

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Faculdade de Odontologia
Colegiado de Pós-Graduação em Odontologia

Marco Aurélio Camargo da Rosa

**APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS EM DIVERSAS ÁREAS DA
CIRURGIA E TRAUMATOLOGIA BUCO-MAXILO-FACIAL**

Belo Horizonte
2024

Marco Aurélio Camargo da Rosa

APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS EM DIVERSAS ÁREAS DA CIRURGIA E TRAUMATOLOGIA BUCO-MAXILO-FACIAL

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de especialista em Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial.

Orientador: Prof. Marcelo Drummond Naves

Coorientador: Prof. Marcos Antônio Lima

Belo Horizonte
2024

Ficha Catalográfica

R788a Rosa, Marco Aurélio Camargo da.
2024 Aplicação de tecnologias digitais em diversas áreas da
MP cirurgia e traumatologia buco-maxilo-facial / Marco Aurélio
Camargo da Rosa. -- 2024.

85 f. : il.

Orientador: Marcelo Drummond Naves.
Coorientador: Marcos Antônio Lima.

Monografia (Especialização) -- Universidade Federal de
Minas Gerais, Faculdade de Odontologia.

1. Impressão tridimensional. 2. Tomografia. 3. Desenho
assistido por computador. 4. Procedimentos cirúrgicos
buciais. I. Naves, Marcelo Drummond. II. Lima, Marcos
Antônio. III. Universidade Federal de Minas Gerais.
Faculdade de Odontologia. IV. Título.

BLACK - D72



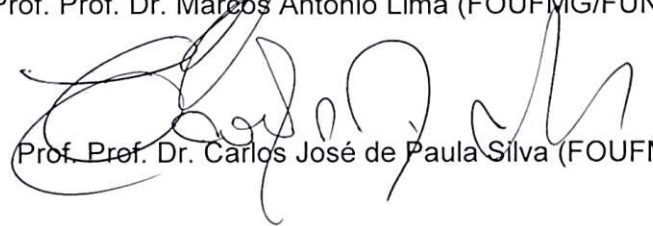
Ata da Comissão Examinadora para julgamento de Monografia do aluno **MARCO AURÉLIO C. DA ROSA**, do Curso de Especialização em Cirurgia e Traumatologia Bucocomaxilofacial, realizado no período de 13/10/2021 a 19/02/2024.

Aos 19 dias do mês de fevereiro de 2024, às 12:00 horas, na sala de Pós-Graduação (Sala 3412) da Faculdade de Odontologia, reuniu-se a Comissão Examinadora, composta pelos professores Prof. Dr. Marcelo Drummond Naves (orientador), Prof. Dr. Marcos Antônio Lima (FOUFGM/FUNDEP) e Prof. Dr. Carlos José de Paula Silva (FOUFGM). Em sessão pública foram iniciados os trabalhos relativos à Apresentação da Monografia intitulada “**Aplicação de tecnologias digitais em diversas áreas da cirurgia e traumatologia buco-maxilo-facial**”. Terminadas as arguições, passou-se à apuração final. A nota obtida pelo aluno foi 100,0 (Com) pontos, e a Comissão Examinadora decidiu pela sua Aprovação. Para constar, eu, Prof. Dr. Marcelo Drummond Naves, Presidente da Comissão, lavrei a presente ata que assino, juntamente com os outros membros da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 19 de fevereiro de 2024.


Prof. Prof. Dr. Marcelo Drummond Naves

Orientador


Prof. Prof. Dr. Marcos Antônio Lima (FOUFGM/FUNDEP)


Prof. Prof. Dr. Carlos José de Paula Silva (FOUFGM)

Dedico este trabalho com imenso carinho:

À minha mãe, meu pai e meus irmãos,

À minha esposa, Gisele,

Ao meu filho, Arthur,

E à minha filha, Alice.

AGRADECIMENTOS

Sou grato a toda a minha família, especialmente à minha mãe e ao meu pai, que dedicaram com amor e esforço uma parte significativa de suas vidas para o sucesso de seus filhos.

Aos meus professores, Dr. Evandro Guimarães de Aguiar, Dr. Marcelo Drummond Naves, Dr. Cláudio Rômulo Comunian, Dr. Carlos José de Paula Silva, Dr. Eduardo Morato de Oliveira e Dr. Rodrigo Coelho, agradeço a amizade, o incentivo, a confiança e os ensinamentos na área da cirurgia.

Ao meu estimado amigo e professor, Dr. Paulo Henrique Fonseca Martins. Agradeço imensamente pelo incentivo e pelo compartilhamento do conhecimento na área da odontologia digital. Não teria feito este trabalho se não tivesse te conhecido. Peço desculpas pela minha ausência nestes últimos anos.

Ao meu querido amigo, colega e quase irmão (apesar da diferença de idade) Prof. Marcos Antônio Lima. Dedico-lhe este agradecimento com toda a minha gratidão.

Aos meus estimados colegas do curso de especialização com quem tive o privilégio de conviver e partilhar momentos repletos de risadas e aprendizado. Cada encontro foi uma verdadeira alegria, e vou sentir imensa falta de vocês.

Aos dedicados funcionários da FO-UFMG, em especial as adoráveis Emily e Débora, que nos apoiaram incansavelmente em todos os momentos de todas as formas possíveis.

Aos funcionários do Hospital Odilon Behrens, meu sincero agradecimento pelo apoio em todos os momentos.

Aos meus preceptores do Hospital Odilon Behrens (Dr. André Maia, Dr. Ewerton Rafael Simukaua, Dr. Fernando Sartori, Dr. Fernando Magalhães, Dr. José Augusto, Dr. Júlio Lacerda, Dr. Luciana Almeida, Dra. Maria Tercília), agradeço por tudo que me propiciaram para este crescimento pessoal.

À equipe de coordenação da odontologia do Hospital Odilon Behrens - Dr. Herik Henrique Baião e Eleonora.

A todas as equipes do Hospital Odilon Behrens – Coordenação, Anestesia, Ortopedia, Cirurgia Geral, Neurocirurgia e Pediatria -, muito obrigado pelo apoio e ensinamentos oferecidos.

Agradeço também aos pacientes da UFMG e Hospital Odilon Behrens que depositaram sua confiança em nossos serviços de atendimento.

“Quando voltarás para casa meu amor?”

Esposa apaixonada anônima

RESUMO

A integração do fluxo digital está se tornando cada vez mais comum na rotina da odontologia. A adoção de tecnologias como escaneamento dentário, reconstruções tridimensionais de estruturas anatômicas, medições precisas de tecidos duros e moles, simulações de procedimentos cirúrgicos com modelos virtuais de pacientes, prototipagem de modelos e criação de guias cirúrgicos são exemplos de ferramentas disponíveis para auxiliar tanto no diagnóstico quanto no planejamento e tratamento do paciente. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi descrever a aplicação do fluxo digital em seis tipos de procedimentos na área da cirurgia odontológica: cirurgia de implantes dentários, cirurgia de ancoragem de mini-implante ortodôntico, cirurgia de biópsia, cirurgia de avanço de maxila, cirurgia de ressecção de mandíbula e cirurgia de reconstrução mandibular com enxerto de crista ilíaca. A utilização do fluxo digital nas cirurgias proporcionou uma série de vantagens, tais como: um aumento na precisão dos procedimentos, a capacidade de realizar simulações cirúrgicas virtuais, uma comunicação aprimorada entre profissionais e pacientes, redução do tempo de cirurgia e maior previsibilidade dos resultados. No entanto, é importante ressaltar que o uso do fluxo digital requer investimentos em equipamentos mais caros e exige que os profissionais passem por uma curva de aprendizado para dominar essas novas tecnologias.

Palavras-chave: impressão tridimensional; tomografia; CAD-CAM; cirurgia odontológica.

ABSTRACT

INTRODUCTION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN SEVERAL AREAS OF ORAL-MAXILLO-FACIAL SURGERY

The integration of digital flow is becoming increasingly common in dentistry routine. The adoption of technologies such as dental scanning, three-dimensional reconstructions of anatomical structures, precise measurements of hard and soft tissues, simulations of surgical procedures with virtual patients models, prototyping models and creation of surgical guides are examples of tools available to assist in both diagnosis as well as patient planning and treatment. In this sense, the objective of this project was to describe the application of digital flow in six types of procedures in the area of dental surgery: dental implant surgery, orthodontic mini-implant anchorage surgery, biopsy surgery, maxillary advancement surgery, surgery of jaw resection and mandibular reconstruction with iliac crest bone graft. The use of digital flow in surgeries provided a series of advantages, such as: an increase in the precision of procedures, the ability to perform virtual surgical simulations, improved communication between professionals and patients, reduced surgery time and greater predictability of results. However, it is important to highlight that using digital flow requires investments in more expensive equipment and requires professionals to go through a learning curve to master these new technologies.

Keywords: 3D printing; tomography; CAD-CAM; oral surgery.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Um robô realizando tarefas de limpeza de forma autônoma	16
Figura 2 – Primeiros equipamentos de estereotaxia	19
Figura 3 – Esquema do braço robótico de 1985.....	19
Figura 4 – Equipamento de cirurgia robótica atual	20
Figura 5 – Tese sobre Moldagem Óptica defendida em 1973 em Lyon – França.....	21
Figura 6 – Vídeo de François Duret demonstrando sistema CAD/CAM em 1983.....	21
Figura 7 – Fluxo digital na confecção de prótese dentária	22
Figura 8 – Malha de um modelo dentário	23
Figura 9 – Método de subtração (Fresagem)	23
Figura 10 – Método de adição (Impressão 3D)	24
Figura 11 – Sistema CAD/CAM para criação de modelo 3D impresso de maxila	24
Figura 12 – Guia cirúrgico para enxerto ósseo.....	25
Figura 13 – Processo do CAD/CAM.....	25
Figura 14 – Primeiro Tomógrafo Médico da EMI–Scanner em 1972	26
Figura 15 – Aparelho de TCFC aplicado à área da odontologia.....	27
Figura 16 – Imagens Tomográficas aplicadas à Odontologia	28
Figura 17 – Diferença na qualidade da superfície dentária em um exame TCFC e moldagem digital com escaneamento de superfície.....	30
Figura 18 – Nuvem de pontos obtido em diferentes escaneamentos.....	31
Figura 19 – Geração da Imagem virtual a partir de pontos de interesse	31
Figura 20 – Equipamento de Scanner Intraoral.....	32
Figura 21 – Equipamento de Scanner de Bancada.....	33
Figura 22 – Software especializado em desenhos na área da prótese	34
Figura 23 – Etapa de registro/fusão das imagens DICOM e STL.....	36
Figura 24 – Impressão 3D de uma mandíbula	37
Figura 25 – Princípio de funcionamento de uma impressora 3D com tecnologia FDM	38
Figura 26 – Sistema de fotopolimerização das tecnologias SLA, DLP e LCD.....	38
Figura 27 – Aplicação de Impressão 3D em prótese de mandíbula com tecnologia SLA e SLS.....	39

Figura 28 – Cirurgia Guiada para reabilitações extensas.....	41
Figura 29 – Imagem inicial para planejamento cirúrgico	42
Figura 30 – Interface do software de planejamento cirúrgico para implantodontia - ImplaStation	42
Figura 31 – Etapas do planejamento de cirurgia guiada	43
Figura 32 – Impressão 3D e pós-cura do guia cirúrgico	44
Figura 33 – Teste de adaptação do guia cirúrgico em modelo e no paciente.....	44
Figura 34 – Etapas cirúrgicas de um sistema de cirurgia guiada	45
Figura 35 – Planejamento e Confecção de Prótese Imediata por fluxo digital	46
Figura 36 – Interface do software de planejamento cirúrgico ImplaStation aplicado para ancoragem ortodôntica com mini-implante	48
Figura 37 – Mensuração da distância inter-radicular.....	48
Figura 38 – Planejamento e criação de guia cirúrgico para instalação de mini-implante para ancoragem ortodôntica.....	49
Figura 39 – Manufatura do guia através de Impressão 3D e pós-cura.....	50
Figura 40 – Guia cirúrgico confeccionado em impressão 3D para instalação de mini- implante.....	50
Figura 41 – Teste de adaptação do guia cirúrgico.....	50
Figura 42 – Fresagem guiada para inserção de mini-implante para ancoragem ortodôntica.....	51
Figura 43 – Desenho e materialização de um guia cirúrgico para biópsia com uso de trefina	52
Figura 44 – Interface do software de planejamento cirúrgico ImplaStation aplicado para cirurgia de biópsia	53
Figura 45 – Etapas de planejamento e design do guia cirúrgico de biópsia.....	54
Figura 46 – Planejamento do posicionamento de trefinagem da lesão intraóssea a fim de se evitar o nervo alveolar inferior.....	55
Figura 47 – Criação do guia cirúrgico para biópsia através de modelagem e Impressão 3D.....	55
Figura 48 – Fluxo digital utilizado para confecção de guia de osteotomia e placa de titânio personalizada para fixação	58

