da abordagem da técnica cirúrgica, seleção do tipo de implante, no tempo de cicatrização bem como no carregamento da reabilitação protética (MISCH, 2008).

A relação de falhas dos implantes com pouca estabilidade primária na inserção e baixa densidade óssea está bem documentada. O volume e a qualidade óssea é determinante para a taxa de sucesso com implantes, sendo a estabilidade primária um critério fundamental na obtenção da osseointegração. A estabilidade primária está relacionada com a densidade óssea, abordagem cirúrgica e morfologia do implante utilizado. A densidade óssea é um parâmetro preditivo adicional na sobrevivência dos

implantes (SOGO et al., 2012).

Diversos estudos buscam relacionar a influência da densidade óssea em diferentes condições. Estudos clínicos correlacionam a densidade óssea do paciente por meio de tomografia computadorizada cone beam, através da escala de unidades Hounsfield (ISODA; SOGO; KOYANO, 2011 ; SOGO et al., 2012; HAKIM et al., 2019; MORAR et al., 2022). Por outro lado, pesquisas vem sendo conduzidas utilizando corpos de provas, a base de espuma rígida de poliuretano, fabricados de acordo com a norma ASTM F1839 da American Society for Testing and Materials (ASTM F1839, 2021) , para simular as diferentes densidades ósseas. Estudos biomecânicos nas áreas ortopédicas e odontológicas, avaliação de torque de inserção de implantes, avaliação da geração de calor na instrumentação do leito ósseo em diversas condições, tipos de fresas e técnicas de fresagem, macrogeometria de implantes e irrigação, dentre outros, empregam esses corpos de provas para simular as densidades ósseas (NAGARAJA; PALEPU, 2016; PÉREZ-PEVIDA et al., 2020; SALOMÓ-COLL et al., 2021; MATSUKAWA et al., 2020; GARGALLO-ALBIOL et al., 2021).

Nos anos 70, Godfrey Newbold Hounsfield, desenvolveu um método de adquirir radiografias em diferentes direções e/ou ângulos que poderiam ser digitalmente processadas para uma representação tridimensional. Essa técnica foi denominada de tomografia axial informatizada, sendo posteriormente de tomografia computadorizada. No ano de 1993, foi desenvolvido a primeira versão do software SimPlant pela Columbia Scientific inc (Glen burnie, MD, EUA), possibilitando a colocação de implantes virtuais de dimensões exatas em cortes transversais, axiais e panorâmicos de imagens de tomografia computadorizada. Em 1999, uma nova versão Simplant 6.0 (Columbia Scientific) adicionou ao software a criação de uma renderização de superfície de imagem reformatada tridimensional. Em 2002, Materialise (Leuven, Bélgica) adquiriu a Columbia Scientific e introduziu a tecnologia para perfuração de osteotomias com direção e profundidade exatas através de um guia cirúrgico (D'HAESE et al., 2017).

A cirurgia guiada estática de implante assistida por computador, é baseada na obtenção de dados 3D associada a tecnologia CAD/CAM (*computer-aided design*/*computer-aided manufacturing*). Através de um exame de tomografia computadorizada cone beam (TCCB) obtém-se uma representação tridimensional do

osso alveolar e dentes, gerando um arquivo DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine).* Para a obtenção de uma representação 3D dos dentes e tecidos moles, um escaneamento óptico intraoral ou do modelo de gesso é realizado, gerando um arquivo STL (*Standard Tesselation Language*). Os arquivos DICOM e STL são importados e sobrepostos em um software de planejamento que reconstrói a anatomia dos tecidos duros, dentes e tecidos moles, possibilitando o planejamento virtual tridimensional da posição do implante. Após o planejamento 3D do implante, o desenho virtual do guia cirúrgico é realizado e o arquivo exportado para ser confeccionado o guia cirúrgico através de impressão 3D ou fresagem, possibilitando a transferência do planejamento virtual para o ambiente cirúrgico, através de utilização de kits específicos. Nos casos de pacientes edêntulos totais, marcadores fiduciais são incorporados a prótese que deve estar bem adaptada e a TCCB do paciente com a prótese em boca e outra TCCB somente da prótese é realizada para a obtenção dos dados e alinhamento no software, para o planejamento e posterior impressão do guia. As guias cirúrgicas podem ser suportadas por dentes, mucosa ou osso. Pinos ou parafusos de fixação podem ser adicionados para melhorar a estabilização (COLOMBO et al., 2017; AL YAFI; CAMENISCH; AL-SABBAGH, 2019; KIATKROEKKRAI et al., 2020).

Diversas vantagens são atribuídas a técnica de instalação de implantes através da cirurgia guiada estática. Uma delas é a maior precisão dos implantes colocados. Desde o seu surgimento, pesquisas vem sendo realizadas com a finalidade de investigar a precisão, analisando e comparando diferentes variáveis. Giacomo et al, 2005, apresentaram resultados preliminares de um estudo clínico que teve o objetivo de avaliar a correspondência entre as posições dos implantes colocados com o emprego de um guia cirúrgico estereolitográfico, em relação aos implantes planejados. Um total de quatro pacientes foram incluídos no estudo. Foi realizado moldagem e realizado enceramento de diagnóstico que foram duplicados e um gabarito rígido e transparente (1 mm) foi fabricado sobre o molde duplicado usando um dispositivo a vácuo. Nas áreas desdentadas, os modelos foram revestidos com uma mistura composta de 10% de bário de alta densidade em 90% de verniz. Os pacientes realizaram o exame de tomografia computadorizada com o guia posicionado em boca e o planejamento virtual foi realizado no software SimPlant (Materialise). Através de um processo de estereolitografia foram confeccionados um modelo e três guias

cirúrgicos que continham tubos de metal de três diâmetros diferentes (2,2, 3,2 e 4,0 mm respectivamente) para cada área cirúrgica e utilizados conforme a sequência de fresagem da osteotomia. No estudo foram utilizadas guias ósseas suportadas, guias dento suportadas ou guias ósseas e dento suportadas. Um total de 21 implantes foram colocados e os pacientes realizaram tomografia computadorizada pós-operatória. As TC pré e pós-operatórias foram fusionadas através do software. Para avaliação da precisão as analisadas as variáveis de desvio no ombro do implante (porção mais coronal do centro do implante), desvio no ápice (centro do ápice do implante) e desvio de ângulo entre o implante planejado e colocado. Como resultado o desvio médio na região do ombro foi 1,45 ± 1,42 mm, o desvio médio no ápice do implante foi 2,99 ± 1,77 mm e desvio médio angular foi de 7,25 ± 2,67 graus. Os autores concluíram que prototipagem rápida de guias cirúrgicos poderia ser útil na colocação do implante, porém a técnica necessitaria de aprimoramentos na estabilização do guia nos casos unilaterais com e sem suporte dentário, além de considerar o custo-benefício. Concluíram também que novos estudos clínicos empregando um número maior de pacientes deveriam ser realizados para avaliar o real impacto do guia cirúrgico estereolitográfico na terapia com implantes.

Uma revisão sistemática com meta-análise foi realizada por Raico-Gallardo et al., 2017, com o objetivo de avaliar a precisão da cirurgia guiada para instalação de implantes, de acordo com o tecido de suporte (dente, mucosa ou osso). Quatro estudos foram incluídos para a meta-análise. Como parâmetros para avaliação, foram mensurados entre os implantes planejados e colocados os desvios de ângulo, desvio no ponto de entrada e desvios no ápice. Os autores concluíram que os resultados da revisão sugerem que existe uma associação entre o tipo de tecido de suporte do guia e a precisão da cirurgia virtualmente guiada. Os guias suportados por dentes mostraram maior precisão do que os suportados por mucosa ou osso.

Bover-Ramos et al., 2018, realizaram uma revisão sistemátca com meta-análise avaliando a precisão dos implantes instalados pela técnica de cirurgia guiada comparando estudos em cadáveres, in vivo e *in vitro*. Um outro objetivo foi comparar a precisão da cirurgia de implante semi-guiada com a da cirurgia de implante totalmente guiada. No resultado das buscas, um total de 34 estudos atendiam o critérios de inclusão para a meta-análise, sendo 4 estudos em cadáveres (246 implantes), 22 estudos clínicos (2.244 implantes) e 8 estudos *in vitro* (543 implantes).

Em relação a análise e comparação dos desvios horizontais apicais, os estudos *in vitro* (média 0,85 mm, IC 95% 0,5–1,2) mostraram maior precisão comparado aos estudos clínicos (média 1,40 mm, IC 95% 1,2–1,6) e estudos em cadáveres (média 1,52 mm, IC 95% 1,2 –1,9). Na análise do desvio angular, os estudos in vitro também obtiveram mais precisão (média 2,39 graus, IC 95% 1,7–3,1) do que estudos clínicos (média 3,98 graus, IC 95% 3,3–4,6) e estudos com cadáveres (média 2,82 graus, IC 95% 2,0). –3,6). Em relação aos desvios horizontais coronais e desvios verticais, não houve diferença estatísticas entre os grupos. Implantes instalados com cirurgia totalmente guiada obtiveram maior precisão do que os implantes colocados em cirurgias semi-guiadas nos desvios horizontais coronal, desvios horizontais apicais e desvios angulares.

Um estudo clínico randomizado controlado teve como objetivo principal comparar a precisão da cirurgia de implantes totalmente guiada suportada por dentes com a cirurgia de implantes a mão livre, em pacientes parcialmente edêntulos. Como objetivo secundário foi avaliar a precisão da instalação do implante usando uma guia de broca piloto apoiada no dente. Pacientes necessitando de 2 ou mais implantes na região posterior da maxila foram incluídos. Foi realizada tomografia computadorizada cone beam e moldagens da maxila com material de impressão a base de poliéter (Impregum® Penta Soft, 3M ESPE, Neuss, Alemanha) e moldagem da mandíbula com alginato (CA37, Cavex, Haarlem, Holanda). Modelos foram produzidos e um enceramento protético realizado. Em seguida foi realizada a digitalização do modelo mestre e do enceramento protético através de um scanner óptico de laboratório (3Shape, Copenhagen, Dinamarca). Os arquivos DICOM e STL foram importados e alinhados no software de planejamento de implantes (Simplant® 17.0, Dentsply Sirona Implants, Hasselt, Bélgica), sendo realizado planejamento 3D virtual para todos os implantes. Após o planejamento 3D virtual, os pacientes foram distribuídos aleatoriamente em um dos três grupos de tratamento: cirurgia à mão livre, cirurgia guiada por broca piloto ou cirurgia totalmente guiada. As cirurgias foram realizadas e após 12 semanas nova TCCB pós-operatória foi realizada, para alinhamento com a TCCB pré-operatória e análise dos desvios. No grupo totalmente guiado, dez pacientes tiveram 21 implantes instalados; no grupo a mão livre, onze pacientes tiveram 26 implantes instalados e no grupo guiado com broca piloto, onze pacientes tiveram 24 implantes instalados. Foram analisados os seguintes parâmetros: desvio

angular, desvio coronal global, desvio coronal lateral, desvio coronal vertical, desvio apical global, desvio apical lateral e desvio apical vertical. De acordo com os resultados dos desvios encontrados, os autores concluíram que a cirurgia totalmente guiada em paciente parcialmente edentado com guias apoiadas em dentes, demonstrou um alto grau de precisão de deve ser considerada a abordagem padrão ouro em relação a cirurgia a mão livre, quando o posicionamento perfeito do implante é necessário. A cirurgia guiada por broca piloto tem um menor grau de precisão, mas pode ser vantajosa em certas situações onde uma cirurgia totalmente guiada é contraindicada e a cirurgia a mão livre demonstrou baixa acurácia (YOUNES et al., 2018).

Zhou et al., 2018, realizaram uma revisão sistemática com meta-análise com o objetivo de analisar os fatores clínicos que afetam a precisão da cirurgia guiada de implantes. Quatorze artigos foram incluídos na revisão. De acordo com os resultados encontrados, os autores concluíram que a posição do guia (maxilar ou mandibular), fixação do guia (uso de parafuso de fixação ou não), tipo de guia (total ou parcialmente guiado), e a abordagem do retalho (aba aberta ou sem retalho), influenciaram a precisão da cirurgia de implante virtualmente guiada. Um sistema totalmente guiado usando parafusos de fixação com um protocolo de sem retalho demonstrou a maior precisão.