Figura 49 – Interface de software utilizado para planejamento de cirurgia de avanço de maxila	59
Figura 50 – Digitalização da relação maxilo-mandibular pré-cirurgia do paciente.....	59
Figura 51 – Digitalização da posição maxilo-mandibular estabelecida em articulador semi-ajustável.....	60
Figura 52 – Modelagem de um guia intermediário	60
Figura 53 – Fusão dos arquivos DICOM e STL do paciente pré-cirurgia	60
Figura 54 – Osteotomia virtual e reposicionamento da maxila levando-se em consideração o guia intermediário.....	61
Figura 55 – Impressão 3D da face pré-cirurgia do paciente.....	61
Figura 56 – Reconstrução volumétrica de mandíbula com tumor e prototipagem da mandíbula reconstruída para adaptação de placa de reconstrução	63
Figura 57 – Interface do software de planejamento cirúrgico Implastation aplicado para modelagem mandibular	64
Figura 58 – Segmentação da mandíbula com lesão tumoral	65
Figura 59 – Modelagem e reconstrução mandibular para prototipagem	65
Figura 60 – Etapas de modelagem de reconstrução da mandíbula	66
Figura 61 – Processo de impressão 3D em resina de modelo	66
Figura 62 – Impressão 3D da mandíbula com lesão e da mandíbula modelada sem lesão	67
Figura 63 – Imagens da placa de reconstrução modelada antes da cirurgia	67
Figura 64 – Transcirúrgico com fixação da placa modelada antes da cirurgia	68
Figura 65 – Planejamento virtual e guias cirúrgicos para remoção de enxertos extraorais.....	69
Figura 66 – Diagnóstico e planejamento de reabilitação de nova prótese total	70
Figura 67 – Interface do software de planejamento cirúrgico Implastation aplicado para reconstrução mandibular	71
Figura 68 – Interface do software Implastation aplicado para modelagem e confecção de guia cirúrgico para remoção de enxerto de crista ilíaca	71
Figura 69 – Reconstrução volumétrica demonstrando defeito ósseo em mandíbula lado direito	72

Figura 70 – Segmentação da mandíbula demonstrando a relação maxilo-mandibular com defeito ósseo	72
Figura 71 – Mensuração do ângulo goníaco para reposicionamento dos fragmentos mandibulares	73
Figura 72 – Reposicionamento virtual dos fragmentos mandibulares	73
Figura 73 – Mensuração do tamanho da falha óssea mandibular pós-realinhamento	74
Figura 74 – Planejamento virtual do enxerto ósseo para reconstruir os contornos mandibulares	74
Figura 75 – Simulação da relação maxilo-mandibular antes e pós reposicionamento dos fragmentos mandibulares com enxerto ósseo	75
Figura 76 – Etapas de planejamento virtual para osteotomia de enxerto de crista ilíaca com guia cirúrgico de apoio ósseo	76
Figura 77 – Impressão 3D da maxila e mandíbula modificada virtualmente para adaptação de enxerto ósseo	76
Figura 78 – Impressão 3D de parte do osso ilíaco	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparação entre diferentes tipos de software odontológico	35
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Tridimensional / Três–dimensões
CAD/CAM	Computer–Aided Design / Computer–Aided Manufacturing
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
DLP	Digital Light Projection
FDM	Fused Deposition Modeling
LCD	Liquid Cristal Display
PCV	Planejamento Cirúrgico Virtual
PLY	Polygon File Format
POI	Pontos de Interesse
SIO	Scanner Intraoral
SLA	Stereolithography
SLS	Selective Laser Sintering
STL	Standard Tessellation Language
TC	Tomografia Computadorizada
TCFC	Tomografia Computadorizada Feixe Cônico

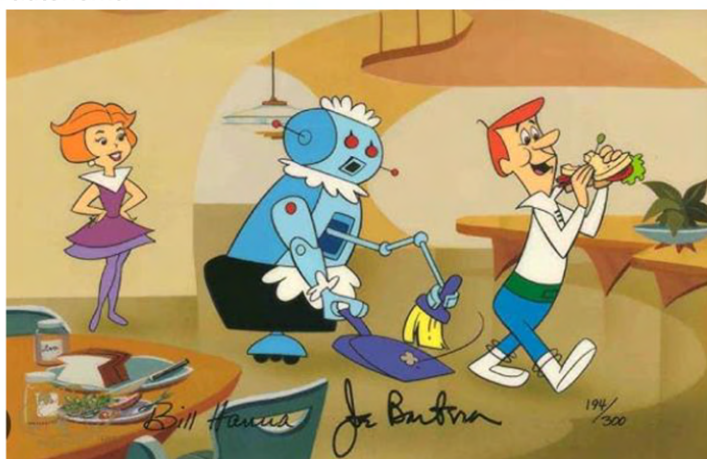
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	Desenvolvimento das tecnologias digitais na saúde.....	18
2.2	Tecnologia CAD/CAM como ferramenta na odontologia.....	20
2.3	Tomografia computadorizada de feixe cônico.....	26
2.4	Moldagens digitais	30
2.5	Softwares de planejamento 3D.....	34
2.6	Impressão 3D	37
3	OBJETIVO	40
3.1	Objetivo geral	40
3.2	Objetivos específicos.....	40
4	CASOS CIRÚRGICOS COM APLICAÇÃO DE FLUXO DIGITAL.....	41
4.1	Caso 1 – Fluxo digital para implante dentário guiado	41
4.2	Caso 2 – Fluxo digital para fresagem guiada para inserção de mini-implante ortodôntico.....	47
4.3	Caso 3 – Fluxo digital para biópsia guiada	52
4.4	Caso 4 – Fluxo digital para avanço de maxila	57
4.5	Caso 5 – Fluxo digital para ressecção mandibular e adaptação de placa de reconstrução.....	63
4.6	Caso 6 – Fluxo digital para reconstrução mandibular com enxerto de crista ilíaca	69
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
	REFERÊNCIAS.....	79

1 INTRODUÇÃO

As tecnologias digitais tornam-se cada vez mais integradas às nossas rotinas diárias, desempenhando papéis significativos em nossos momentos de lazer, trabalho ou tarefas domésticas. O progresso nesse campo é inegável e continua a surpreender. Muitas das tecnologias contemporâneas eram, na nossa infância, inacessíveis ou até mesmo inimagináveis, sendo remissivas apenas do icônico desenho dos anos 60, "Os Jetsons" (Figura 1).

Figura 1 – Um robô realizando tarefas de limpeza de forma autônoma



Fonte: Hanna-Barbera Productions.

Na área odontológica, observa-se amplos avanços proporcionados pelas tecnologias digitais. Dentre esses progressos, destacam-se softwares de comunicação e gestão, fotografia digital, motores elétricos, anestesia eletrônica, escaneamento intraoral, raio-x digital, tomografia computadorizada feixe cônico, impressão 3D, fresagem digital, e outras inovações. Tais avanços têm contribuído significativamente para melhorar diversos aspectos, desde diagnósticos mais rápidos e precisos até tratamentos mais eficientes, rápidos, menos desconfortáveis e seguros, especialmente em contextos de pandemia (MARKARIAN *et al.*, 2021).

A integração dessas tecnologias digitais tem redefinido os padrões de atuação na odontologia, incluindo a transição de imagens bidimensionais para tridimensionais, a preferência pelo escaneamento intraoral em detrimento das moldagens convencionais, a adoção de cirurgias guiadas por computador em

substituição aos métodos tradicionais, a confecção eficiente de coroas protéticas em apenas uma sessão, e a obtenção rápida de imagens digitais (raio-x ou fotográficas). Essas inovações contribuem não apenas para a eficácia clínica, mas também para a melhoria da comunicação entre profissional e paciente, entre profissionais e laboratórios (HALL *et al.*, 2023).

A tecnologia CAD/CAM é amplamente reconhecida na odontologia, destacando-se pela aquisição de dados do paciente que são transferidos para um ambiente digital. Nesse contexto, é possível realizar o planejamento virtual do tratamento (CAD) e, em seguida, a fabricação (CAM) por meio de equipamentos digitais, como fresadoras ou impressoras 3D (DAVIDOWITZ; KOTICK, 2011; KRASTEVA *et al.*, 2023).

No entanto, a adoção dessas tecnologias enfrenta desafios, sobretudo devido ao custo relativamente elevado e à carência significativa de capacitação dos profissionais (FUNG; BRISEBOIS, 2020). Um estudo realizado com dentistas britânicos revelou que a maioria não utilizava fluxo digital e, entre os que faziam uso, um número significativo acreditava ter treinamento insuficiente. A maioria dos profissionais dentistas respondeu que o fluxo digital terá um importante papel no futuro da odontologia (TRAN; NESBIT; PETRIDIS, 2016).

Frente a esse cenário desafiador na implementação eficaz da tecnologia CAD/CAM, destacando a importância de investimentos em capacitação para otimizar os benefícios dessas ferramentas inovadoras, o presente trabalho busca demonstrar as potenciais aplicações do fluxo digital (CAD/CAM) no campo da cirurgia odontológica.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Desenvolvimento das tecnologias digitais na saúde

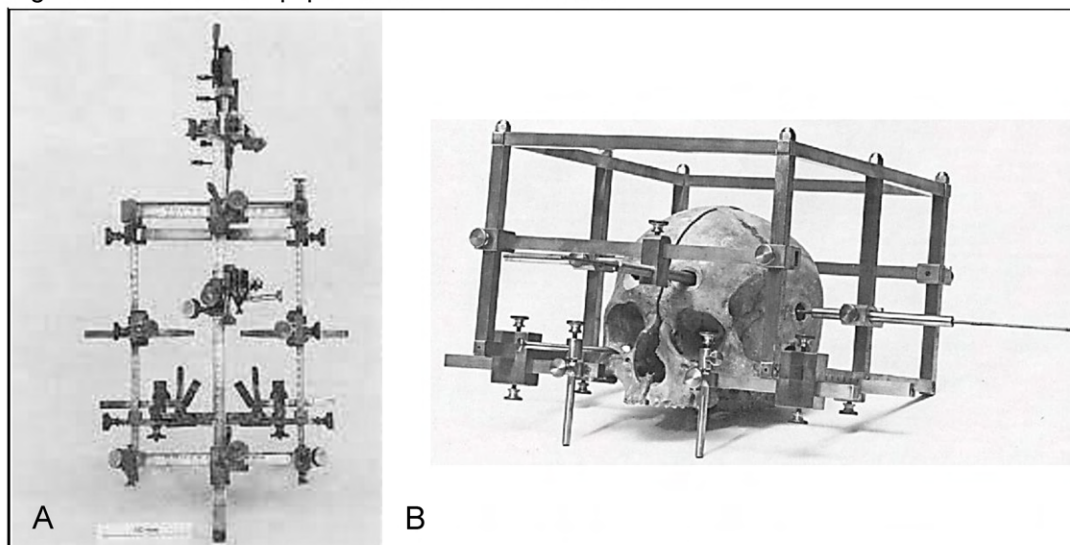
O emprego crescente da tecnologia digital está se tornando uma tendência marcante em praticamente todas as áreas da vida, sendo impulsionado pelos significativos avanços da computação e pela busca de mercados promissores.

Segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI), a indústria brasileira está cada vez mais digital. Em 2016, 48% das indústrias faziam uso de tecnologias digitais, e cinco anos depois (2021) o número foi para 69% (GARCIA, 2022). O investimento em modernização está relacionado principalmente aos benefícios como aumento de produtividade, melhora da qualidade e diminuição de custos. Entretanto, a CNI aponta que apesar da alta adoção de tecnologias digitais, ela apresenta uma baixa variedade e isso estaria relacionado principalmente a falta de conhecimento e alto custo de implementação.

Na área da saúde, o crescimento não é exceção. O progresso e investimento em tecnologias digitais possibilitam a rápida integração de inovações a todo momento. Um exemplo notável é o avanço da robótica em procedimentos médicos.

Os procedimentos estereotáxicos foram pioneiros no campo da robótica. A palavra "estereotaxia" tem raízes gregas (steréos: sólido, de três dimensões; taxis: disposição, posicionamento). Os primeiros avanços nas cirurgias estereotáxicas datam de 1905, quando Clarke e Horsley conduziram estudos sobre funções cerebelares em macacos (Figura 2A). Posteriormente, em 1918, Aubrey Mussen aplicou esses princípios em procedimentos cirúrgicos em seres humanos (Figura 2B). Esse método implica no emprego de dispositivos específicos de orientação geométrica fixados à cabeça, possibilitando a direção precisa de um instrumento até o alvo desejado. Isso resulta em um procedimento minimamente invasivo, conforme descrito por Gusmão (2002).