Uma revisão sistemática com meta-análise com objetivo de avaliar a precisão dos implantes instalados através da técnica de cirurgia guiada estática de implantes, em pacientes parcialmente e totalmente edêntulos, foi realizada por Tahmaseb et al., 2018. As taxas de sobrevivência dos implantes instalados usando sistemas guiados estáticos, também foram avaliadas. Na busca, vinte artigos preencheram os critérios de inclusão, sendo um ensaio clínico randomizado controlado, 8 estudos retrospectivos não controlados e 11 estudos prospectivos não controlados. Um total de 1883 implantes foram instalados. Foram avaliadas as variáveis de cada estudo selecionado como: desvio no ponto de entrada medido a partir do centro do implante (mm), desvio no ápice medido do centro do implante (mm), desvio de angulação (°), erro na altura do implante no ponto de entrada (mm) e erro na altura do implante no ápice (mm). Como resultado, o desvio médio do ponto de entrada foi de 1,3 mm IC: 95% (1,09-1,56 mm) para casos totalmente edêntulos e 0,9 mm IC:95% (0,79-1,0 mm) para casos de parcialmente edêntulos; O desvio médio total do ponto de entrada de

todas as cirurgias guiadas (parcial e totalmente edêntulos) foi de 1,2 mm IC: 95% (1,04-1,44). Os casos de parcialmente edêntulos apresentaram menor erro e desvio no ponto de entrada comparado aos casos totalmente edêntulos. O desvio médio para posição apical foi de 1,2 mm IC 95% (1,11-1,20 mm) para os casos parciais e 1,5 m IC:95% (1,29-1,62) para casos de totalmente edêntulos. O erro médio apical para todos os casos foi 1,4 mm IC: 95% (1,28-1,58), encontrando uma diferença fortemente significativa entre casos parciais e desdentados totais. O desvio angular para casos parcialmente edêntulo foi 3,3 graus IC: 95% (2,07- 4,63) e de 3,3 graus IC: 95% (2,71-3,88) para casos totalmente edêntulo. O desvio angular médio para os casos parciais e totalmente edêntulos foi de 3,5 graus IC: 95% (3,00–3,96), não havendo diferença significativa entre parcial e totalmente edêntulo. O erro médio de altura do implante no ponto de entrada foi de 0,2 mm IC 95% (- 0,25 - 0,57 mm). O erro médio de altura do implante no ápice foi de 0,5 mm IC: 95% (0,08- 1,13 mm). Somente dois artigos relataram taxa de sobrevivência dos implantes, apresentando uma taxa de 100% de sobrevida dos implantes após pelo menos 1 ano de observação. De acordo com a revisão sistemática com meta-análise realizada, os autores concluíram que cirurgia de implante guiada estática é um procedimento clínico aceitável na maioria das situações clínicas, porém uma margem de segurança de pelo menos 2 mm deve ser respeitada. Foi encontrada falta de homogeneidade nas técnicas adotadas entre os diferentes autores e os delineamentos gerais dos estudos. Os casos tratados de pacientes parcialmente edêntulos apresentou maior precisão comparado aos casos dos pacientes totalmente edêntulos tratados.

Segundo Tatakis; Chien; Parashis, 2019, na cirurgia guiada de implantes erros substanciais podem ocorrer em cada etapa individual e podem acumular-se, impactando significativamente a precisão final. A perda da precisão é cumulativa e corresponde a soma de erros individuais, tais como: erros na obtenção de imagens e processamento dos dados, erros na confecção da guia, erros na instalação do guia e movimentação da guia durante a perfuração, tipo de suporte usado para a guia (mucosa com ou sem parafuso de fixação, osso e dente) e erro humano. A tolerância das brocas dentro do tubo de perfuração e/ou das chaves, causada pela folga do cilindro da broca necessária para a tolerância rotacional das brocas no tubo, pode ser uma fonte adicional para possíveis erros na precisão da cirurgia guiada. O efeito na precisão é proporcional à diferença entre o diâmetro da broca e do tubo de broca e o

comprimento da broca.

El Kholy et al., 2019, em um estudo *in vitro*, investigaram o efeito do suporte do guia cirúrgico, especificamente o número de dentes que suportam e da localização do sitio do implante na precisão da cirurgia estática de implante assistida por computador, em pacientes parcialmente edêntulos. Um total de 375 implantes foram instalados em 85 modelos de estudos simulando osso humano (Bonemodels). Em cada modelo de estudo tinha seis potenciais locais para instalação de implante , nas posições do 15, 12, 21, 23, 25 e 26. Todos os modelos de estudo tinham um local de implante (posição 21) simulando um alvéolo de extração fresco, uma situação de extensão distal (posição 25 e 26) e três situações de lacuna dentária única (15, 12, 23). O planejamento virtual dos implantes foi realizado e as guias cirúrgicas estáticas foram impressas em impressoras 3D. Os modelos de estudo e desenhos de guias cirúrgicos foram divididos em quatro grupos experimentais diferentes, com base no comprimento do guia utilizado durante o protocolo de colocação do implante: guias com suporte de arco completo e guias parciais suportadas por 4 dentes, guias parciais suportadas por 3 dentes e guias parciais suportadas por 2 dentes. No grupo das guias com suporte completo, foram produzidas quarenta guias cirúrgicas de arcada completa para quarenta modelos de estudo. Cada guia cirúrgica foi utilizada para colocar 6 implantes nas posições 15, 12, 21, 23, 25 e 26, resultando em um total de 240 implantes colocados. Nos grupos das guias parciais suportadas, em cada grupo, quinze modelos de estudo foram incluídos, sendo quarenta e cinco guias cirúrgicas em cada grupo, representando três configurações diferentes de guias suportadas por dentes, fabricadas usando o mesmo software e impressora 3D. A colocação cirúrgica dos implantes foi realizada por dois experientes cirurgiões. Após a colocação do implante, os scan body correspondentes foram fixados em cada implante, e um escaneamento intraoral de arco completo foi realizado usando um scanner 3shape TRIOS®. Usando a ferramenta *treatment evaluation* no software coDiagnostiX, cada escaneamento pós-operatório foi sobreposto ao planejamento virtual pré-operatório correspondente usando os mesmos locais anatômicos em cada modelo de estudo. No estudo foram analisadas as seguintes variáveis: distância de desvio 3D do centro da crista do implante; distância de desvio 3D do centro do ápice do implante e desvio angular. A análise revelou que o número e a localização dos dentes que suportam a guia cirúrgica podem influenciar significativamente a precisão da cirurgia guiada estática. Em

situações de lacuna dentária única, a precisão fornecida pelas guias cirúrgicas suportadas por 4 dentes foi igual à precisão das guias de arcada completa. Implantes colocados por guias cirúrgicas apoiadas em 3 dentes (n = 45) apresentaram maiores desvios 3D e angulares, quando comparados com guias de arcada completa e 4 dentes, mas valores semelhantes quando comparados com guias cirúrgicas suportadas por 2 dentes. Os implantes colocados em situações de extensão distal, utilizando cirurgia guiada estática, resultaram em valores de desvio significativamente maiores quando comparados aos implantes posteriores colocados em locais apoiados bilateralmente.

Uma revisão sistemática com meta-análise teve como objetivo comparar a precisão da cirurgia de implante assistida por computador estática, totalmente guiada, usando fluxos de trabalho parcialmente e totalmente digitais, em pacientes parcialmente edêntulos. Um total de 13 artigos (6 ensaios clínicos randomizados controlados e sete estudos clínicos prospectivos) foram incluídos para síntese quantitativa e qualitativa. Todos os estudos avaliaram resultados de cirurgia guiada estática de implantes em pacientes parcialmente edêntulos. Em todos os estudos, os implantes foram planejados virtualmente em software de planejamento, com dados da TCCB e tiveram a guia apoiada sobre dentes. Nove estudos apresentavam fluxo de trabalho parcialmente digital, sendo que em três estudos foram utilizados guias cirúrgicas laboratoriais para protocolo de duplo escaneamento e desenho da guia cirúrgica, três outros estudos realizaram a digitalização do modelo de gesso através de scanner extraoral, obtendo os modelos 3D para o planejamento dos implantes, um estudo utilizou a TCCB de uma impressão convencional de polivinil siloxano (PVS) para obter modelos 3D para planejamento de implantes. Os dois estudos restantes compararam um fluxo de trabalho parcialmente digital, através do escaneamento extraoral de modelos de gesso, com um fluxo totalmente digital obtidos por escaneamento intraoral, sendo os dados destes últimos estudos extraídos para o grupo de fluxo de trabalho totalmente digital. Outros quatro estudos eram de fluxo de trabalho totalmente digital. Foram analisados os desvios globais na porção coronal e apical, o desvio angular e o desvio de profundidade. Os resultados apontaram a nível coronal do implante um desvio global médio ponderado geral de 1,03 mm (IC 95%: 0,88-1,18 mm). O grupo totalmente digital, o desvio médio ponderado (coronal) foi de 0,89 mm (IC 95%: 0,74-1,05 mm), enquanto para o grupo parcialmente digital esse

valor foi de 1,14 mm (IC 95%: 0,89-1,39 mm). Ao nível do ápice do implante , o desvio global médio ponderado geral foi de 1,33 mm (IC 95%: 1,17-1,50 mm). No grupo totalmente digital, esse valor foi de 1,20 mm (IC 95%: 1,02-1,39 mm) e de 1,42 mm (IC 95%: 1,16-1,69 mm) para o grupo parcialmente digital. O desvio angular médio ponderado geral foi de 2,68°, com 95% (IC de 2,32° a 3,03°), sendo no grupo totalmente digital o desvio angular médio foi de 2,59° (IC 95%: 1,97-3,20°) e o grupo parcialmente digital apresentou desvio angular de 2,76° (IC 95%: 2,30-3,23). O desvio de profundidade médio ponderado para todos os artigos disponíveis foi de 0,59 mm (IC 95%: 0,46-0,70 mm). Para o grupo totalmente digital esse valor foi de 0,55 mm (IC 95%: 0,42-0,68 mm), e para o grupo parcialmente digital foi de 0,62 mm (IC 95%: 0,38-0,87 mm. Em ambos os grupos, foi relatada uma taxa de sobrevivência global de 97,48-100% durante um intervalo de 12 a 24 meses de acompanhamento. Os autores concluíram que dentro das limitações da revisão sistemática, uma precisão semelhante é obtida quando os implantes são colocados em pacientes parcialmente edêntulos através da cirurgia guiada estática totalmente guiada, independente do fluxo de trabalho utilizado para o planejamento do implante e fabricação do guia cirúrgico e a que a escolha do fluxo de trabalho deve levar em consideração custo, conforto do paciente e preferência do operador (SIQUEIRA et al., 2020).

Putra et al., 2020, realizaram um estudo retrospectivo com o objetivo de analisar a influência da condição óssea na precisão da colocação do implante com cirurgia guiada por computador . A densidade óssea, a largura óssea e a espessura do osso cortical na crista óssea foram investigadas como fatores que influenciam a precisão da colocação do implante. O estudo foi direcionado a implantes *tissue level* instalados na região posterior da mandíbula. Baseado nos critérios de inclusão, um total de 47 implantes de 25 pacientes foram incluídos neste estudo. Após o planejamento virtual com os dados da tomografia computadorizada e o escaneamento do modelo com enceramento de diagnóstico simulando a prótese no software Simplant® Pro 16 (Dentsply Sirona,Charlotte, NC, EUA), foi fabricada a guia cirúrgica estereolitográfica. Na cirurgia dos implantes, a guia cirúrgica suportada pelos dentes foi utilizada durante os procedimentos iniciais de perfuração, enquanto os implantes foram inseridos diretamente sem a guia. A análise da densidade óssea, largura óssea e espessura do osso cortical em a área de colocação do implante foi medida usando o Simplant® Pro 16. A densidade óssea foi dividida em dois grupos com base na

média da densidade óssea global, que foi de aproximadamente 500 HU, não podendo ser aplicada no estudo a classificação de densidade óssea (de Misch ou Norton and Gamble) devido ao pequeno número de amostras classificadas em alguns grupos. Para avaliar a precisão, a posição do implante colocado foi determinada usando os dados STL obtidos do modelo de gesso pós-cirúrgico digitalizado, que foi usado para fabricar o modelo final supraestrutura. Para análise da precisão, foram utilizados os parâmetros de desvio linear na plataforma do implante, desvio linear em na região apical do implante, desvio vertical na plataforma do implante plataforma e desvio vertical no ápice do implante. De acordo com os resultados deste estudo, quando cada um dos preditores da condição óssea foram investigados como um único preditor da precisão da colocação do implante, apenas a densidade óssea teve uma correlação negativa significativa na precisão da colocação do implante com cirurgia guiada por computador. Com base neste resultado, maior desvio do implante foi observado na condição de baixa densidade óssea. Por outro lado, quando vários preditores da condição óssea foram considerados, todas as condições ósseas tiveram uma correlação negativa, especialmente a densidade óssea e a largura óssea que influenciaram significativamente a precisão da colocação do implante. Os autores concluíram dentro da limitação do estudo, que a condição óssea pode influenciar a precisão da colocação do implante com cirurgia guiada por computador. Baixa densidade óssea e/ou largura vestíbulo-lingual estreita, próxima à crista óssea alveolar no local da colocação do implante, pode ser um fator de risco que pode levar ao desvio na colocação do implante.

Massuda et al, 2022, avaliaram a precisão da técnica de cirurgia guiada estática associada a escaneamento intraoral em pacientes edentados parciais. Onze pacientes com ausências parciais de elementos dentários foram submetidos a exame de tomografia computadorizada cone beam e escaneamento intraoral com Trios® (3Shape). Os dados foram integrados no software ImplantViewer 3.5 para o planejamento virtual dos implantes e impressão 3D do guia cirúrgico. Um total de 18 implantes foram instalados com a técnica da cirurgia guiada. Após 15 dias, a tomografia pós-operatória foi realizada e sobreposta a tomografia do planejamento virtual para análise. Foram mensuradas quatro variáveis entre os implantes virtualmente planejados e os implantes instalados: desvio angular, coronal, apical e vertical, através da sobreposição entre as tomografias pré e pós-operatórias, do

planejamento virtual e da cirurgia guiada realizada, utilizando software ImplantViewer 3.5 e Rhino 6 (Rhinoceros). O resultado do estudo mostrou desvios em todos os parâmetros analisados. O desvio médio angular em todas amostras foi 2,68 ± 1,62 °, o desvio médio coronal foi de 0,82 ± 0,44 mm; o desvio médio apical foi de 1,14 ± 0,44 mm; o desvio médio vertical foi de 0,62 ± 0,44 mm. Os autores concluíram que a técnica de cirurgia guiada de implantes associada ao escaneamento intraoral em desdentados parciais, apresenta desvios angulares e lineares, quando comparadas ao planejamento virtual, entretanto dentro da tolerância clínica.

Chandran et al., 2023, avaliaram a precisão da colocação imediata do implante em alvéolos pós-extração com cirurgia guiada estática e com a técnica de instalação à mão livre, em um ensaio clínico randomizado controlado. Os grupos foram divididos em grupo teste (implante em alvéolos pós-extração com cirurgia guiada estática), total de 40 pacientes e grupo controle (implante em alvéolos pós-extração realizado a mão livre), total de 40 pacientes, sendo os pacientes alocados após randomização. Foram realizadas TCCB pré-operatórias com tomógrafo Orthophos SL® (Sirona, Bensheim, Alemanha) e escaneamento intraorais com scanner Primescan® (Sirona, Bensheim, Alemanha) e o planejamento virtual realizado no software R2Gate® (Megagen, Gyeongbuk, Coréia do Sul) e sendo os guias impressos em impressora 3D MoonRay (Sprintray Inc., Los Angeles, CA, EUA). As cirurgias foram realizadas em ambos os grupos, totalizando 80 implantes (40 em cada grupo). Seis semanas após a cicatrização, foi realizado um escaneamento pós-operatório da posição do implante em ambos os grupos, com finalidade de realizar a sobreposição com os dados pré-operatórios no software 3-Matic® (materialize Leuven, Bélgica). Como resultado, 61 pacientes atenderam os critérios de inclusão, sendo 29 pacientes no grupo teste e 32 pacientes no grupo controle. Foram analisados os desvios de ângulo, desvios de profundidade, desvios apicais na direção vestíbulo lingual, desvios apicais na direção mesiodistal, desvios na crista na direção mesiodistal e desvios na crista na direção vestíbulo lingual. De acordo com os resultados apresentado, os autores concluíram que dentro das limitações do estudo, a cirurgia guiada estática de implante é significativamente mais precisa do que a cirurgia à mão livre para colocação imediata de implante em alvéolos pós-extração. O protocolo de cirurgia guiada não parece ser influenciado pela localização dos implantes na mandíbula, mas ambos os protocolos de cirurgia apresentaram menos desvios para colocação imediata de implantes na

mandíbula do que na maxila.

Um estudo *in vitro* avaliou os desvios de implantes com diferentes macrogeometrias colocados em cristas edêntulas com diferentes densidades ósseas usando uma guia cirúrgica estereolitográfica óssea suportada. Dezesseis modelos (8 de mandíbula e 8 de maxila) foram criados a partir de TCCB de voluntários masculinos edêntulos saudáveis. Os arquivos no formato Dicom foram segmentados no software Mimics Innovation Suite (Materialize) e os dados segmentados foram convertidos em modelos 3D e exportados no formato STL. Os modelos 3D foram modelados com espessura e altura cortical e medular de acordo com a região anatômica, no software 3-matic (materialize). Os modelos foram planejados de acordo com a classificação de densidade óssea de Misch, com densidades óssea D3 na região anterior da maxila, densidade óssea D4 na região posterior da maxila e densidade óssea D2 na região anterior da mandíbula e densidade óssea D3 na região posterior da mandíbula. Os modelos anatômicos foram produzidos na impressora J750 3D (Stratasys), imprimindo a cortical óssea como transparente e o osso esponjoso em diferentes cores. Foi realizada a TCCB dos modelos e o planejamento e confecção das guias cirúrgicas estereolitográficas realizadas no software NobelGuide DTX Studio system (Kavo dental). Um total de 64 implantes NobelParallel Conical Connection RP, de 4.3 x 13 mm e 64 implantes NobelActive, 4.3 x 13 mm foram colocados em oito modelos de maxila e oito modelos de mandíbulas, com NobelGuide e um kit de broca especial utilizado com chave de anilha metálica substituível. Os oito grupos de estudos (n=16) foram formados de acordo com a densidade óssea e macrogeometria dos implantes: G1/G2, densidade D3 em maxila/ densidade D4 em maxila e implante cônico; G3/G4, densidade D3 em maxila/ densidade D4 em maxila e implante paralelo; G5/G6, densidade D2 em mandíbula/ densidade D3 em mandíbula e implante cônico; G7/G8, densidade D2 em mandíbula/ densidade D3 em mandíbula e implante paralelo. Após a colocação dos implantes foi realizada uma TCCB pós-operatória e sobreposta ao planejamento virtual, para realizar as mensurações dos desvios. Foram analisados o desvio global, desvio lateral, desvio de profundidade e desvio angular. Os grupos apresentaram diferenças estatísticas no desvio global, lateral e de profundidade. Não houve diferença estatísticas entre no desvio angular. O grupo G8 apresentou maior desvio global e o grupo G1 menor desvio global, sendo a diferença estatisticamente significante (P = 0,01). O maior desvio lateral foi no grupo G6 e o menor no grupo G1,

com diferença estatisticamente significante (*P* = 0.047). O grupo G3 apresentou maior desvio de profundidade e o G1 apresentou o menor, sendo essa diferença estatisticamente significante (*P* = 0,03). Quando todos os grupos foram avaliados em termos de cada parâmetro de desvio estatisticamente diferente, determinou-se que o grupo com menor desvio para cada parâmetro foi o G1. Embora não ter ocorrido diferenças estatísticas entre os grupos em relação ao desvio angular, o grupo G1 apresentou maior desvio de ângulo e o G8 apresentou o menor. Quando todos os dados dos grupos foram avaliados, os valores dos desvios para todos os implantes da mandíbula e maxila foram examinados sem considerar o tipo de osso e implante, não foram encontradas diferenças estatísticas em termo de desvios (*P* = 0,05). Mais altos valores numéricos foram observados em mandíbula nos desvios global e lateral e maiores valores numéricos foram encontrados em maxila nos desvios angulares. Ambos os grupos apresentaram valores muito próximos no desvio de profundidade. Não foi encontrada diferença estatística entre os tipos de desvios em termos de tipo ósseo. Quando os resultados foram avaliados somente de acordo com tipos de implantes, não foi encontrada diferenças estatísticas entre os tipos de desvios. De acordo com o estudo, os autores concluíram que independente da macrogeometria dos implantes dentários com guia, não foi observada diferença significativa entre os valores de desvio dos implantes com base nas diferentes densidades ósseas em que foram aplicados (DERE; SAHIN; OZDEDE, 2023).

O método frequentemente utilizado para a avaliação da acurácia da cirurgia guiada estática, é através da sobreposição da TCCB pós-operatória na TCCB pré-operatória, comparando o implante planejado virtualmente e o implante colocado. (YOUNES et al., 2018; DERKSEN et al., 2019; MAGRIN et al., 2020). Métodos alternativos para a avaliar a posição dos implantes colocados e comparar aos planejados virtualmente, vem sendo descritos na literatura, com a finalidade de reduzir a exposição de radiação adicional ao paciente (KOMIYAMA et al., 2011; FRANCHINA et al., 2020; NICCHIO et al., 2023).

Nickenig e Eitner, 2010, propuseram um método alternativo para a avaliação da precisão cirúrgica dos implantes colocados, comparando com a posição dos implantes planejados virtualmente, utilizando dados da tomografia computadorizada de feixe cônico e modelos do guia cirúrgico. Para cada paciente foi confeccionada uma prótese de estudo e duplicada em resina acrílica radiopaca com três marcadores

de titânio integrados, para a realização da tomografia computadorizada de feixe cônico e servir como modelo de digitalização para planejamento no software. Após a cirurgia dos implantes, para comparar a posição planejada do implante com ao implante colocado, foi realizada uma tomografia computadorizada de feixe cônico do modelo de tratamento protético, contendo réplicas de implantes e com o guia cirúrgico exatamente posicionado. Os três marcadores de titânio incorporados no guia, possibilitou o alinhamento dos dados no software (coDiagnostix-Imagefusion,IVS-Solutions, Chemnitz, Alemanha). Baseado na transferência exatas realizadas com pilares de impressão, a posição das réplicas dos implantes era idêntica à posição dos implantes instalados clinicamente. Esse método teve como proposta a reduzir a exposição de radiação adicional ao paciente.

Um estudo avaliou a acurácia do posicionamento dos implantes colocados usando uma guia cirúrgica suportada por dentes projetadas digitalmente. Também teve o objetivo de avaliar se o registro das posições pós-operatórias obtidas através de escaneamento intraoral era comparável ao obtido com o uso de TCCB. Vinte e oito implantes foram instalados em treze pacientes através de uma guia cirúrgica apoiada por dentes seguindo um procedimento de planejamento digital e ficaram submersos de 12 a 15 semanas, sendo reabertos após esse período com instalação de cicatrizadores. Nova TCCB pós-operatória foi realizada. Duas semanas após a reabertura, teve início a reabilitação protética. Os implantes tiveram os corpos de digitalização apropriados instalados e foram moldados digitalmente com scanner iTero IO (Align Technologies). Para a análise da acurácia utilizando o registro do escaneamento intraoral, o arquivo STL (*Standard Tessellation Language*) obtido, contendo a superfície da dentição e os corpos de digitalização foram importados para o software coDiagnóstiX (Dental Wings Inc) no módulo *treatment evaluation* e alinhado ao modelo 3D gerado na TCCB pré-operatória. O software detectou automaticamente os corpos de escaneamento, gerando os valores métricos para os desvios entre a posição planejada e instalada dos implantes. Para a análise da acurácia utilizando a TCCB, a tomografia computadorizada pós-operatória foi importada para o software coDiagnóstiX no módulo *treatment evaluation*. A TCCB pós-operatória contendo as representações visíveis dos implantes foram alinhadas com as TCCB pré-operatórias contendo os implantes planejados usando referências anatômicas. Com base no alinhamento, o software calculou os desvios métricos entre

os implantes planejados e os instalados. Foram calculados os desvios de ângulo, deslocamento 3D coronal e apical, desvios distal, vestibular e apical no ponto coronal e desvios vestibular, distal e apical no ponto apical. Como resultado, a TCCB pós-operatória e o escaneamento intraoral não resultaram em diferenças significativas, exceto para os desvios apicais nos pontos coronais e apicais. Os autores concluíram que a cirurgia guiada usando uma abordagem estática com guias cirúrgicos, podem produzir desvios clinicamente aceitáveis entre a posição planejada e do implante colocado, porém dentro dos desvios relatos por outros investigadores. Concluíram também, que os resultados do presente estudo indicam que as tecnologias de escaneamento intraoral podem substituir a TCCB como método para avaliar as diferenças entre as posições planejadas e alcançadas dos implantes em estudos clínicos in vivo em cirurgia guiada de implantes (SKJERVEN et al., 2019b).