Figura 2 – Primeiros equipamentos de estereotaxia



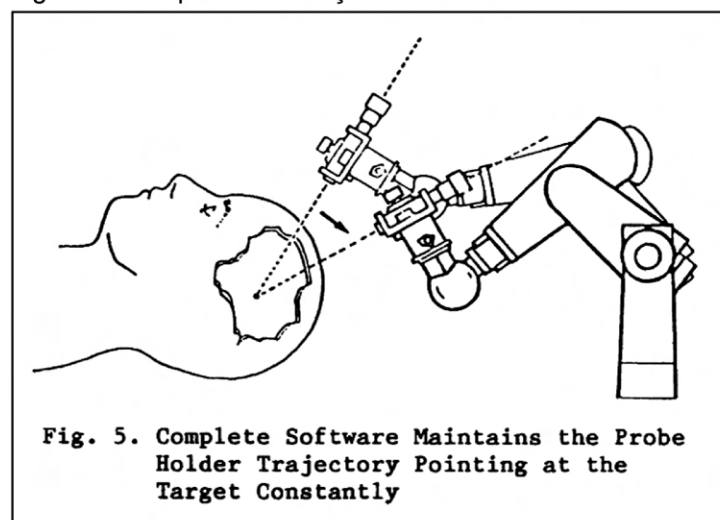
Legenda: A) Equipamento desenvolvido por Clarke e Horsley em 1905.

B) Equipamento desenvolvido por Mussen em 1918.

Fonte: RAHMAN; MURAD; MOCCO, 2009, p.2.

O início das cirurgias robóticas remonta ao final da década de 70, utilizando inicialmente imagens convencionais de Raio-X (bidimensionais). Logo em seguida, na década de 80, com o advento dos exames de imagens digitais, como a Tomografia Computadorizada, surgiram as coordenadas tridimensionais, impulsionando ainda mais o desenvolvimento das cirurgias robóticas. Em 1985 foi testado o primeiro sistema robótico experimental (Figura 3) composto por um braço mecânico e controle eletrônico (SHAO *et al.*, 1985).

Figura 3 – Esquema do braço robótico de 1985



Fonte: SHAO, 1985, p. 670.

Um relatório da Zion Market Research (2019) intitulado “Medical Robots Market by Product Type (Robotic Systems and Accessories and Instruments), by Application (Orthopedic, Neurology, Laparoscopic, Cardiology, and Others), and by End–User (Clinics, Ambulatory Surgical Centers, and Hospitals): Global Industry Perspective, Comprehensive Analysis, and Forecast, 2018–2025” destaca que o mercado global de robôs médicos (Figura 4) foi avaliado em 6,62 bilhões de dólares em 2018 e deverá alcançar aproximadamente 24,6 bilhões de dólares em 2025.

Figura 4 – Equipamento de cirurgia robótica atual



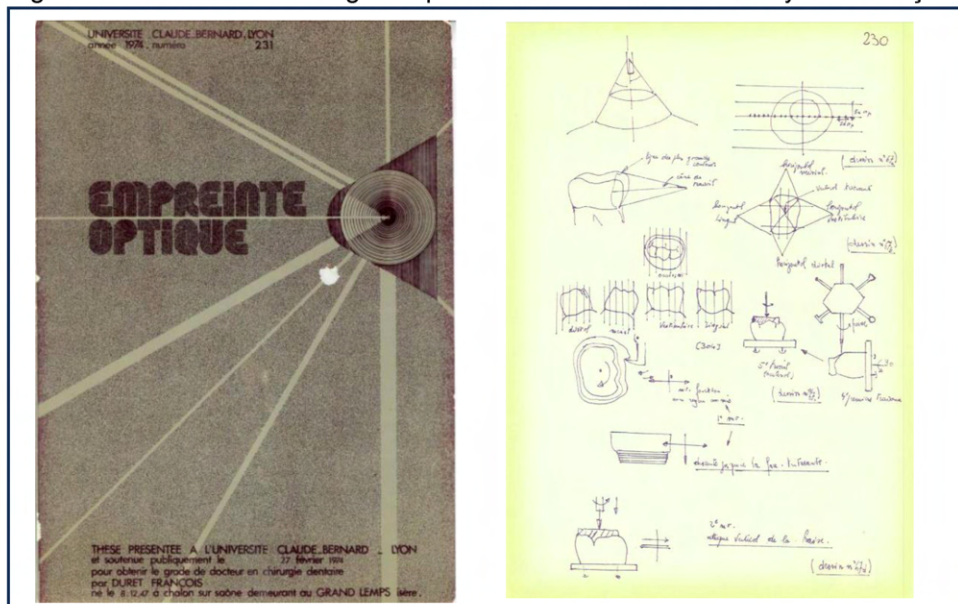
Fonte: Stereotaxis Inc., 2023.

2.2 Tecnologia CAD/CAM como ferramenta na odontologia

Em 1969, um jovem francês chamado François Duret, com apenas 22 anos, iniciou sua pesquisa com Laser de Rubi na Faculdade de Ciências da Universidade de Lyon, na França. No ano seguinte, em 1970, teve a ideia de explorar as possibilidades de CAD/CAM e Inteligência Artificial na área da Medicina. Durante os anos de 1971 a 1973, François Duret dedicou-se à redação de sua tese, intitulada "*Empreinte Optique*" (Figura 5), que abordava a moldagem óptica (escaneamento) e a confecção de um dente pelo método de subtração (fresagem), sendo apresentada ao público em 1974 (DURET, 2024). Os estudos do Prof. François Duret são amplamente reconhecidos em escala global, especialmente por sua contribuição

pioneira ao introduzir a odontologia no mundo digital (CAD/CAM) numa época em que o acesso à tecnologia da informática era extremamente limitado (Figura 6).

Figura 5 – Tese sobre Moldagem Óptica defendida em 1973 em Lyon – França



Fonte: Site oficial Prof. François Duret¹, 2024.

Figura 6 – Vídeo de François Duret demonstrando sistema Cad/Cam em 1983



Fonte: Site oficial Prof. François Duret², 2024.

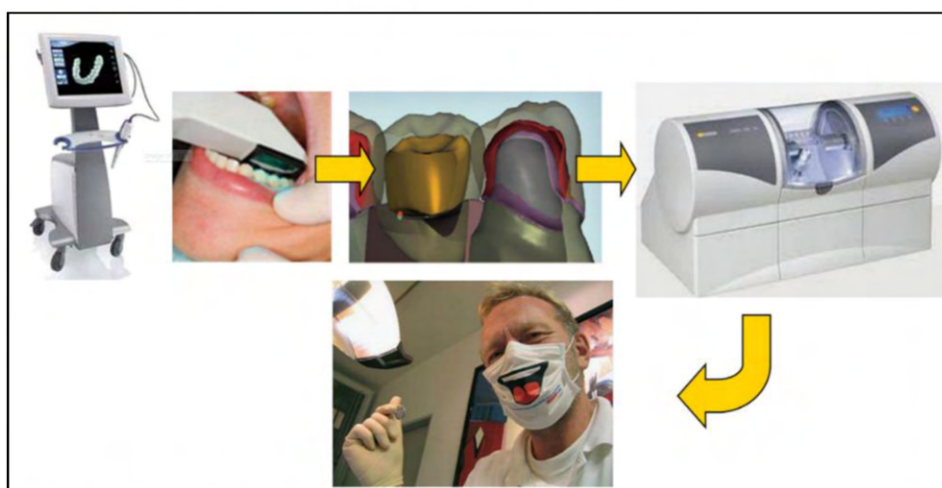
¹ Disponível em: <https://www.francoisduret.com/inventionseng/> Acesso em: 05 de jan. 2024.

² Disponível em: <https://www.youtube.com/embed/zNxY9pFp9K4?feature=oembed>. Acesso em: 05 de jan. 2024.

A adoção dessas ferramentas digitais abriu caminho para a criação de um paciente virtual 3D, conforme destacado por Joda e Gallucci (2015). Esse avanço possibilita intervenções em todas as etapas do processo odontológico, desde o diagnóstico e planejamento até o tratamento e acompanhamento.

Com o surgimento de equipamentos especializados mais acessíveis, observa-se uma transição gradual dos métodos analógicos para abordagens digitais. Essa mudança busca promover procedimentos minimamente invasivos, caracterizados por maior rapidez e precisão. Como mencionado por Logozzo (2014), o procedimento convencional (analógico) na confecção de próteses dentárias revela-se moroso e suscetível a erros, consolidando-se como técnica obsoleta. Atualmente, há uma clara preferência pelos sistemas digitais, conforme representado na Figura 7.

Figura 7 – Fluxo digital na confecção de prótese dentária

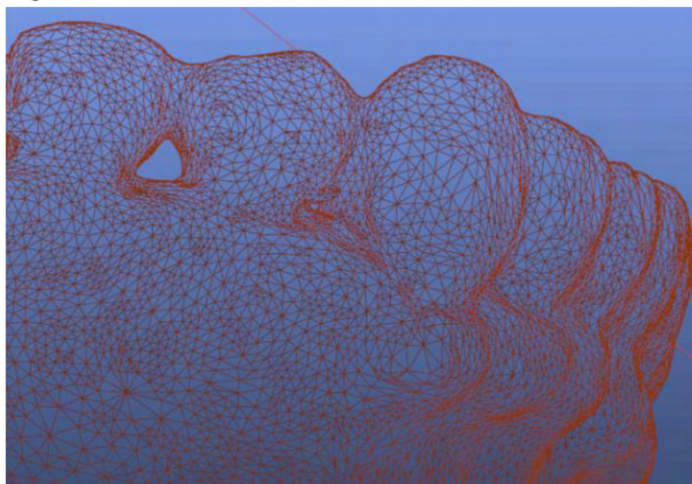


Fonte: Logozzo, 2014, p.205.

Na odontologia, a aplicação de técnicas digitais é amplamente reconhecida sob o sistema CAD/CAM (Computer–Aided Design/Computer–Aided Manufacturing). O início da implementação do CAD/CAM na odontologia ocorreu na área da prótese, com a confecção de pequenas restaurações do tipo Inlays no início dos anos 80 (MÖRMANN, 2006).

Originado na engenharia, o CAD/CAM encontrou aplicação em diversos setores, como automotivo, aeroespacial, médico, joalheria, entre outros. CAD representa uma ferramenta computacional, um software dedicado ao desenho ou modelagem de objetos (Figura 8).

Figura 8 – Malha de um modelo dentário



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Seu propósito é viabilizar a fabricação desses objetos, fazendo uso de propriedades geométricas em 2D e 3D, como pontos, linhas, faces, círculos, superfícies planares e extrudadas, malhas, entre outros. CAM, por sua vez, representa o processo de fabricação de um objeto modelado no software CAD por meio de um equipamento assistido por computadores.

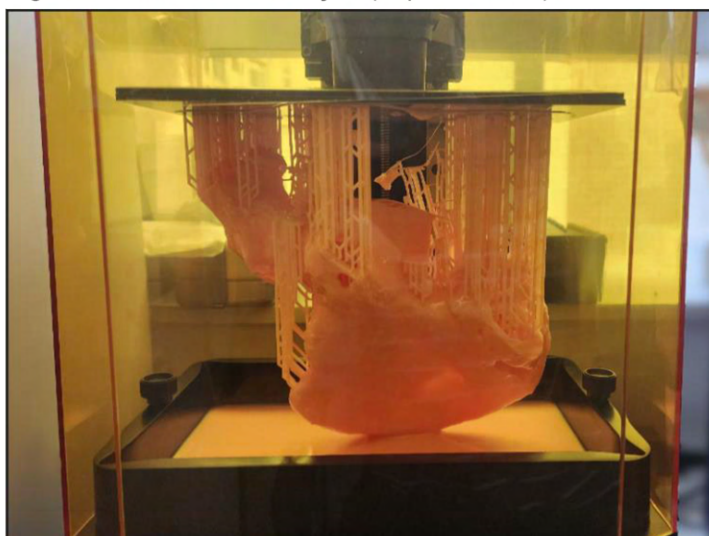
Na odontologia, as técnicas mais amplamente reconhecidas na fabricação digital envolvem tanto o método de subtração, como fresagem ou usinagem (Figura 9), frequentemente aplicado na confecção de próteses, quanto o método de adição, que utiliza a impressão 3D (Figura 10), sendo amplamente empregado em áreas como cirurgia e ortodontia.

Figura 9 – Método de subtração (Fresagem)



Fonte: Roland DGA Corporation.