Son; Huang; Lee, 2020, descreveram um método para avaliar a precisão do implante instalado através da técnica de cirurgia guiada estática. O objetivo da técnica descrita foi identificar a posição pós-cirúrgica do implante e compará-la com a posição planejada do implante sem o uso de tomografia pós-operatória. Para identificar a posição do implante instalado, é realizado o escaneamento de um corpo de digitalização (scan body) conectado em um implante idêntico ao que foi instalado no paciente, gerando um arquivo tridimensional na extensão STL. Em seguida, um escaneamento intraoral do paciente é realizado conectando no implante o seu respectivo scan body, gerando um modelo virtual após digitalização. Os dois arquivos STL são exportados para um software odontológico de CAD e sobrepostos através do alinhamento dos scan body, gerando um arquivo STL mesclado. A etapa seguinte consiste em exportar o arquivo STL mesclado para o software que foi realizado o planejamento virtual e realizar a sobreposição no modelo do planejamento do implante, possibilitando a comparação dos desvios entre o implante do planejamento e o implante pós-operatório.

Franchina et al., 2020, em um estudo *in vitro*, tiveram como objetivo investigar a utilização da impressão através do escaneamento intraoral como método alternativo a TCCB, na avaliação pós-operatória dos implantes instalados, comparando com o planejamento virtual pré-operatório. Quinze modelos de resina foram impressos e em cada modelo, seis implantes foram implantes instalados pela técnica a mão livre, através de cirurgia guiada estática e cirurgia guiada dinâmica por navegação. Para

avaliação da precisão dos implantes colocados, foram realizadas TCCB pós-operatória e escaneamento intraoral, que foram sobrepostos no planejamento pré-operatório, sendo feita a comparação entre os dois métodos: TCCB e escaneamento intraoral. Nos resultados da precisão entre implantes instalados e planejados, diferenças estatisticamente significantes foram encontradas entre os grupos guiados estáticos e por navegação em relação ao grupo que tiveram implantes instalados a mão livre, em todos os desvios analisados: desvios coronais foram 0,79±0,35 mm; 0,89±0,37 mm; 1,65±0,61 mm; os desvios de ângulo foram 3,23º±1,00; 2,76 º±1,38 ; 7,41º±3,87; os desvios apicais foram 1,17±0,48 mm; 1,31±068 mm; 2,33±1,01 mm e os desvios de profundidade foram 0,36±0,29 mm; 0,51±0,46 mm; 0,83±0,49 mm, para os grupos de cirurgia guiada estática, grupo guiada por navegação e grupo a mão livre, respectivamente. Entre os grupos de cirurgia guiada estática e cirurgia dinâmica por navegação não foram encontradas diferenças estatísticas. Em relação aos métodos utilizados para comparação da precisão, não foram encontradas diferenças médias estatisticamente significativas entre a da TCCB e do escaneamento intraoral. Os autores concluíram que dentro da limitação desse estudo *in vitro*, o escaneamento intraoral é um método válido comparado com a TCCB e deve ser utilizado quando se busca investigar a precisão dos implantes, evitando o impacto biológico da realização de uma segunda TCCB pós-operatória.

3 – OBJETIVOS

3.1 - OBJETIVO GERAL

O objetivo da pesquisa é investigar a influência da densidade óssea na acurácia dos implantes instalados pela técnica de cirurgia guiada estática, *in vitro*.

3.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar os desvios angulares e desvios lineares entre os implantes planejados virtualmente e os implantes instalados nos corpos de prova inseridos em modelos impressos, com guias totalmente apoiadas sobre dentes.

A hipótese alternativa postulada é que a densidade óssea D4 apresenta maiores desvios.

4 – MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 - DELINEAMENTO DO ESTUDO

Para a realização do estudo, um modelo de gesso de maxila foi digitalizado através de um scanner intraoral (Omnicam Cerec AF - Dentsply Sirona) e realizado a confecção de um nicho para incorporação de um corpo de prova, no software Autodesk Meshmixer (figura 1). Com o arquivo na extensão STL (Standard Tessellation Language), 60 modelos em resina (resina Prizma 3D Model LCD – Makertechlabs®) foram obtidos por impressão 3D (impressora LCD Anycubic Photon Mono X 6k) (figura 2).

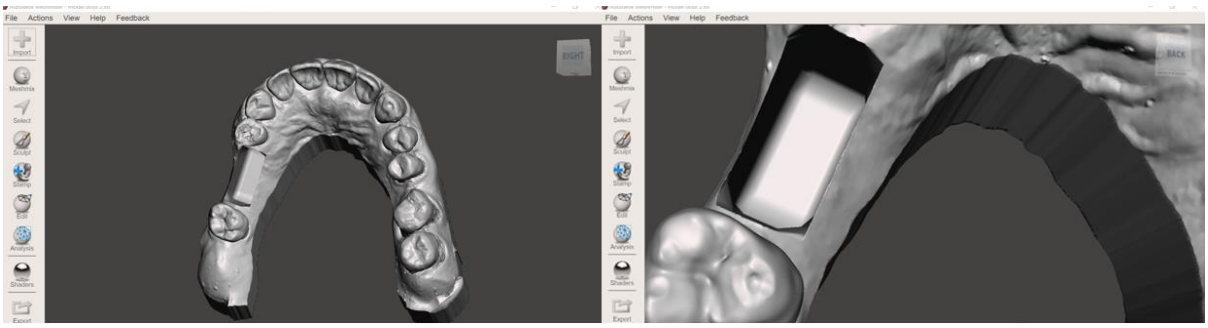

Figura 1 – Modelo digitalizado com confecção de nicho (software Autocad Meshmixer). Fonte: Autor (2023).

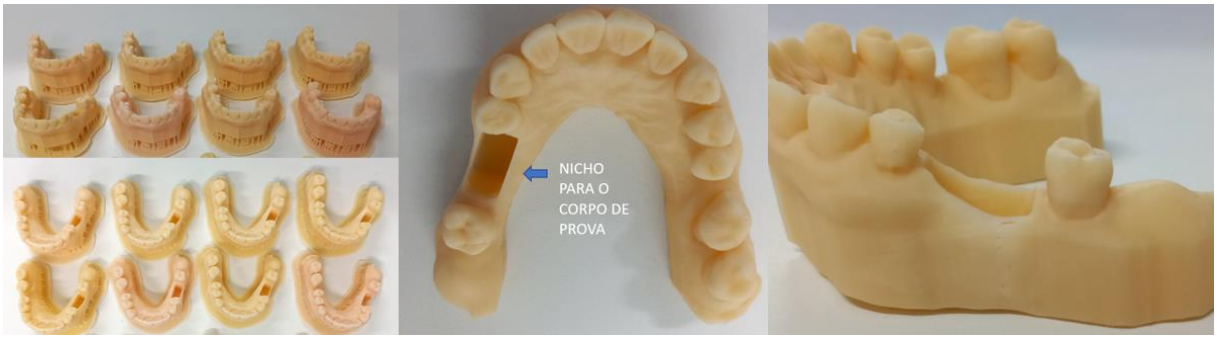

Figura 2- Modelos em resina obtidos por impressão 3D, com nichos. Fonte: Autor (2023).

Para a pesquisa, foram utilizados 60 blocos de espumas rígidas de poliuretano (Nacional Ossos) simulando diferentes densidades ósseas de acordo com a classificação de MISCH (1988), fabricados de acordo com a norma ASTM-F1839 da *American Society for Testing and Materials* (figura 3). Os corpos de prova foram customizados com uma serra de ourives fina (de 0,28 a 0,32 mm) em dimensões de 6 mm de largura por 14 mm de altura e 14 mm de comprimento aproximadamente,

para encaixar no nicho do modelo de forma passiva, evitando compressão (figura 4). Em seguida foram acoplados nos nichos através de colagem com cola a base de cianoacrilato (TEKBOND®) (figura 5).

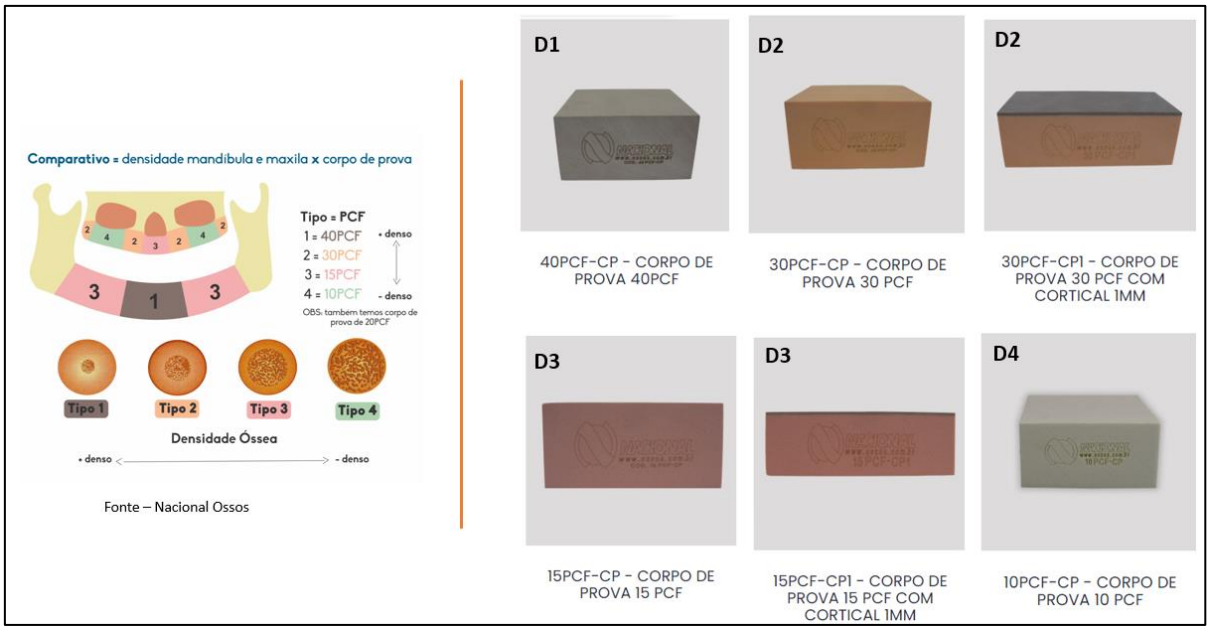

Figura 3 – Esquema indicando as densidades ósseas correspondentes nos corpos de prova. Fonte: Nacional Ossos.

Figura 4 - Corpos de prova customizados com serra de ourives. Fonte: Autor (2023).

Figura 5 – Corpo de prova incorporado no nicho através de colagem, com cola a base de cianoacrilato (TEKBOND®). Fonte: Autor (2023).

Os corpos de provas foram divididos em 6 grupos contendo 10 amostras em cada grupo, da seguinte forma:

- D1 – corpo de prova 40PCF-CP – modelo com corpo de prova simulando densidade óssea tipo 1.

- D2 - corpo de prova 30PCF-CP - modelo com corpo de prova simulando densidade óssea tipo 2.