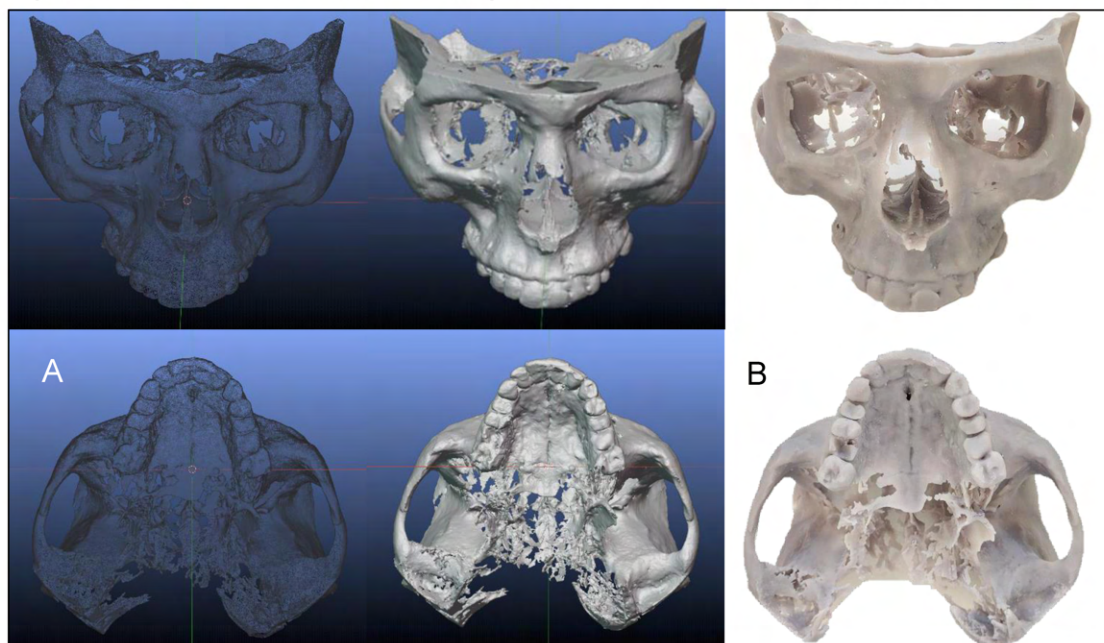
Figura 10 – Método de adição (Impressão 3D)



Fonte: Do autor, 2023.

O emprego de sistemas CAD/CAM (Figura 11) tem contribuído diretamente nas mais diferentes áreas da odontologia como: implantodontia, prótese, ortodontia, dentística, periodontia, cirurgia buco–maxilo–facial (SUGANNA *et al.*, 2022).

Figura 11 – Sistema CAD/CAM para criação de modelo 3D impresso de maxila



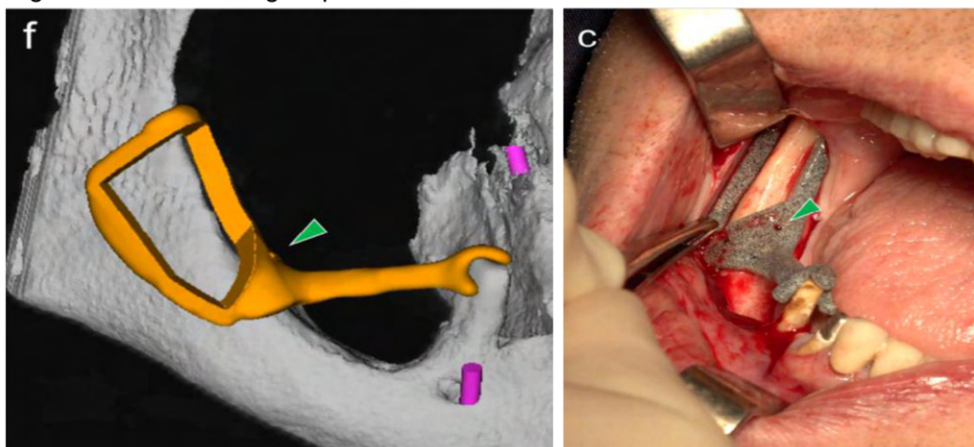
Legenda: A) Modelagem (CAD)
B) Impressão 3D (CAM)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

De Stavola (2022) evidenciou a utilização de guias cirúrgicos desenvolvidos por computador para remoção de enxertos ósseos autógenos em região mandibular.

Essa abordagem visava melhorar a precisão na posição, angulação e profundidade da osteotomia, otimizando, conseqüentemente, o volume do bloco ósseo removido. Além disso, buscava minimizar os riscos relacionados às estruturas anatômicas adjacentes ao local doador (Figura 12).

Figura 12 – Guia cirúrgico para enxerto ósseo

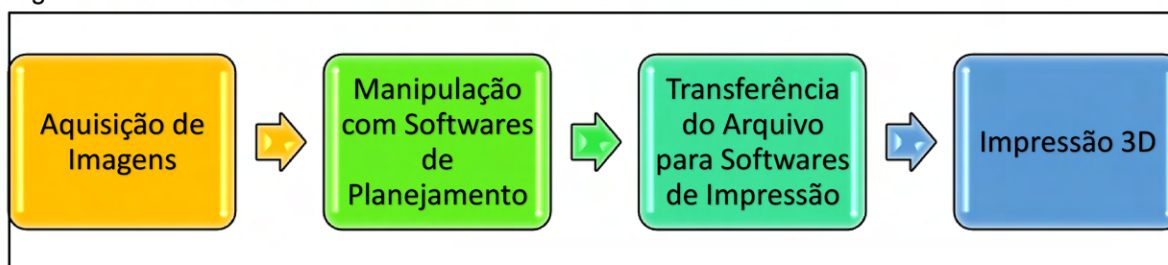


Fonte: DE STAVOLA, 2022, p.4.

Portanto, o emprego do CAD–CAM tem como finalidade um planejamento minimamente invasivo com resultados previsíveis, minimizando complicações intraoperatórias, desconforto para o paciente e tempo geral de trabalho (CHEN *et al.*, 2021).

Mas para isso, há a necessidade de se seguir um processo que consiste nas seguintes etapas: aquisição de imagens (TCFC e Escaneamento Superfície), manipulação de imagens e confecção do objeto 3D (Figura 13).

Figura 13 – Processo do CAD/CAM



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

2.3 Tomografia computadorizada de feixe cônico

Em 1º de outubro de 1971, foi capturada a primeira imagem digital de um cérebro humano por meio de um tomógrafo. O inventor Godfrey Hounsfield desenvolveu um algoritmo capaz de reconstruir a imagem cerebral com base em valores obtidos em pontos específicos de cada camada escaneada (Figura 14).

Figura 14 – Primeiro Tomógrafo Médico da EMI–Scanner em 1972



Fonte: PA Images.

O emprego da Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (TCFC) tem ganhado crescente popularidade desde sua introdução no final da década de 90, impulsionado pelo seu custo financeiro reduzido e pela menor exposição à radiação ionizante quando comparado aos exames tomográficos médicos convencionais (JACOBS *et al.*, 2018). Este tipo de exame de imagem digital foi fundamental para o avanço de diagnósticos e estabelecimento de tratamentos na área da odontologia (Figura 15).

Conforme é possível se visualizar na Figura 16, a TCFC traz inúmeras vantagens como a possibilidade de visualizar e analisar estruturas anatômicas em três dimensões (BORNSTEIN; HORNER; JACOBS, 2017). Além disso, é possível se verificar estruturas de tecido duro (FIGURA 16B – Seta Azul) e mole (Figura 16B –

Seta Amarela) com uma qualidade superior a exames bidimensionais, visto que não há deformação ou sobreposição de imagens (ABRAMOVITCH; RICE, 2014). Pesquisas demonstram uma notável capacidade da TCFC fornecer informações precisas sobre a espessura da mucosa, apresentando valores muito semelhantes às medidas físicas (UENO *et al.*, 2014; WARA-ASWAPATI *et al.*, 2001).

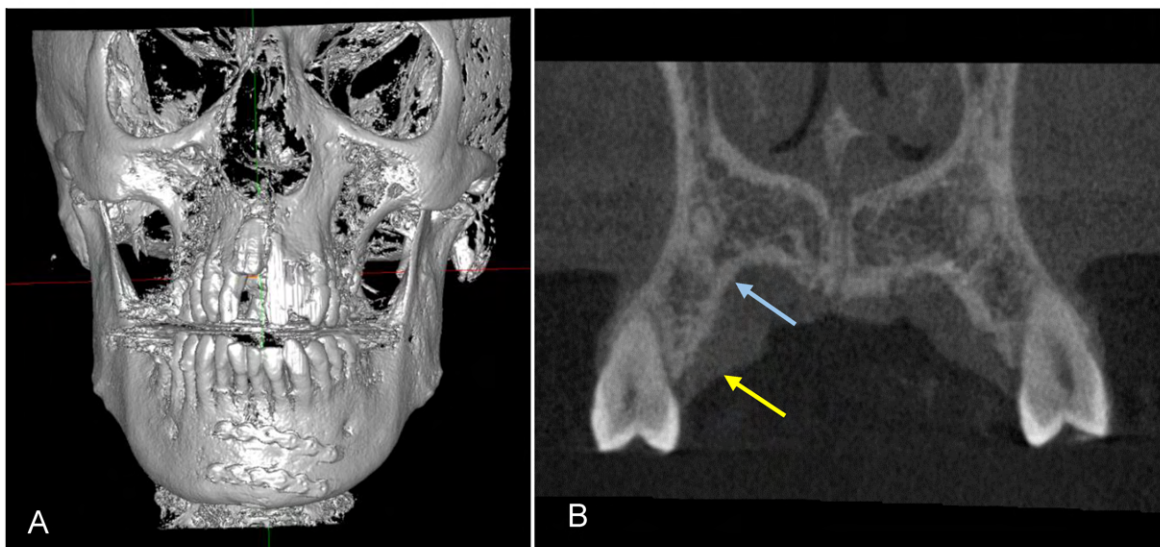
Figura 15 – Aparelho de TCFC aplicado à área da odontologia



Fonte: PA Images.

No entanto, é crucial observar as diretrizes atuais para o uso TCFC, uma vez que as doses de radiação ionizantes administradas aos pacientes são superiores às dos exames radiográficos convencionais (HORNER *et al.*, 2009). Em outras palavras, a aplicação dos diferentes tipos de imagens radiográficas deve ser determinada de acordo com sua verdadeira necessidade, aderindo aos princípios da radioproteção, como os conceitos de ALARA (As Low as Reasonably Achievable), buscando manter as doses de radiação tão baixas quanto razoavelmente possível, ou ALADA (As Low as Diagnostically Acceptable), mantendo-as tão baixas quanto diagnosticamente aceitável. (JAJU; JAJU, 2015).

Figura 16 – Imagens Tomográficas aplicadas à Odontologia



Legenda: A) Reconstrução 3D
B) Tecido mole (seta amarela), Tecido duro (seta azul)
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

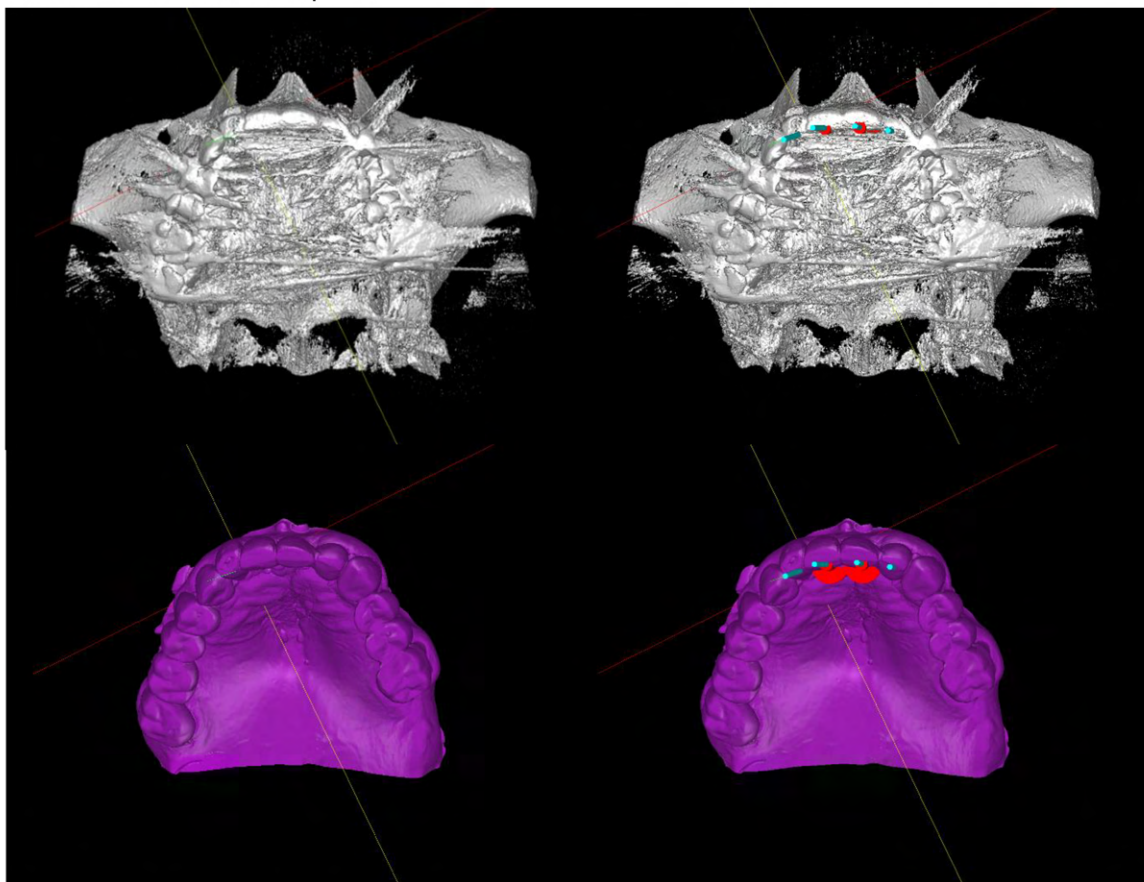
O exame de Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (TCFC) não deve ser encarado como uma alternativa destinada a substituir exames convencionais, como a radiografia panorâmica ou outros procedimentos de projeção bidimensional (JAIN *et al.*, 2019); em vez disso, a TCFC tem suas aplicações específicas como nas áreas da:

- Endodontia
 - Detecção de canais extras ou laterais;
 - Avaliação de reabsorção dentária (Interna e Externa);
 - Identificação de fratura radicular;
 - Entre outras.
- Implantodontia
 - Avaliação de estruturas anatômicas;
 - Avaliação da quantidade e qualidade óssea;
 - Avaliação de canal mandibular;
 - Avaliação de tecido mole;
 - Planejamento de cirurgias de reconstruções ósseas;
 - Planejamento de cirurgia guiada;
 - Entre outras.

- Estomatologia
 - Avaliação de patologias ósseas e periapicais;
 - Avaliação de patologias de glândulas salivares;
 - Entre outras.
- Cirurgia Buco–Maxilo–Facial
 - Planejamento de exodontias de terceiros molares ou dentes impactados;
 - Avaliação de fraturas maxilo–faciais;
 - Planejamento 3D de cirurgias de reconstrução ou ortognática;
 - Entre outras.
- Periodontia
 - Avaliação de defeito óssea bucal e lingual;
 - Avaliação de envolvimento de furca;
 - Avaliação de Defeitos intraósseos;
 - Planejamento cirurgias periodontais regenerativas;
 - Entre outras.
- Ortodontia
 - Avaliação de deformidades dentofaciais;
 - Avaliação de dentes impactados para reposicionamento;
 - Entre outras.

Ultimamente, tem havido uma combinação dos exames de Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (TCFC) com imagens de escaneamento digital da superfície dentária, provenientes de fontes intraorais ou extraorais. Embora os exames de TCFC capturem imagens das estruturas dentárias, geralmente não conseguem reproduzir a superfície com precisão, apresentando frequentemente distorções e/ou artefatos gerados por restaurações metálicas ou aparelhos ortodônticos (Figura 17). O emprego combinado dessas duas técnicas digitais tem permitido um planejamento mais preciso, principalmente em cirurgias minimamente invasivas (JAIN *et al.*, 2019).

Figura 17 – Diferença na qualidade da superfície dentária em um exame TCFC e moldagem digital com escaneamento de superfície



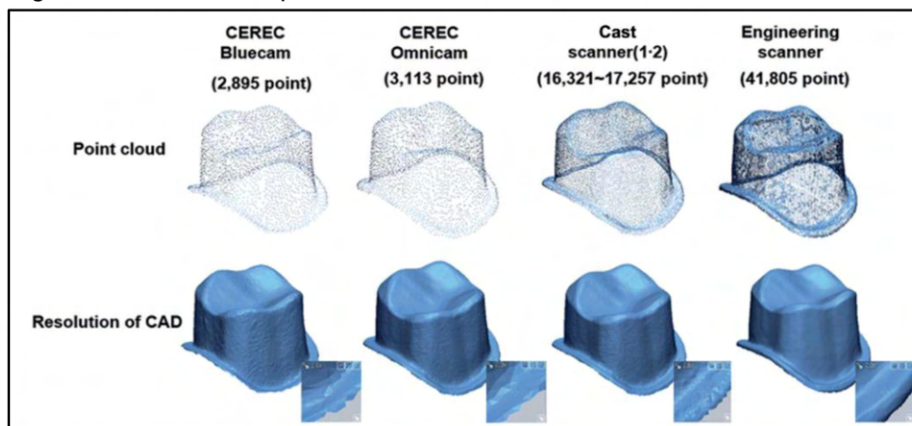
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

2.4 Moldagens digitais

A utilização do escaneamento das arcadas dentárias tem se revelado de suma importância na criação de modelos digitais 3D/virtuais. Essas representações digitais desempenham um papel crucial no diagnóstico, no planejamento de tratamentos e na aprimoração da comunicação entre profissionais e pacientes em diversas áreas da odontologia, como prótese, ortodontia e implantodontia (LOGOZZO *et al.*, 2014).

O escaneamento tem o objetivo registrar com precisão a geometria tridimensional de estruturas, projetando uma fonte de luz na área de interesse. De uma maneira simplificada, as imagens são capturadas pelo sensor do equipamento e processadas pelo software que gerará uma nuvem de pontos (Figura 18) que constituirá o modelo virtual em 3D (KACHHARA *et al.*, 2020; LEE *et al.*, 2017).

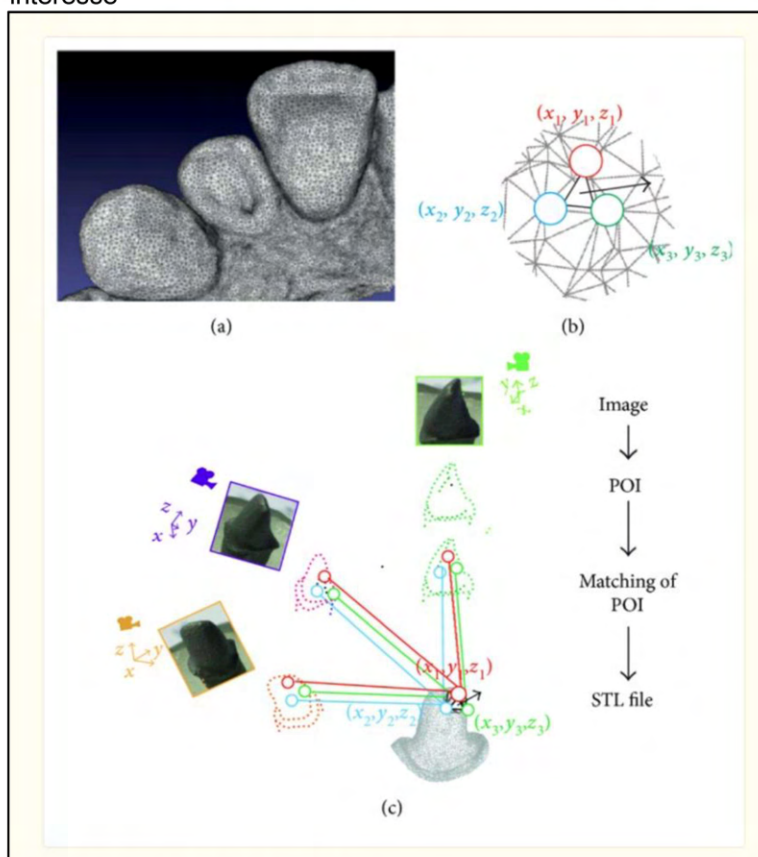
Figura 18 – Nuvem de pontos obtido em diferentes escaneamentos



Fonte: LEE, 2017, p.12.

A reconstrução virtual é executada por meio de algoritmos presentes no software de escaneamento, os quais identificam os chamados pontos de interesse (POI) do objeto em um plano de coordenadas cartesianas (x , y e z). Após o cálculo de similaridade entre diversas imagens (Figura 19), uma correspondência de POI coincidentes é estabelecida, resultando na geração de triângulos com coordenadas através da matriz de projeção (RICHERT *et al.*, 2017).

Figura 19 – Geração da Imagem virtual a partir de pontos de interesse



Fonte: RICHERT, 2017, p.2.

Vários estudos evidenciaram que a obtenção de imagens tridimensionais através do método de escaneamento demonstra elevada precisão e confiabilidade, desde que conduzidos de acordo com protocolos específicos (ALKADI, 2023; CEN *et al.*, 2023; CHOCHLIDAKIS *et al.*, 2016; NAGATA *et al.*, 2021).

Os modelos digitais são normalmente obtidos através de duas técnicas:

- Técnica de escaneamento Intraoral/Direto (Figura 20)

O escaneamento intraoral é realizado com um equipamento capaz de capturar diretamente imagens das estruturas do paciente.

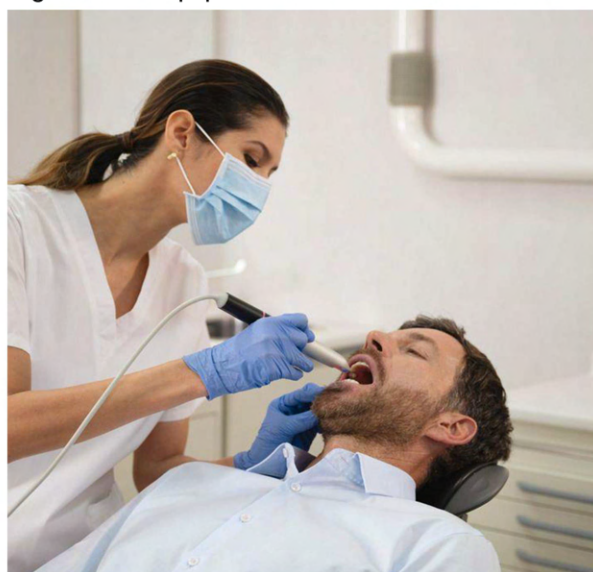
Vantagens:

- Aumento da precisão;
- Moldagens mais rápidas;
- Menor incomodo do paciente;
- Diminuição de contaminação cruzada;
- Menor geração de resíduos.

Desvantagens:

- Alto custo de investimento;
- Necessidade de capacitação;
- Limitação em alguns tipos de tratamento (ex. tratamento com alinhadores de algumas marcas).

Figura 20 – Equipamento de Scanner Intraoral



Fonte: Straumann Group, 2023.

- Técnica de escaneamento de bancada/Indireto (FIGURA 21)

O modelo digital é obtido através do escaneamento óptico de um modelo físico do paciente obtido através de técnicas convencionais de moldagem com material de elastomérico e vazamento com gessos especiais. Mais utilizado por laboratórios de prótese.

Vantagens:

- Menor custo de investimento;
- Escaneamento de articuladores e moldagens;
- Escaneamento rápido.

Desvantagens

- Maior número de etapas que podem levar a distorções;
- Demora na obtenção do modelo digital;
- Menor precisão.

Figura 21 – Equipamento de Scanner de Bancada

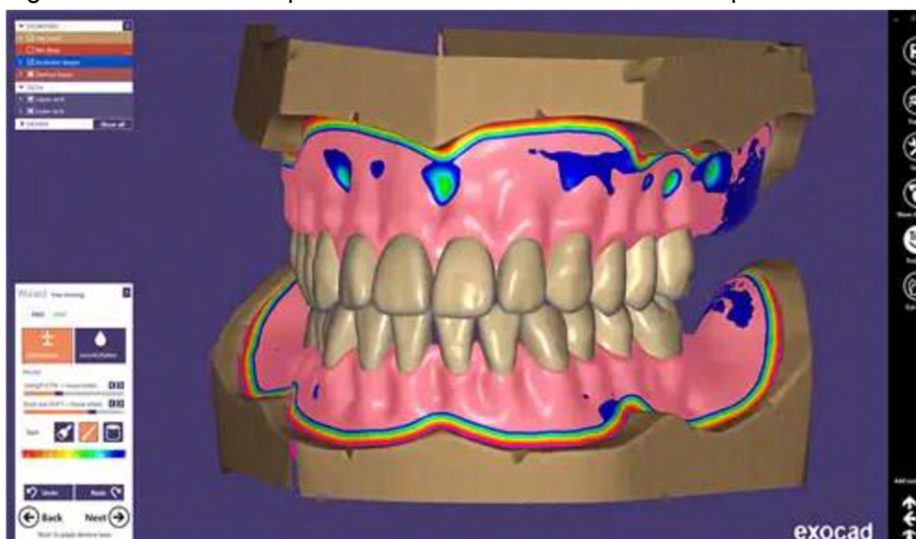


Fonte: AmannGirrbach Group, 2023.