- D2 C – corpo de prova 30PCF-CP1 - modelo com corpo de prova simulando densidade óssea tipo 2 com camada de 1 mm cortical .

- D3 - corpo de prova 15PCF-CP - modelo com corpo de prova simulando densidade óssea tipo 3.

- D3 C - corpo de prova 15PCF-CP1 - modelo com corpo de prova simulando densidade óssea tipo 3 com camada de 1 mm cortical.

- D4 – corpo de prova 10PCF - modelo com corpo de prova simulando densidade óssea tipo 4.

Todos os modelos foram identificados com numeração referente a respectiva amostra e ao corpo de prova (figura 6). Foram submetidos a tomografia computadorizada cone beam (equipamento Cranex), com mesmo protocolo de aquisição, gerando os arquivos DICOM (*Digital Images and Communications in*

Medicine) e moldados digitalmente através de scanner intraoral (Omnicam Cerec AF - Dentsply Sirona) para obtenção dos arquivos STL (*Standard Tessellation Language*) (figura 7). Os arquivos DICOM e STL foram integrados e sobrepostos no software de planejamento cirúrgico Exoplan®(EXOCAD) para o planejamento da instalação do implante através da técnica da cirurgia guiada estática. Em cada modelo foi planejado a instalação de um implante do tipo cone morse, de macrogeometria hibrida (cilíndrico-cônica) da linha Strong Sw, com dimensão de 3,5 mm de diâmetro por 10 mm de comprimento (S.I.N. Implant System), na região do corpo de prova correspondente ao dente 15, colocado no nível ósseo (figura 8). Em seguida, foi realizado o desenho do guia cirúrgico, contendo a identificação referente a amostra (figuras 9 A e B). Com o arquivo STL do desenho do guia cirúrgico, foi realizada a impressão do guia na impressora 3D (Anycubics Photon Mono X 6K), utilizando a resina priZma 3D Bio Guide (Makertechlabs®) (figura 10 A e B). Todos os guias cirúrgicos foram confeccionados com o mesmo formato, com apoio sobre dentes na região do elemento 17 até o elemento 23 e com apoio parcial em região do palato e sua adaptação sobre os modelos foi minuciosamente checada. A instalação dos implantes nos corpos de prova foi realizada seguindo o protocolo de fresagem do fabricante (figura 11 A, B e C).

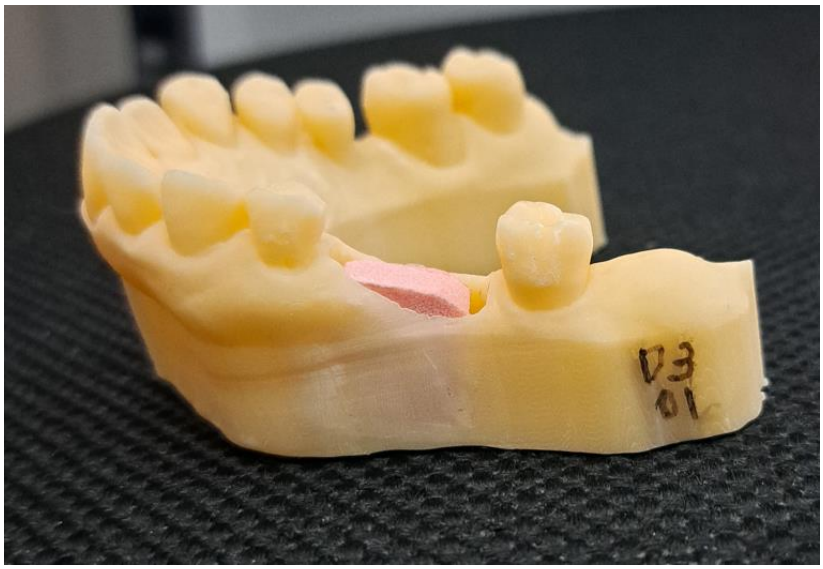

Figura 6 – Identificação dos modelos de acordo com amostra e densidade do corpo de prova.
Fonte: Autor (2023).

Figura 7 – Escaneamento do modelo. Fonte: Autor (2023).

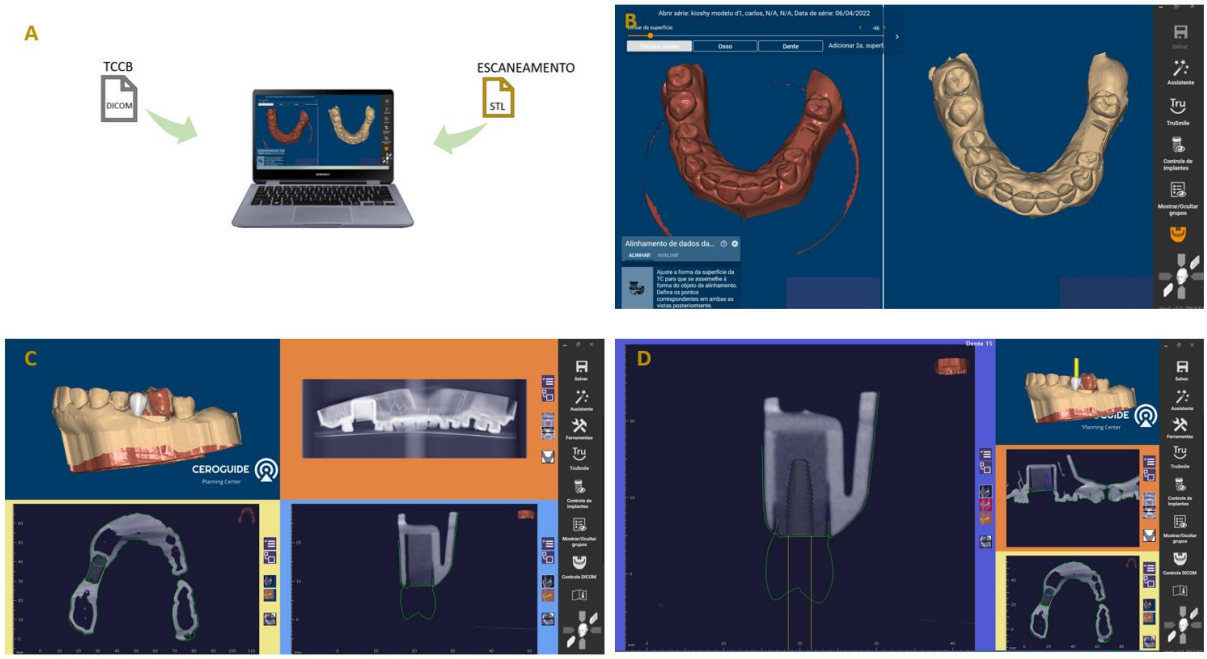

Figura 8 – A – Arquivos DICOM e STL integrados no software Exoplan®. B – Alinhamento dos arquivos DICOM e STL. C e D – Enceramento virtual e planejamento virtual da instalação do implante. Fonte: Autor (2023).

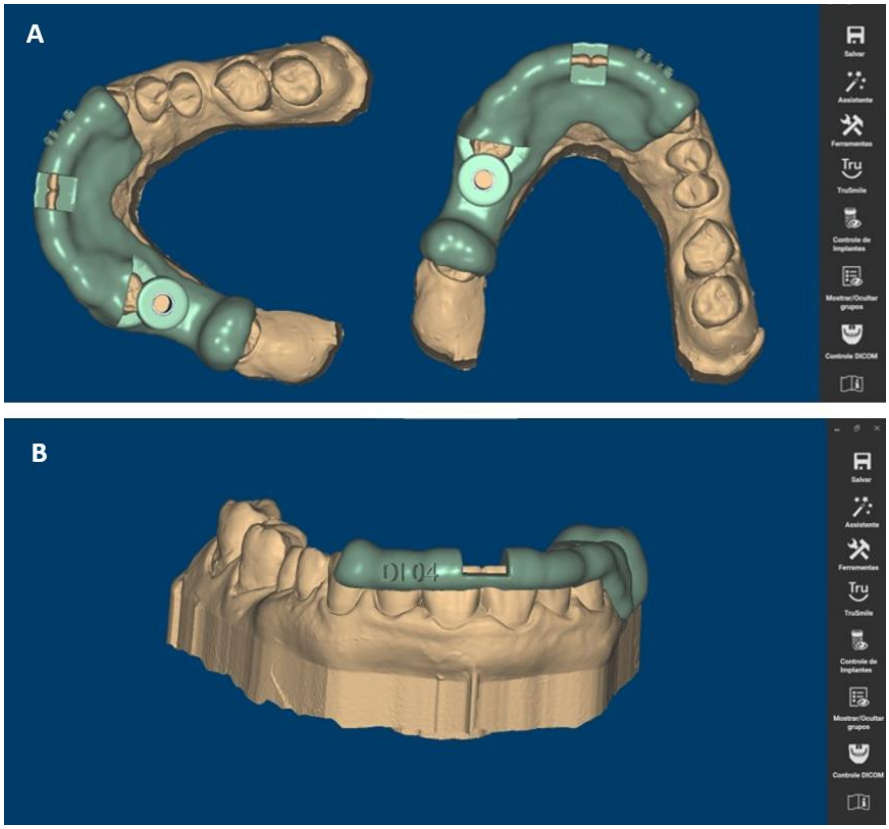

Figura 9 - A - Planejamento e desenho do guia cirúrgico no Exoplan®. B – Guia com identificação referente a densidade e amostra. Fonte: Autor (2023).

Figura 10- A - Impressora 3D Anycubics Photon Mono X 6K e resina Prizma 3D Bio Guide LCD. B – Guias cirúrgicos impressos. Fonte: Autor (2023).

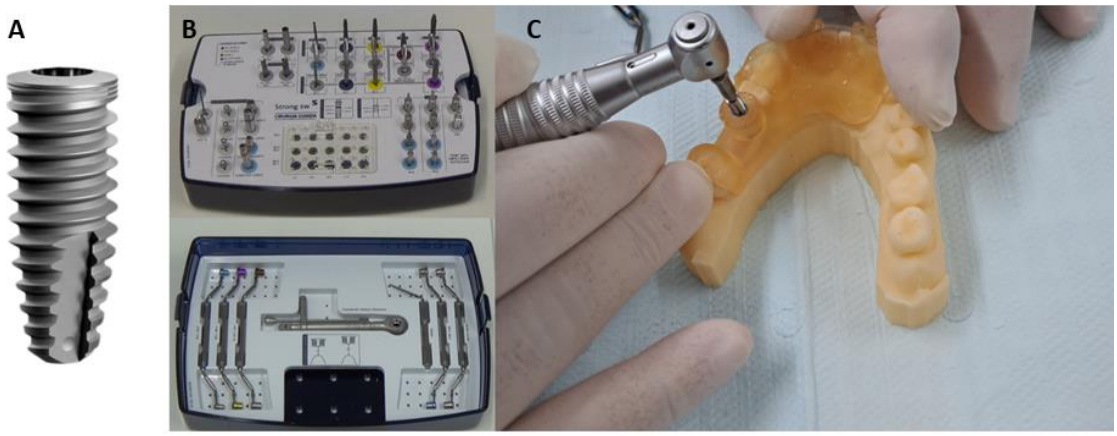

Figura 11 - A – Implante cone morse com dimensão de 3.5 x 10 mm da linha Strong SW (S.I.N. Implant System). B – Kit de cirurgia guiada estática SIN. C – Instalação do implante na região referente ao dente 15. Fonte: Autor (2023).

4.2 - ANÁLISE DA ACURÁCIA

Para a avaliação da acurácia foi realizada a sobreposição das posições do implante planejado e instalado, utilizando adaptação da técnica descrita por Son; Huang; Lee, 2020, para obtenção do arquivo STL. Nos implantes instalados foram conectados os respectivos scan body (S.I.N. Implant System) e realizado o escaneamento do modelo para obtenção do arquivo STL (figura 12), que foi exportado para software Exoplan®. Em seguida, foi realizado o alinhamento do arquivo digital contendo o scan body acoplado no implante junto ao scan body do modelo (figuras 13 A, B, C e D). Com os arquivos alinhados contendo o modelo, o scan body e o implante instalado, foi realizada a sobreposição no modelo 3D do planejamento (figura 14A e B), obtendo assim a sobreposição dos implantes planejados e instalados (figura 14C e D). Os arquivos na extensão STL foram exportados para as mensurações no software Rhino 7 (Rhinoceros®) (figura 15). Foram mensuradas quatro variáveis entre os implantes virtualmente planejados e os implantes instalados: desvio angular (ângulo formado pela linha que passa no longo eixo no centro do implante planejado e no longo eixo no centro do implante realizado); desvio coronal (distância do ponto de entrada no centro do implante planejado ao ponto de entrada no centro do implante realizado); desvio apical (distância do centro do limite apical do implante planejado ao centro do limite apical do implante realizado); desvio vertical (desvio no sentido vertical entre o implante planejado e realizado) (figura 16).