2.5 Softwares de planejamento 3D

Atualmente, uma ampla gama de softwares dedicados à odontologia está disponível, cobrindo diversas especialidades específicas com o propósito de alcançar maior precisão, redução de riscos, eficiência no tempo de trabalho e resultados clínicos aprimorados (CEN *et al.*, 2023). Os programas mais reconhecidos e amplamente utilizados estão vinculados a diversas áreas, incluindo prótese, cirurgia, radiologia, ortodontia e dentística. Essas ferramentas tecnológicas desempenham um papel fundamental no aprimoramento das práticas odontológicas, oferecendo recursos especializados para atender às demandas específicas de cada disciplina (Figura 21) (HUNG *et al.*, 2020).

Figura 21 – Software especializado em desenhos na área da prótese



Fonte: Exocad GmbH, 2023.

No campo da cirurgia odontológica, os softwares são fundamentais contribuindo com as seguintes funções:

- Planejamento de cirurgias (Implante, Enxertos, Ortognática,...);
- Simulação de procedimentos;
- Medições precisas;
- Visualizações e Reconstruções tridimensionais;
- Integração com outros exames digitais;
- Documentação;

- Comunicação entre profissionais e com pacientes.

Atualmente existem diversos softwares odontológicos que podem ser categorizados em diferentes tipos de distribuição:

- **Open–Source**: código–fonte é aberto e público. Qualquer pessoa pode utilizar, modificar ou distribuir (ex: Blender);
- **Closed–Source**: código fechado pelo desenvolvedor, necessidade de pagamento pela licença de uso (ex. Exocad, CoDiagnostix, Dolphin);
- **Freeware**: código fechado, mas de uso livre/gratuito (ex. Meshmixer);
- **Freemium**: é de uso gratuito (freeware), mas com algumas opções pagas (ex. ImplaStation, Blue Sky Plan).

Os softwares que requerem licença geralmente são reconhecidos por sua versatilidade e interface amigável, contudo, suas funcionalidades tendem a ser mais limitadas, além de envolverem um custo de investimento elevado (RENÇBER KIZILKAYA; KARA, 2024). Em contrapartida, os softwares livres oferecem uma maior liberdade de funções e geralmente têm um custo financeiro mais baixo, ou até mesmo nenhum, embora possam não ser tão intuitivos em sua utilização (QUADRO 1). A escolha entre esses tipos de software está fortemente relacionada ao perfil do usuário, uma vez que cada um apresenta vantagens e desvantagens (ABAD-CORONEL *et al.*, 2023).

Quadro 1 – Comparação entre diferentes tipos de software odontológico

	Usabilidade	Funções	Custo	Atualizações
Open–Source	Baixa	Diversas	Nenhum	Lentas
Freeware	Baixa	Variável	Nenhum	Lentas
Freemium	Boa	Restritas	Baixo	Variável
Closed–Source	Muito boa	Muito Restritas	Alto	Frequentes

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A grande maioria dos softwares de planejamento cirúrgico, normalmente, possuem a capacidade de ler arquivos de exames tomográficos (DICOM) e de

escaneamento ópticos intraoral/extraoral (STL, PLY), permitindo assim a reconstrução virtual do paciente. A fusão desses dois tipos de arquivo (DICOM e STL) é realizada mediante o uso de estruturas anatômicas similares, como os dentes (Figura 22). Esse processo de fusão de imagens, conhecido como registro, desempenha um papel crucial no planejamento e na criação de guias para cirurgias odontológicas (ABAD-CORONEL *et al.*, 2023). Na área da implantodontia, por exemplo, o registro fidedigno possibilitará a transferência precisa da posição do planejamento do implante virtual para o sítio cirúrgico (FLÜGGE *et al.*, 2017).

Figura 22 – Etapa de registro/fusão das imagens DICOM e STL



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Assim sendo, os softwares de CAD (Computer-Aided Design) desempenham um papel crucial no processo de concepção de objetos que posteriormente serão concretizados na etapa CAM (Computer-Aided Manufacturing). Muitos desses programas oferecem integração efetiva com sistemas de produção, como impressão 3D ou fresagem (KERNEN *et al.*, 2020). Estudos comparativos entre softwares de sistema aberto e fechado revelaram que não existe uma diferença estatisticamente significativa em relação à precisão das malhas dos objetos 3D que serão destinados à impressão 3D (ABAD-CORONEL *et al.*, 2023).

2.6 Impressão 3D

A prototipagem ou impressão tridimensional (3D) tem ganhado destaque nos últimos anos no campo da saúde, especialmente em disciplinas como ortopedia, neurocirurgia, cirurgia cardíaca e cirurgia buco-maxilo-facial (Figura 23). A introdução das impressoras 3D possibilitou a concretização de objetos previamente criados ou manipulados virtualmente (TACK *et al.*, 2016).

Figura 23 – Impressão 3D de uma mandíbula

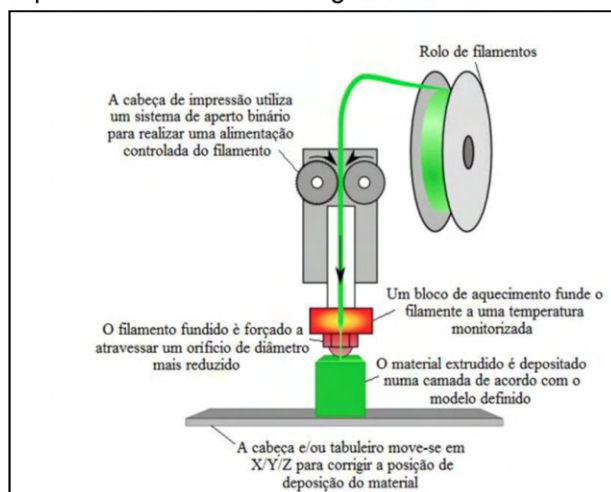


Imagem: Do autor, 2023.

A impressão 3D é uma tecnologia de fabricação por adição, na qual materiais como polímeros ou metais são depositados camada por camada para formar uma estrutura tridimensional (OBREGON *et al.*, 2015). Existem diversas tecnologias de impressão 3D, sendo as mais populares e acessíveis as tecnologias FDM (Fused Deposition Modeling), SLA (Stereolithography), DLP (Digital Light Processing) e LCD (Liquid Crystal Display). Por outro lado, as tecnologias de impressão de metais DMLS (Direct Metal Laser Sintering) ou SLS (Selective Laser Sintering) são menos comuns e apresentam custos elevados (PARK *et al.*, 2019).

A tecnologia FDM destaca-se como a mais popular na área de impressão 3D. Ela utiliza um filamento de polímero termoplástico, extrudido em alta temperatura e depositado camada por camada, solidificando-se imediatamente (Figura 24) (GOYANES *et al.*, 2016; MOREIRA, 2016).

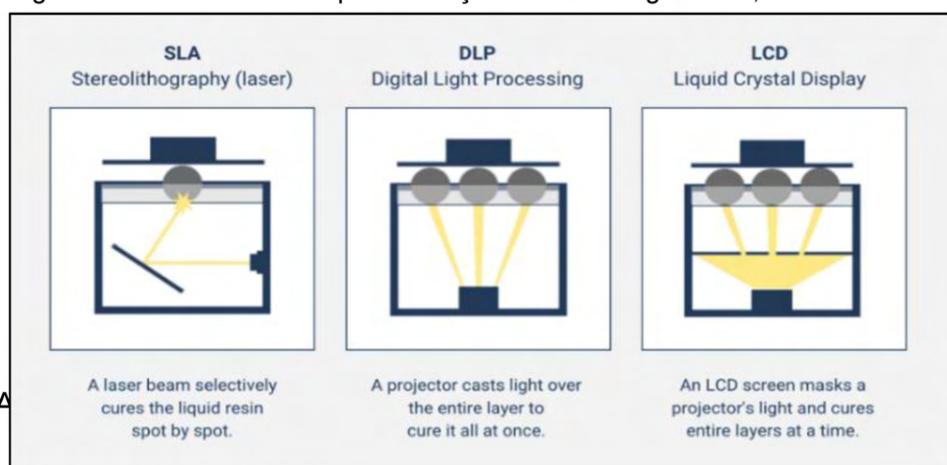
Figura 24 – Princípio de funcionamento de uma impressora 3D com tecnologia FDM



Fonte: Moreira, 2016, p.10.

As impressoras 3D que utilizam tecnologias SLA, DLP e LCD compartilham características notavelmente semelhantes no processo de fabricação de objetos tridimensionais (Figura 25). Nesse procedimento, uma resina líquida é depositada em um reservatório, enquanto uma plataforma realiza movimentos alternados de elevação e descida. Em cada ciclo, uma fonte de luz, seja UV ou laser, é projetada, induzindo a fotopolimerização da resina, que endurece e contribui para a formação progressiva de camadas, culminando na criação do objeto tridimensional (PARK *et al.*, 2019).

Figura 25 – Sistema de fotopolimerização das tecnologias SLA, DLP e LCD



como SLA

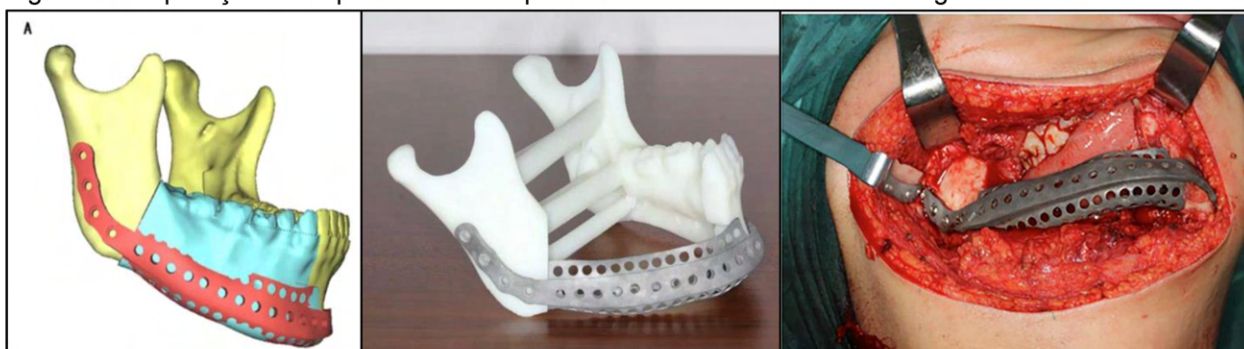
são 3D,
ras 3D,

Fonte: Aniwaa, 2023.

tanto industriais quanto de baixo custo, demonstraram níveis de precisão clinicamente aceitáveis (ANADIOTI *et al.*, 2022; GRASSIA *et al.*, 2023; RUNGROJWITTAYAKUL *et al.*, 2020; WEGMÜLLER *et al.*, 2021).

Na área da odontologia (Figura 26), a impressão 3D apresenta um papel fundamental ajudando na produção de: Modelos dentários, guias cirúrgicos, restaurações dentárias, prototipagem de peças anatômicas ou próteses faciais, placas de bruxismo, além de outras aplicações clínicas e laboratoriais (TIAN *et al.*, 2021; ZHAO *et al.*, 2023).

Figura 26 – Aplicação de Impressão 3D em prótese de mandíbula com tecnologia SLA e SLS



Fonte: adaptado de SHEN, 2023.

3 OBJETIVO

3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é descrever o fluxo digital aplicado em seis casos de cirurgia.

3.2 Objetivos específicos

- Fluxo digital para instalação de implante dentário (Implantodontia);
- Fluxo digital para ancoragem de mini-implante (Ortodontia);
- Fluxo digital em biópsia (Estomatologia);
- Fluxo digital para avanço de maxila (Ortognática);
- Fluxo digital em ressecção mandibular (CTBMF);
- Fluxo digital em reconstrução óssea com enxerto de crista ilíaca (CTBMF).