Figura 12 – Escaneamento do conjunto modelo/implante utilizando scan body aparafusado no implante. Fonte: Autor (2023).

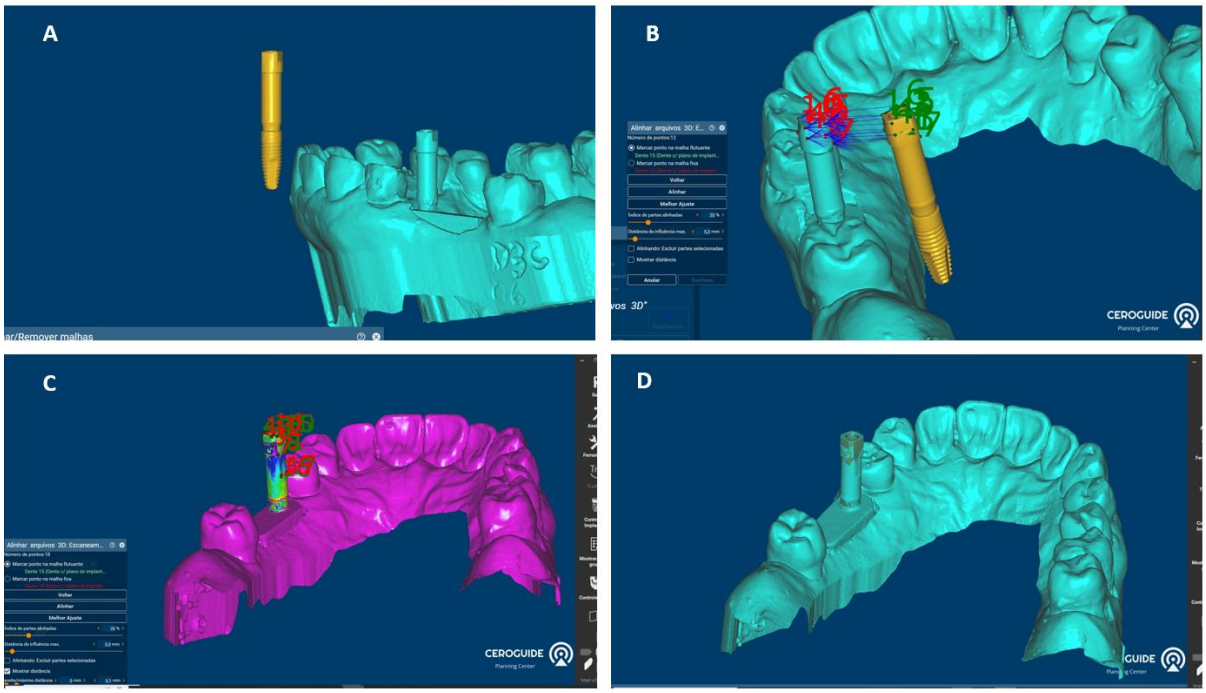

Figura 13 A-D – Alinhamento do arquivo STL do conjunto scan body/implante com o scan body do modelo. Fonte: Autor (2023).

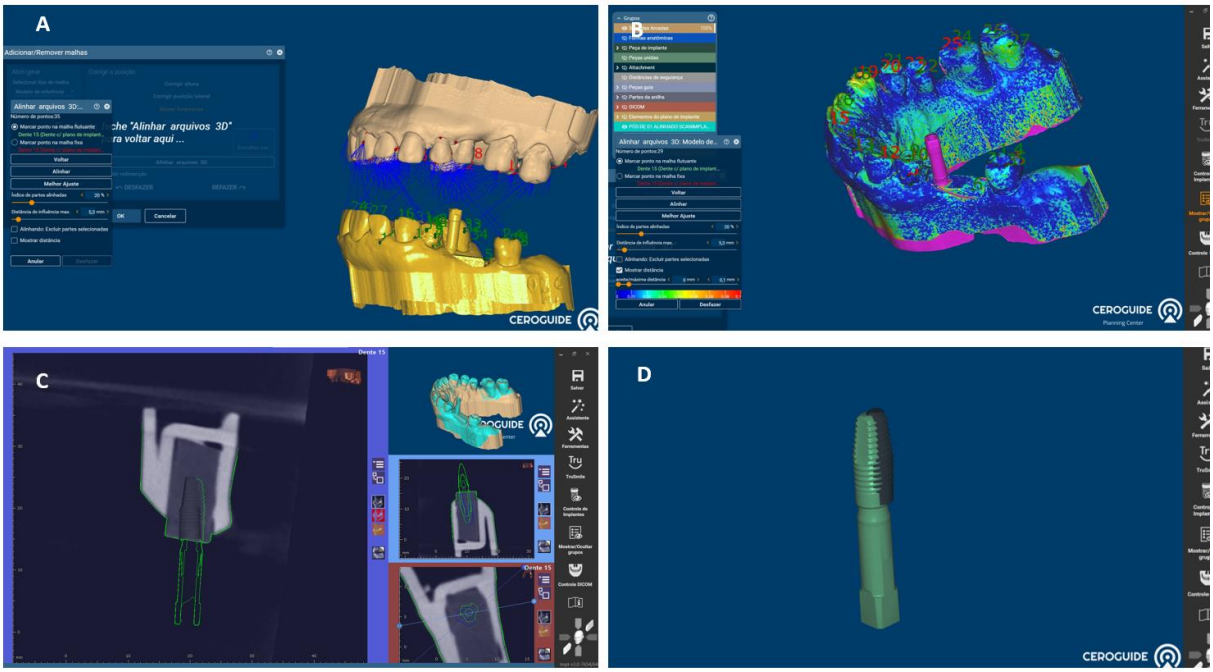

Figura 14 A e B – Alinhamento do modelo do planejamento e do modelo do implante instalado com o scan body/implante. C e D – Implante planejado e implante instalado alinhados. Fonte: Autor (2023).

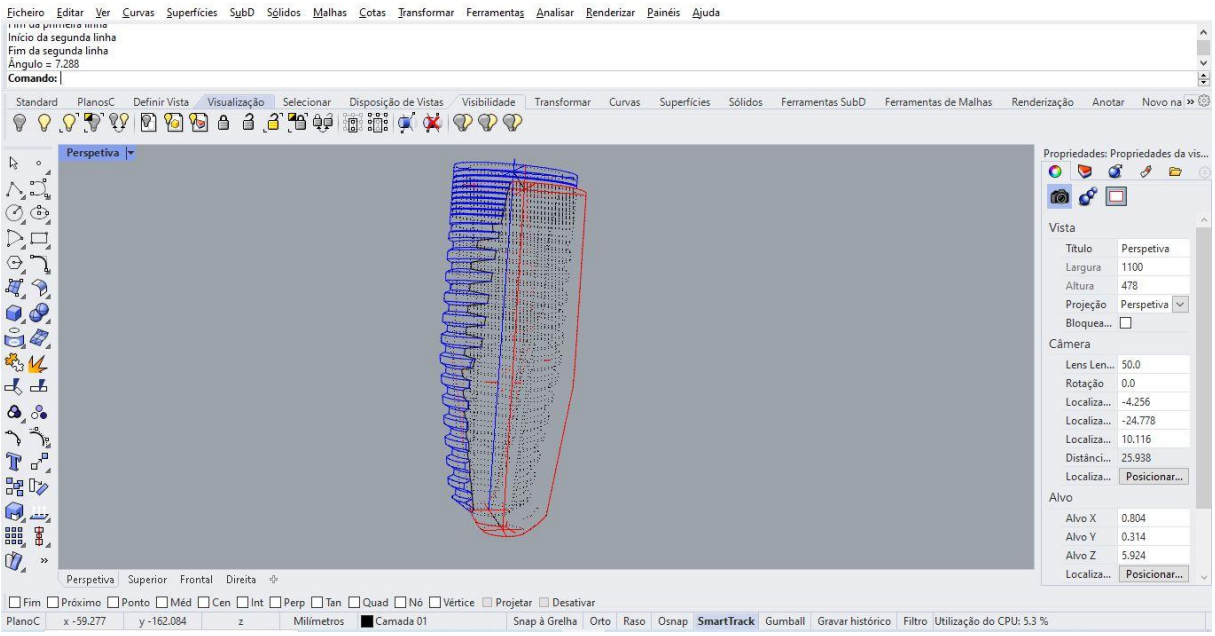

Figura 15 - Software Rhinoceros® – mensuração dos desvios entre implante virtualmente planejado e implante colocado. Fonte: Autor (2023).

4.3 – MENSURAÇÃO DOS DADOS

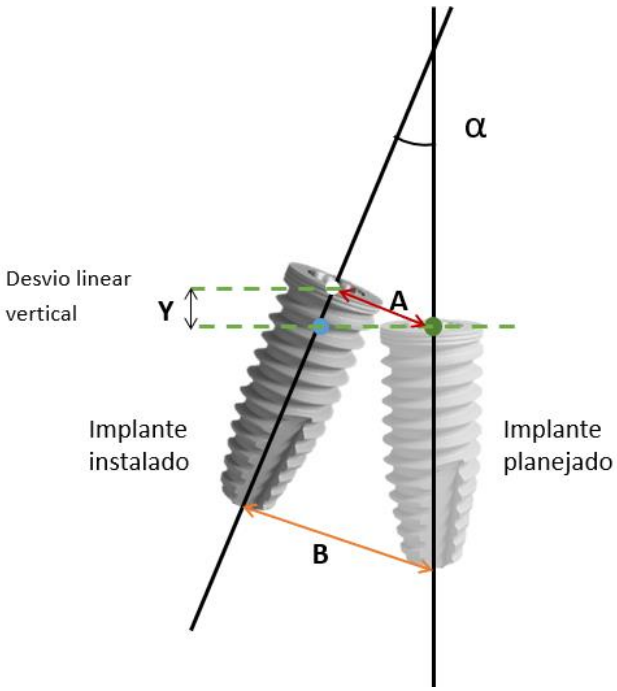

Figura 16 - Esquema das mensurações analisadas: A. desvio coronal entre implante planejado e o implante instalado; B. desvio apical entre implante planejado e instalado; α. desvio angular entre implante planejado e instalado; Y. desvio linear vertical. Fonte: Autor (2023).

4.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os dados obtidos foram avaliados utilizando-se GraphPad software 5.0 (GraphPad Software Inc., San Diego, CA, USA). O teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov foi utilizado para verificar a normalidade dos dados obtidos. Para a análise de desvios angulares foi utilizado teste Kruskal-wallis e para os demais desvios foi utilizado o teste ANOVA. Foi considerado um nível de significância de 5%.

5 – RESULTADOS

Um total de sessenta implantes foram instalados nos seis grupos (n= 10). Exceto no desvio angular, todos os demais desvios apresentaram dados normais. Todos os grupos apresentaram desvios, no entanto, não teve diferença estatística entre os grupos: desvio angular p= 0,4083 (Tabela1); desvio coronal p= 0,3126 (Tabela 2); desvio apical p= 0,8879 (Tabela 3) e desvio vertical p= 0,0896 (Tabela 4). Embora não tenha sido encontrada diferenças estatísticas entre os grupos, o grupo D3C apresentou os menores desvios em todas as variáveis analisadas.

No geral, as mensurações dos desvios dos grupos foram: desvio médio angular 2,92 ± 1,76°; desvio médio coronal foi 0,56 ± 0,15 mm; desvio médio apical foi 0,94 ± 0,30 mm e desvio médio vertical foi 0,40 ± 0,15 mm.