4 CASOS CIRÚRGICOS COM APLICAÇÃO DE FLUXO DIGITAL

4.1 Caso 1 – Fluxo digital para implante dentário guiado

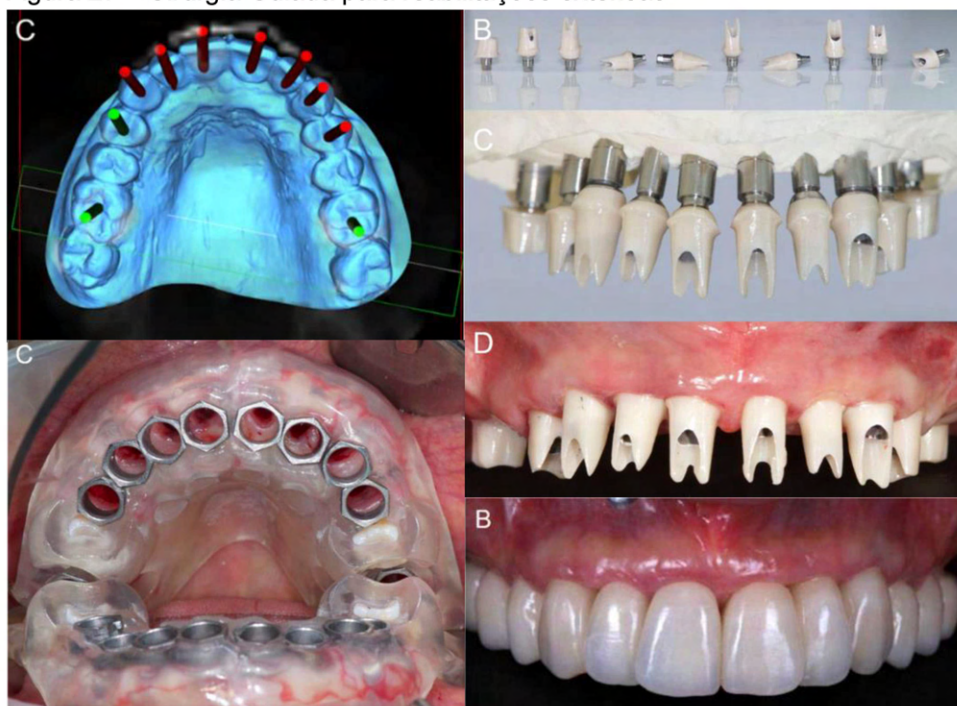
Objetivo: Planejar, criar e imprimir um guia cirúrgico para implantes dentários com prótese imediata.

Referencial teórico: O correto posicionamento tridimensional dos implantes dentários é essencial para se alcançar resultados ideais tanto em termos de funcionalidade quanto de estética (BUSER; MARTIN; BELSER, 2004).

Estudos demonstram que cirurgias guiadas apresentam maior precisão do que cirurgias realizadas a mão livre. A técnica de cirurgia guiada deve ser considerada a abordagem padrão-ouro em se tratando de procedimentos com necessidade de correto posicionamento do implante dentário (CHOI *et al.*, 2017; TATTAN *et al.*, 2020; YOUNES *et al.*, 2018).

Reabilitações de grandes espaços edêntulos são um grande desafio, visto que o correto posicionamento espacial dos implantes irá influenciar na estética do paciente (Figura 27), especialmente, na anatomia dos dentes, orifício dos parafusos (LERNER *et al.*, 2020).

Figura 27 – Cirurgia Guiada para reabilitações extensas



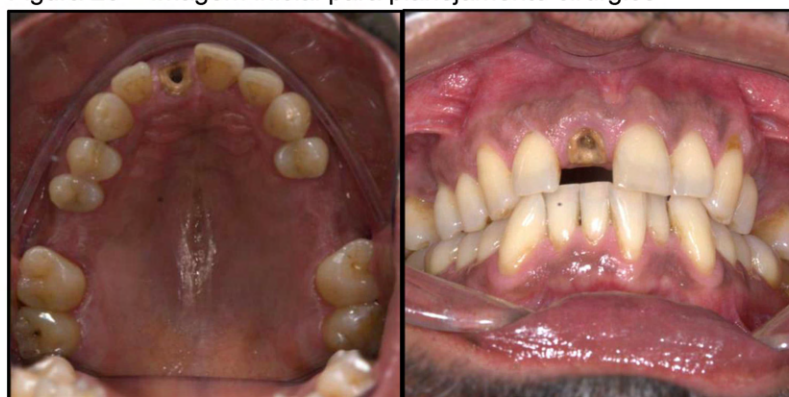
Fonte: adaptado de LERNER, 2020, p.2–18.

A seguir é apresentado resumidamente o fluxo digital utilizado para a realização de uma cirurgia guiada para instalação de implantes dentários e prótese imediata.

Primeira etapa: Aquisição das informações

Obtenção das informações do paciente para planejamento com fluxo digital. Foram realizados: exame clínico, anamnese do paciente, registro de imagens (Figura 28), exame TCFC e escaneamento intraoral.

Figura 28 – Imagem inicial para planejamento cirúrgico



Fonte: Do autor, 2021.

Segunda Etapa: Planejamento virtual

Manipulação dos arquivos DICOM e STL em um software específico para planejamento de cirurgia guiada de implantes dentários chamado Implastation (Figura 29).

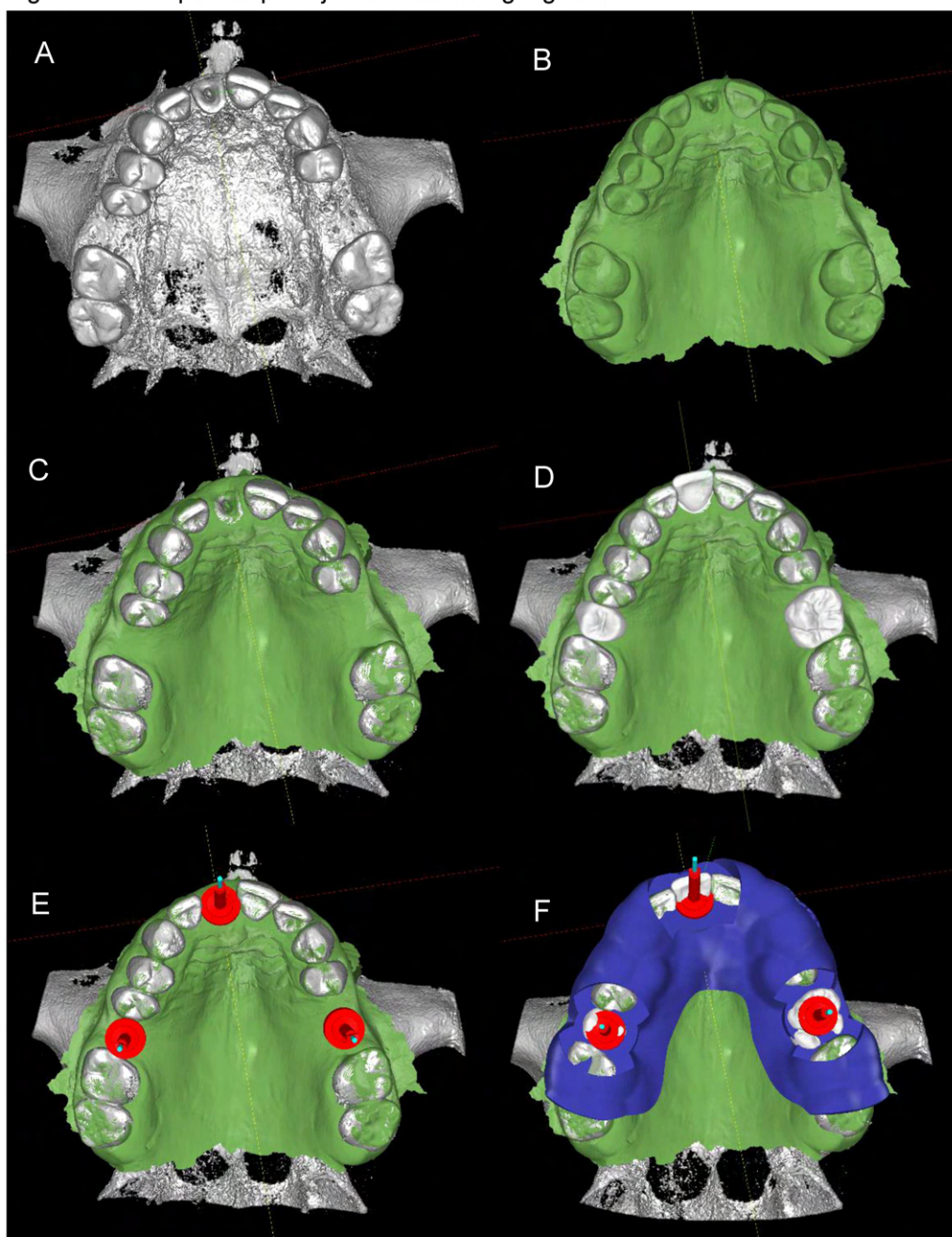
Figura 29 – Interface do software de planejamento cirúrgico para implantodontia - Implastation



Fonte: Do autor, 2021.

- Abertura do arquivo DICOM e limpeza da imagem (Figura 30A);
- Abertura do arquivo STL (Figura 30B);
- Fusão/registo dos arquivos DICOM e STL (Figura 30C);
- Criação da metaprotética dos dentes 11, 16 e 26 (Figura 30D);
- Posicionamento tridimensional dos implantes dentários (Figura 30E);
- Criação do guia cirúrgico (Figura 30F).

Figura 30 – Etapas do planejamento de cirurgia guiada



Fonte: Do autor, 2021.

Terceira etapa: Fase de manufatura do guia cirúrgico

Durante esta fase, o guia é materializado por meio de um processo de impressão 3D e, em seguida, submetido a uma etapa de limpeza e pós-cura (Figura 31).

Figura 31 – Impressão 3D e pós-cura do guia cirúrgico

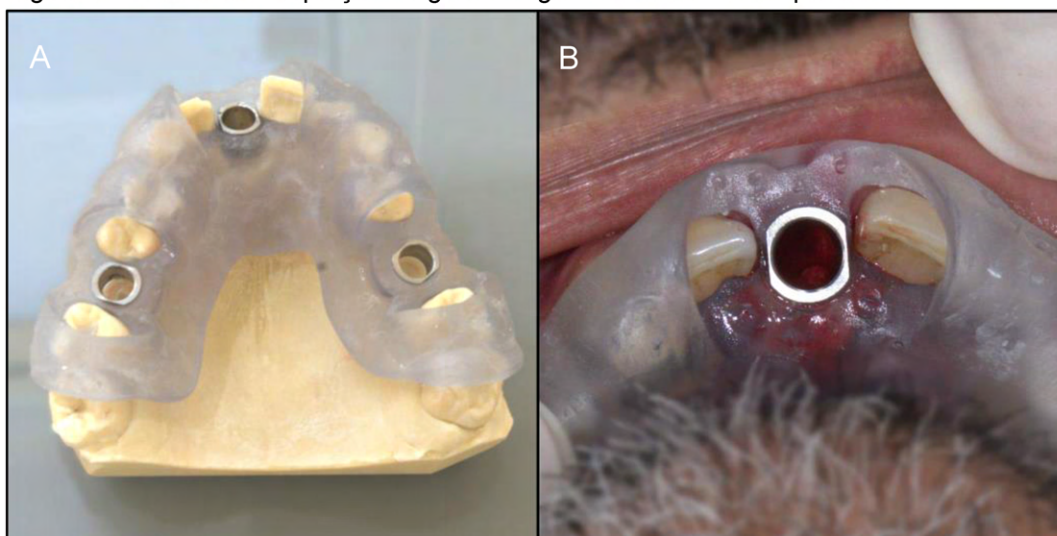


Fonte: Do autor, 2021.

Quarta etapa: Verificação do guia cirúrgico.

Antes da intervenção cirúrgica, o guia passa por testes para assegurar sua perfeita adaptação na cavidade bucal. É crucial evitar qualquer desajuste, uma vez que poderia resultar em alterações na angulação previamente planejada para os implantes dentários (Figura 32).