Em relação as mensurações dos desvios de acordo com o grupo, as tabelas 1 a 4, detalham as médias, desvio padrão e os valores mínimo e máximo de cada grupo de acordo com os parâmetros analisados.

Tabela 1 - Mensurações dos desvios de ângulo (em graus) por amostra expressa em cada grupo. Média, desvio padrão (DP) e valores mínimo e máximo por grupo.

	D 1	**D2**	**D2C**	**D3**	**D3C**	**D4**
Amostras						
01	7,29	1,90	0,67	6,43	1,90	9,56
02	3,25	5,15	2,00	2,32	1,14	7,82
03	5,19	1,44	2,08	0,94	5,08	2,21
04	1,76	4,38	2,63	3,04	0,96	1,25
05	1,84	3,51	1,80	2,98	0,73	3,55
06	4,46	3,01	2,53	1,80	3,13	2,45
07	1,31	2,20	3,34	3,95	2,13	2,19
08	3,54	1,68	4,58	3,72	2,60	3,21
09	2,00	3,05	3,98	3,98	1,75	3,65
10	1,81	1,94	1,28	2,16	1,22	0,92
Média/DP	3,25 ±1,92	2,83 ±1,23	2,49 ±1,20	3,13 ±1,52	2,06 ±1,30	3,68 ±2,82
(min/máx.)	(1,31 -7,29)	(1,44 - 5,15)	(0,67 - 4,58)	(0,94 - 6,34)	(0,73 - 5,08)	(0,92 - 9,56)

p= 0,4083 (Kruskall-Wallis)

Tabela 2 - Mensurações dos desvios coronais (em mm) por amostra expressa em cada grupo. Média, desvio padrão (DP) e valores mínimo e máximo por grupo.

	D 1	**D2**	**D2C**	**D3**	**D3C**	**D4**
Amostras						
01	0,63	0,56	0,56	0,53	0,44	0,73
02	0,25	0,51	0,60	0,57	0,50	0,39
03	0,63	0,80	0,62	0,27	0,58	0,43
04	0,89	0,59	0,71	0,72	0,22	0,57
05	0,52	0,73	0,75	0,77	0,34	0,74
06	0,65	0,51	0,64	0,68	0,72	0,61
07	0,16	0,49	0,56	0,59	0,39	0,52
08	0,84	0,48	0,80	0,50	0,53	0,55
09	0,45	0,65	0,28	0,50	0,39	0,60
10	0,56	0,62	0,52	0,57	0,46	0,54
Média/DP (min/máx.)	0,56 ±0,23 (0,16 - 0,89)	0,60 ±0,11 (0,48 - 0,80)	0,60 ±0,14 (0,28 - 0,80)	0,57 ±0,14 (0,27 - 0,77)	0,46 ±0,14 (0,22 - 0,72)	0,57 ±0,11 (0,39 - 0,74)

p= 0,3126 (ANOVA)

Tabela 3 - Mensurações dos desvios apicais (em mm) por amostra expressa em cada grupo. Média, desvio padrão (DP) e valores mínimo e máximo por grupo.

	D 1	**D2**	**D2C**	**D3**	**D3C**	**D4**
Amostras						
01	0,71	0,95	0,56	0,81	0,73	1,02
02	0,78	1,05	1,29	1,11	0,76	0,75
03	1,23	1,16	0,78	0,27	0,99	0,55
04	1,10	1,34	1,12	1,51	0,30	0,60
05	0,75	1,37	0,97	1,18	0,33	1,19
06	1,42	0,97	0,98	0,87	1,21	0,96
07	0,37	0,74	1,20	1,23	0,51	0,79
08	1,34	0,74	1,42	1,12	0,94	1,10
09	0,67	1,06	1,44	1,05	0,60	1,16
10	0,81	0,86	0,64	0,83	0,56	0,62
Média/DP (min/máx.)	0,92 ±0,34 (0,37 - 1,42)	1,02 ±0,22 (0,74 - 1,37)	1,04 ±0,31 (0,56 - 1,44)	1,00 ±0,33 (0,27 - 1,51)	0,69 ±0,29 (0,30 - 1,21)	0,87 ±0,24 (0,55 – 1,19)

p= 0,8879 (ANOVA)

Tabela 4 - Mensurações dos desvios verticais (em mm) por amostra expressa em cada grupo. Média, desvio padrão (DP) e valores mínimo e máximo por grupo.

	D 1	D2	D2C	D3	D3C	D4
Amostras						
01	0,53	0,41	0,47	0,44	0,22	0,68
02	0,11	0,06	0,55	0,35	0,38	0,20
03	0,39	0,66	0,60	0,22	0,44	0,55
04	0,74	0,21	0,46	0,33	0,19	0,49
05	0,41	0,28	0,57	0,57	0,17	0,59
06	0,04	0,33	0,43	0,58	0,39	0,44
07	0,04	0,32	0,37	0,36	0,37	0,38
08	0,59	0,35	0,53	0,52	0,24	0,43
09	0,34	0,45	0,49	0,31	0,34	0,30
10	0,38	0,57	0,47	0,47	0,42	0,52
Média/DP	0,36 ±0,23 (0,04 - 0,74)	0,36 ±0,17 (0,06 - 0,66)	0,49 ±0,07 (0,37 - 0,60)	0,41 ±0,12 (0,22 - 0,58)	0,31 ±0,10 (0,17 - 0,44)	0,46 ±0,14 (0,20 – 0,68)

p= 0,0896 (ANOVA)

6 – DISCUSSÃO

O objetivo deste estudo foi investigar a influência da densidade óssea na precisão dos implantes instalados pela técnica de cirurgia guiada estática. A metodologia *in vitro* utilizado, foi inédito, desenvolvido com o intuito de testar diferentes densidade ósseas comumente encontradas clinicamente nas áreas de instalações de implantes. Assim, os blocos de espuma rígida de poliuretano (Nacional Oss), fabricados de acordo com a norma ASTM-F1839 da *American Society for Testing and Materials*, que especifica e padroniza os dispositivos e instrumentos ortopédicos, correspondendo diferentes densidades ósseas encontradas no esqueleto humano foram acoplados em modelos de maxila de resina impressos 3D. Importante ressaltar que a principal vantagem do ensaio *in vitro* é conseguir testar uma variável isoladamente com precisão e alta reprodutibilidade, minimizando os possíveis fatores que poderiam atuar como viéses.

Os resultados apresentados no presente estudo mostraram desvios em todas as variáveis analisadas, porém não houve diferença estatística entre os grupos. Por isso, a hipótese alternativa postulada que a densidade óssea D4 apresenta maiores desvios, foi rejeitada.

Os desvios encontrados em nosso estudo podem ser atribuídos a pequenos erros em uma das fases do processo ou a um somatório deles, conforme descrito por Tatakis; Chien; Parashis, 2019, que vai desde a aquisição dos dados da TCCB e escaneamento dos modelos até a execução da colocação do implante, mesmo sendo um trabalho *in vitro*, que apresenta um processo mais controlado para as variáveis.

No geral, os valores dos desvios de todos os grupos do presente estudo foram semelhantes aos outros estudos prévios, desvio médio angular 2,92 ± 1,76°; desvio médio coronal foi 0,56 ± 0,15 mm; desvio médio apical foi 0,94 ± 0,30 mm e desvio médio vertical foi 0,40 ± 0,15 mm. Esses valores foram próximos aos resultados apresentados por Bover-Ramos et al., 2018, em uma revisão sistemática com meta-análise, referentes a estudos *in vitro*: desvio médio angular 2,39 ± 0,35°; desvio médio coronal foi 0,77 ± 0,15 mm; desvio médio apical foi 0,17 ± 0,85 mm e desvio médio vertical foi 0,61 ± 0,149 mm. Em relação a estudos clínicos, os valores do presente estudo também foram próximos aos valores dos desvios apresentados em outras

investigações prévias, tais como na revisão sistemática com meta-análise de Thamaseb et al., 2018, com valores de desvio médio angular de 3,3°; desvio médio coronal de 0,90 mm e o desvio médio apical de 1,20 mm em pacientes parcialmente edêntulos; no estudo clínico prospectivo de Skjerven et al., 2019a, que descreveram o desvio médio angular de 3,85 ± 1,83°; desvio médio coronal de 1,05 ± 0,59 mm, o desvio médio apical de 1,63 ± 1,05 mm e o desvio médio vertical de 0,48 ± 0,50 mm; no estudo clínico de Smitkarn et al., 2019, que apresentaram o desvio médio angular de 3,10°, desvio médio coronal de 1,00 mm, desvio médio apical de 1,30 mm; com os resultados apresentados no estudo clínico de séries de casos de Massuda et al, 2022, que relataram desvio médio angular de 2,68 ± 1,62°; desvio médio coronal de 0,82 ± 0,44 mm; o desvio médio apical de 1,14 ± 0,44 mm e o desvio médio vertical de 0,62 ± 0,44 mm em implantes instalados em pacientes parcialmente edêntulos.

O presente estudo *in vitro* buscou responder uma lacuna existente na literatura em relação a influência da densidade óssea na acurácia de implantes instalados pela técnica da cirurgia guiada estática. Em nossa metodologia, uma guia cirúrgica apoiada totalmente sobre dentes foi utilizada. Recentemente, um estudo *in vitro* publicado por Dere; Sahin; Ozdede, 2023, avaliou a precisão da cirurgia guiada estática em implantes com duas macrogeometrias diferentes, colocados em modelos impressos 3D, simulando diferentes densidades ósseas, utilizando guias totalmente apoiadas em osso. Os autores não encontraram diferenças significativas entre os valores de desvio dos implantes com base nas diferentes densidades ósseas em que foram aplicados, independente da macrogeometria presente. Este trabalho difere do nosso estudo pelo tipo de suporte da guia cirúrgica utilizada e porque utilizamos corpos de provas de espuma de poliuretano rígida que simulam diferentes densidades ósseas. Entretanto, os nossos resultados também não apresentaram diferenças estatísticas dos valores dos desvios analisados entre os grupos de diferentes densidades ósseas testadas.

Até o presente momento, somente dois estudos clínicos associaram a influência da densidade óssea na precisão dos implantes. Entretanto, os dois estudos avaliaram implantes instalados através um protocolo de cirurgia semi-guiada com implantes instalados sem a utilização da guia cirúrgico. O estudo retrospectivo de Putra et al., 2020 avaliou implantes instalados em região posterior de mandíbula com guias apoiadas sobre dentes. Em relação a densidade óssea, foi analisado somente dois grupos com base na média da densidade óssea global (< 500 HU ou > 500 HU),

não podendo ser aplicada a classificação de densidade óssea de Misch ou Norton e Gamble, devido ao pequeno número de amostras classificadas em alguns grupos. Com base nos resultados, maior desvio do implante foi observado na condição de baixa densidade óssea. Já o estudo clínico randomizado de Kivovics et al., 2020, realizaram as cirurgias em guias totais estáticas muco suportadas, sendo guiada somente a fresa piloto de 2 mm de diâmetro e a sequências das demais fresas da osteotomia e colocação dos implantes realizadas a mão livre. Concluiram que quanto maior a densidade óssea nos locais de colocação do implante, maior a precisão da cirurgia guiada estática.

Uma das características dos estudos *in vitro* é ter um maior controle dos parâmetros aplicados no estudo. No presente estudo, embora o arquivo STL gerado para a impressão do modelo fosse único, uma TCCB, um escaneamento com scanner intraoral e um planejamento no software Exoplan foi realizado para cada amostra, devido aos corpos de prova serem customizados individualmente.

Para a avaliação da precisão da cirurgia guiada estática no presente estudo, utilizamos a metodologia adaptada descrita por Son; Huang; Lee, 2020, que consiste em realizar um escaneamento do implante colocado com a utilização de um poste de moldagem digital (scan body), obtendo um arquivo STL da moldagem pós-operatória e alinhando no modelo 3D contendo o implante planejado. A metodologia tem sido utilizada em diversos estudos e comparada com a realização da TCCB pós-operatória, validando o seu uso, conforme descrita por Skjerven et al., 2019b e Franchina et al., 2020. Este método evita uma segunda TCCB, representando menor risco biológico para os pacientes em estudos clínicos.

Uma das limitações deste estudo é de não poder reproduzir todas as condições clínicas dos pacientes, por se tratar de um estudo *in vitro*. A utilização de modelos e corpos de provas simulando a densidade óssea não consegue reproduzir a elasticidade e resistência do osso, bem como as características corticais e medulares do tecido ósseo em cada região, o que pode acarretar resultados de desvios diferentes de um cenário clínico real. Outro fator é que na metodologia aplicada, somente foi colocado 1 implante em espaço intercalado entre dentes e a guia cirúrgica foi totalmente apoiada em dentes. Outras condições devem ser fruto de futuras investigações sobre a influência da densidade óssea na cirurgia guiada estática. Entretando, ainda que haja limitações, é importante ressaltar a importância do

resultados obtidos em nessa pesquisa para a prática clínica, pois responde a uma lacuna existente em relação a mais uma variável na influência da precisão da técnica da guiada estática.

Futuros estudos clínicos são necessários para poder investigar e responder sobre a influência da densidade óssea na cirurgia guiada estática em diferentes cenários, tais como guias parciais dento suportados e dento muco-suportados, guias muco-suportadas totais e ósseas.

7 – CONCLUSÃO

Dentro das limitações do presente estudo, podemos concluir que apesar de todos os grupos apresentarem desvios em todos os parâmetros analisados, a densidade óssea não influenciou a precisão da cirurgia guiada estática em implantes instalados nos corpos de prova, com guias totalmente apoiadas sobre dentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL YAFI, F.; CAMENISCH, B.; AL-SABBAGH, M. Is Digital Guided Implant Surgery Accurate and Reliable? **Dental Clinics of North America**, v. 63, n. 3, p. 381–397, 2019.

APOSTOLAKIS, D.; BROWN, J. E. The anterior loop of the inferior alveolar nerve: Prevalence, measurement of its length and a recommendation for interforaminal implant installation based on cone beam CT imaging. **Clinical Oral Implants Research**, v. 23, n. 9, p. 1022–1030, 2012.

ASTM F1839. Standard Specification for Rigid Polyurethane Foam for Use as a Standard Material for Testing Orthopedic Devices and Instruments. In: **ASTM international**. West Conshohocken: Pennsylvania: [s.n.]. v. 13.01p. 6, 2021.

AZARI, A.; NIKZAD, S. Computer-assisted implantology:historical background and potential outcomes–a review. **The international journal of medical robotics + computer assisted surgery : MRCAS**, v. 4, n. march, p. 95–104, 2008.

BOVER-RAMOS, F. et al. Accuracy of Implant Placement with Computer-Guided Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis Comparing Cadaver, Clinical, and In Vitro Studies. **The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants**, v. 33, n. 1, p. 101–115, 2018.

CHANDRAN K R, S. et al. Accuracy of freehand versus guided immediate implant placement: A randomized controlled trial. **Journal of Dentistry**, v. 136, n. August, 2023.

COLOMBO, M. et al. Clinical applications and effectiveness of guided implant surgery: A critical review based on randomized controlled trials. **BMC Oral Health**, v. 17, n. 1, p. 1–9, 2017.

D'HAESE, J. et al. Current state of the art of computer-guided implant surgery. **Periodontology 2000**, v. 73, n. 1, p. 121–133, 2017.

DERE, K. A.; SAHIN, S. C.; OZDEDE, M. Deviation of Dental Implants Placed by Guided Implant Surgery in Bone Structures with Different Densities. **International Journal of Oral and Maxillofacial Implants**, v. 38, n. 2, p. 268–276, 2023.

DERKSEN, W. et al. The accuracy of computer-guided implant surgery with tooth-supported, digitally designed drill guides based on CBCT and intraoral scanning. A prospective cohort study. **Clinical Oral Implants Research**, v. 30, n. 10, p. 1005–1015, 2019.

EL KHOLY, K. et al. Influence of surgical guide support and implant site location on accuracy of static Computer-Assisted Implant Surgery. **Clinical Oral Implants Research**, v. 30, n. 11, p. 1067–1075, 2019.

ESQUIVEL, J.; MEDA, R.; BLATZ, M. **The Impact of 3D Implant Position on Emergence Profile DesignThe International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry**, 2021.

FORTIN, T. et al. Effect of flapless surgery on pain experienced in implant placement using an image-guided system. **The International journal of oral & maxillofacial**

implants, v. 21, n. 2, p. 298–304, 2006.

FRANCHINA, A. et al. Validation of an intra-oral scan method versus cone beam computed tomography superimposition to assess the accuracy between planned and achieved dental implants: A randomized in vitro study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 24, p. 1–21, 2020.

GARGALLO-ALBIOL, J. et al. Intra-osseous heat generation during implant bed preparation with static navigation: Multi-factor in vitro study. **Clinical Oral Implants Research**, v. 32, n. 5, p. 590–597, 2021.

GIACOMO, G. A. P. DI et al. Clinical Application of Stereolithographic Surgical Guides for Implant Placement: Preliminary Results. **Journal of Periodontology**, v. 76, n. 4, p. 503–507, 2005.

HAKIM, S. G. et al. Correlation of cone beam CT-derived bone density parameters with primary implant stability assessed by peak insertion torque and periotest in the maxilla. **Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery**, v. 47, n. 3, p. 461–467, 2019.

ISODA, K.; SOGO, M.; KOYANO, K. Relationship between the bone density estimated by cone-beam computed tomography and the primary stability of dental implants. **Clinical Oral Implants Research**, p. 1–5, 2011.

KIATKROEKKRAI, P. et al. Accuracy of implant position when placed using static computer-assisted implant surgical guides manufactured with two different optical scanning techniques: a randomized clinical trial. **International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, v. 49, n. 3, p. 377–383, 2020.

KIVOVICS, M. et al. The influence of surgical experience and bone density on the accuracy of static computer-assisted implant surgery in edentulous jaws using a Mucosa-supported surgical template with a half-guided implant placement protocol—a randomized clinical study. **Materials**, v. 13, n. 24, p. 1–12, 2020.

KOMIYAMA, A. et al. Virtually planned and template-guided implant surgery: An experimental model matching approach. **Clinical Oral Implants Research**, v. 22, n. 3, p. 308–313, 2011.

MAGRIN, G. L. et al. Clinical and tomographic comparison of dental implants placed by guided virtual surgery versus conventional technique: A split-mouth randomized clinical trial. **Journal of Clinical Periodontology**, v. 47, n. 1, p. 120–128, 2020.

MASSUDA, C. K. M. et al. Accuracy of guided dental implant surgery using a fully digital workflow: A case series. **Journal of Prosthetic Dentistry**, 10.1016/j.prosdent.2022.09.016.

MATSUKAWA, K. et al. Feasibility of using tapping torque during lumbar pedicle screw insertion to predict screw fixation strength. **Journal of Orthopaedic Science**, v. 25, n. 3, p. 389–393, 2020.

MISCH, C. Densidade Óssea: Fator Determinante para o Plano de Tratamento. In: **Implantes Dentais Contemporâneos**. 3ª ed. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. p. 130–146.

MISTRY, A. et al. 3d guided dental implant placement: Impact on surgical accuracy and collateral damage to the inferior alveolar nerve. **Dentistry Journal**, v. 9, n. 9, 2021.

MORAR, L. et al. Analysis of CBCT Bone Density Using the Hounsfield Scale. **Prosthesis**, v. 4, n. 3, p. 414–423, 2022.

NAGARAJA, S.; PALEPU, V. Comparisons of anterior plate screw pullout strength between polyurethane foams and thoracolumbar cadaveric vertebrae. **Journal of Biomechanical Engineering**, v. 138, n. 10, p. 1–6, 2016.

NICCHIO, N. et al. Accuracy of partially and fully guided surgical techniques for immediate implant placement: An in vitro assessment. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 129, n. 2, p. 363.e1-363.e7, 2023.

NICKENIG, H. J.; EITNER, S. An alternative method to match planned and achieved positions of implants, after virtual planning using cone-beam CT data and surgical guide templates-A method reducing patient radiation exposure (part I). **Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery**, v. 38, n. 6, p. 436–440, 2010.

PÉREZ-PEVIDA, E. et al. Effects of Drilling Protocol and Bone Density on the Stability of Implants According to Different Macrogeometries of the Implant Used: Results of an In Vitro Study. **The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants**, v. 35, n. 5, p. 955–964, 2020.

POZZI, A. et al. Computer-guided versus free-hand placement of immediately loaded dental implants: 1-year post-loading results of a multicentre randomised controlled trial. **European journal of oral implantology**, v. 7, n. 3, p. 229–42, 2014.

PUTRA, R. H. et al. Influence of bone condition on implant placement accuracy with computer-guided surgery. **International Journal of Implant Dentistry**, v. 6, n. 1, 2020.

RAICO-GALLARDO, Y. N. et al. Accuracy comparison of guided surgery for dental implants according to the tissue of support: a systematic review and meta-analysis. **Clinical Oral Implants Research**, v. 28, n. 5, p. 602–612, 2017.

SAILER, I. et al. Prosthetic failures in dental implant therapy. **Periodontology 2000**, v. 88, n. 1, p. 130–144, 2022.

SALOMÓ-COLL, O. et al. Influence of bone density , drill diameter , drilling speed , and irrigation on temperature changes during implant osteotomies : an in vitro study. **Clin Oral Invest**, v. 25, n. 3, p. 1047–1053, 2021.

SIQUEIRA, R. et al. Does a fully digital workflow improve the accuracy of computer-assisted implant surgery in partially edentulous patients? A systematic review of clinical trials. **Clinical Implant Dentistry and Related Research**, v. 22, n. 6, p. 660–671, 2020.

SKJERVEN, H. et al. In Vivo Accuracy of Implant Placement Using a Full Digital Planning Modality and Stereolithographic Guides. **The International journal of oral & maxillofacial implants**, v. 34, n. 1, p. 124–132, 2019a.

SKJERVEN, H. et al. Comparison of postoperative intraoral scan versus cone beam computerised tomography to measure accuracy of guided implant placement—A prospective clinical study. **Clinical Oral Implants Research**, v. 30, n. 6, p. 531–541, 2019b.

SMITKARN, P. et al. The accuracy of single-tooth implants placed using fully digital-guided surgery and freehand implant surgery. **Journal of Clinical Periodontology**, v. 46, n. 9, p. 949–957, 2019.

SOGO, M. et al. Assessment of Bone Density in the Posterior Maxilla Based on Hounsfield Units to Enhance the Initial Stability of Implants. **Clinical Implant Dentistry and Related Research**, v. 14, n. SUPPL. 1, p. 183–187, 2012.

SON, K. B. DA; HUANG, M. Y.; LEE, K. B. A method to evaluate the accuracy of dental implant placement without postoperative radiography after computer-guided implant surgery: A dental technique. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 123, n. 5, p. 661–666, 2020.

TAHMASEB, A. et al. The accuracy of static computer-aided implant surgery: A systematic review and meta-analysis. **Clinical Oral Implants Research**, v. 29, n. December 2017, p. 416–435, 2018.

TATAKIS, D. N.; CHIEN, H.; PARASHIS, A. O. Guided implant surgery risks and their prevention. **Periodontology 2000**, v. 81, n. 1, p. 194–208, 2019.

VAN ASSCHE, N. et al. Accuracy of computer-aided implant placement. **Clinical Oral Implants Research**, v. 23, n. SUPPL.6, p. 112–123, 2012.

VAN DE VELDE, T.; SENNERBY, L.; DE BRUYN, H. The clinical and radiographic outcome of implants placed in the posterior maxilla with a guided flapless approach and immediately restored with a provisional rehabilitation: A randomized clinical trial. **Clinical Oral Implants Research**, v. 21, n. 11, p. 1223–1233, 2010.

YOUNES, F. et al. A randomized controlled study on the accuracy of free-handed, pilot-drill guided and fully guided implant surgery in partially edentulous patients. **Journal of Clinical Periodontology**, v. 45, n. 6, p. 721–732, 2018.

ZHOU, W. et al. Clinical Factors Affecting the Accuracy of Guided Implant Surgery—A Systematic Review and Meta-analysis. **Journal of Evidence-Based Dental Practice**, v. 18, n. 1, p. 28–40, 2018.