Figura 32 – Teste de adaptação do guia cirúrgico em modelo e no paciente

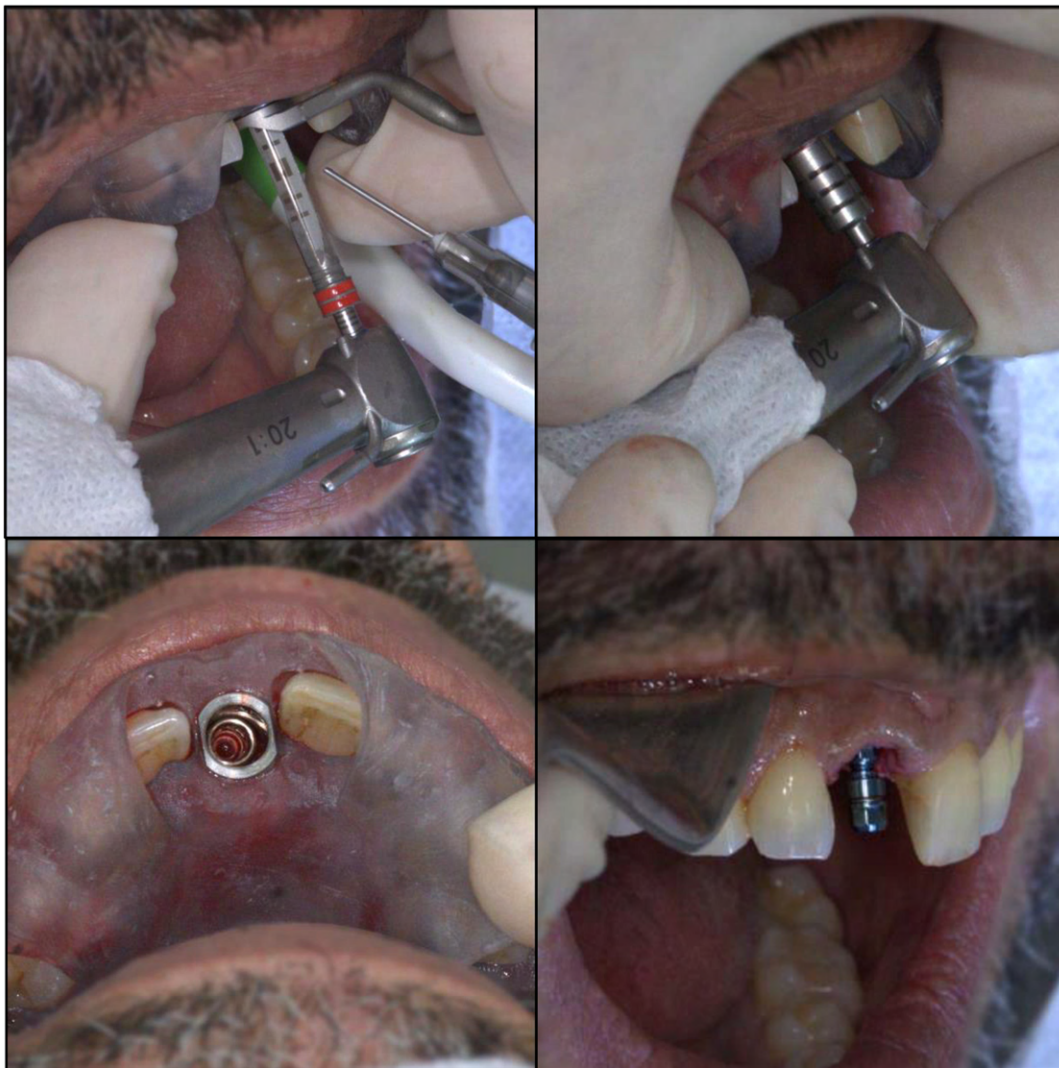


Fonte: Do autor, 2021.

Quinta etapa: Procedimento cirúrgico.

Execução do procedimento cirúrgico, seguindo o protocolo de cirurgia guiada estabelecido pelo sistema de implante utilizado (Figura 33).

Figura 33 – Etapas cirúrgicas de um sistema de cirurgia guiada

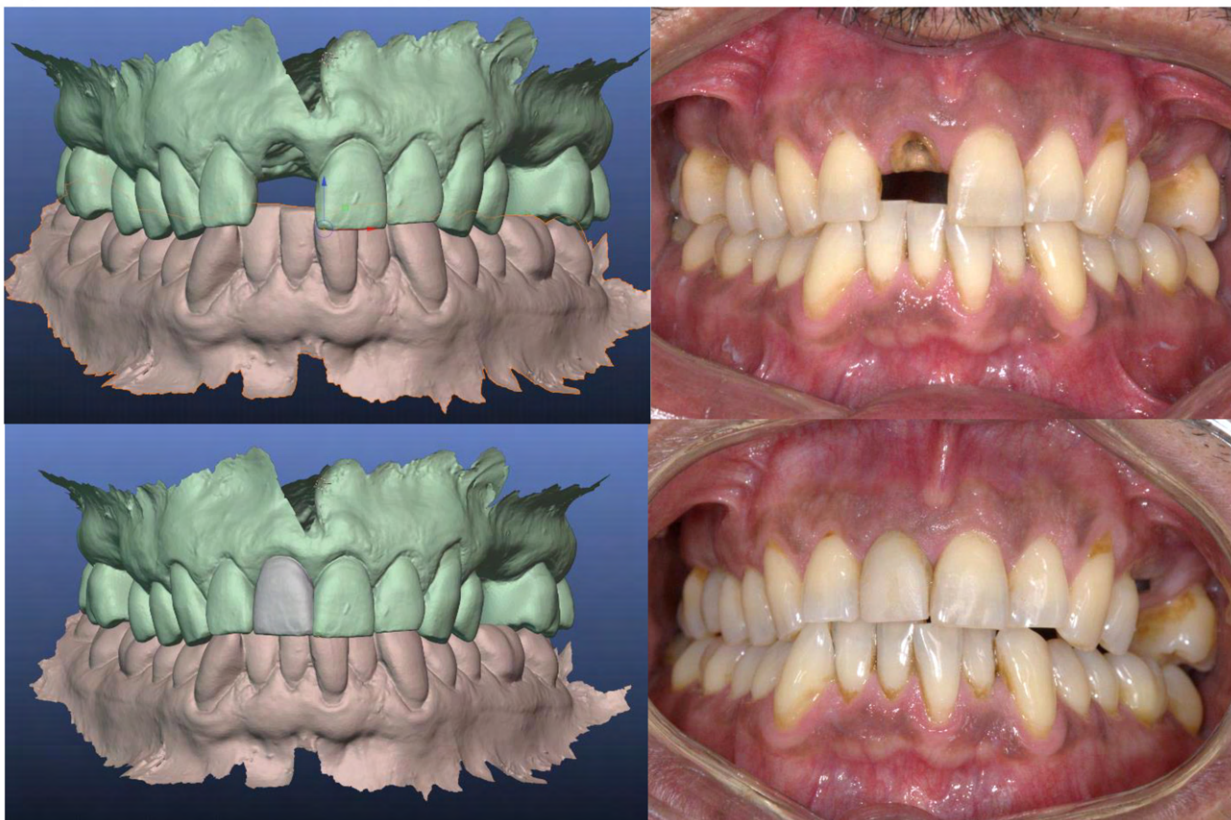


Fonte: Do autor, 2021.

Sexta etapa: Prótese provisória imediata com fluxo digital

Após o procedimento cirúrgico, foi realizado a fixação da prótese provisória que havia sido confeccionada previamente pelo método de fluxo digital (Modelagem 3D e Impressão 3D) (Figura 34).

Figura 34 – Planejamento e Confeção de Prótese Imediata por fluxo digital



Fonte: Do autor, 2021.

Considerações

A implementação do fluxo digital na área de implantodontia representa uma alternativa viável, oferecendo diversas vantagens tanto no aspecto cirúrgico quanto no protético. Entre os benefícios notáveis, destacam-se o planejamento tridimensional, a elevada precisão, a redução do tempo cirúrgico, a minimização da invasividade, o aumento do conforto pós-operatório, a recuperação mais ágil e uma comunicação aprimorada entre profissional e paciente. No entanto, é importante ressaltar que a cirurgia guiada apresenta desvantagens, incluindo custos mais elevados em comparação com a cirurgia convencional, dependência de tecnologia, maior complexidade, exigência de capacitação profissional e limitações na aplicabilidade em alguns casos.

4.2 Caso 2 – Fluxo digital para fresagem guiada para inserção de mini-implante ortodôntico

Objetivo: Planejar, modelar e imprimir guia cirúrgico de fresagem para inserção de mini-implante para ancoragem ortodôntica.

Referencial teórico: A ancoragem ortodôntica é crucial para o sucesso do tratamento ortodôntico. Diversos dispositivos são empregados como ancoragem, incluindo bandas, mini-placas, placas palatinas e mini-implantes. Destes, os mini-implantes se destacam devido à sua notável estabilidade, ampla variedade de opções de inserção, procedimento de colocação e remoção simplificado, mínimo dano tecidual, capacidade de suportar carga imediata, alta taxa de sucesso e custo relativamente acessível (TRUONG *et al.*, 2022).

No entanto, a colocação de mini-implantes está suscetível a complicações durante e após a inserção, bem como durante a aplicação de carga e no processo de remoção. As complicações mais comuns associadas aos mini-implantes durante a inserção incluem o contato com a raiz dentária de dentes adjacentes, perfuração do seio maxilar, perfuração do soalho da cavidade nasal, danos ao osso cortical e fratura do mini-implante (TRUONG *et al.*, 2022).

A incorporação do fluxo digital no planejamento, associada ao uso de um guia cirúrgico para a colocação de mini-implantes, oferece uma ampliação da precisão e previsibilidade no âmbito da ancoragem. Essa abordagem contribui para a redução significativa das chances de complicações durante a inserção (GUARNIERI *et al.*, 2023).

A seguir é apresentado resumidamente o fluxo digital utilizado para a realização de uma cirurgia guiada para instalação de mini-implantes para ancoragem ortodôntica.

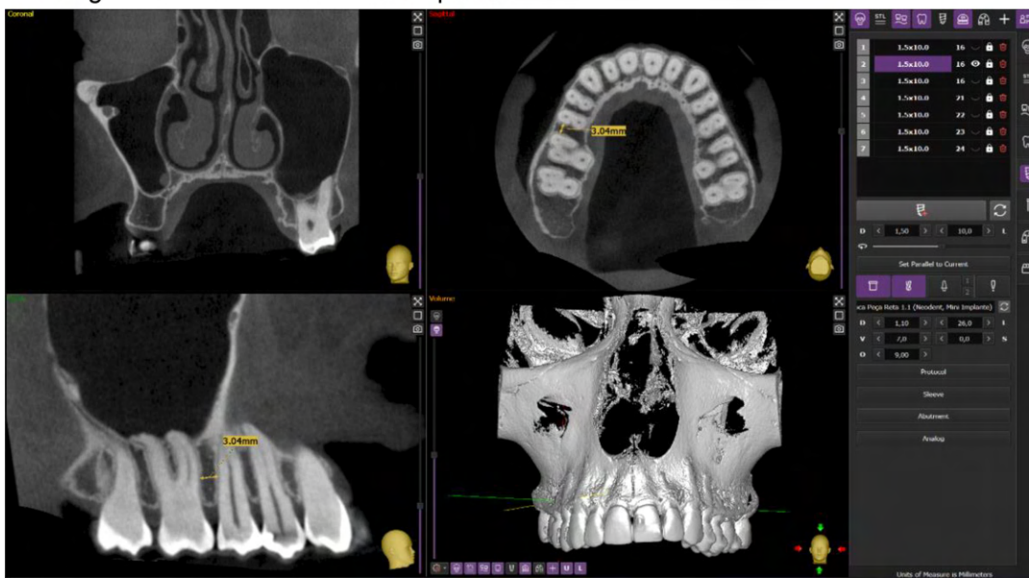
Primeira etapa: Aquisição das informações

Obtenção das informações do paciente para planejamento com fluxo digital. Foram realizados: exame clínico, anamnese do paciente, registro de imagens, exame TCFC e escaneamento intraoral.

Segunda etapa: Planejamento virtual e design do guia cirúrgico

Os dados tomográficos (DICOM) e de escaneamento intraoral (STL) do paciente foram manipulados no software ImplaStation, específico para planejamento de cirurgia guiada de implantes dentários (Figura 35).

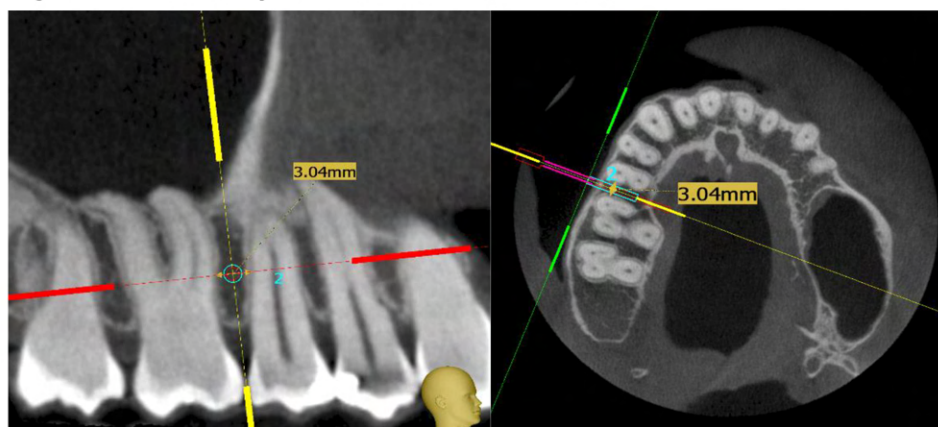
Figura 35 – Interface do software de planejamento cirúrgico ImplaStation aplicado para ancoragem ortodôntica com mini-implante



Fonte: Do autor, 2022.

Neste estudo, foram consideradas as diretrizes preconizadas na literatura para ancoragem de mini-implantes (Figura 36), ou seja, mini-implantes com um diâmetro médio de 1,5 mm e uma distância inter-radicular mínima de 3 mm (GUARNIERI *et al.*, 2023).

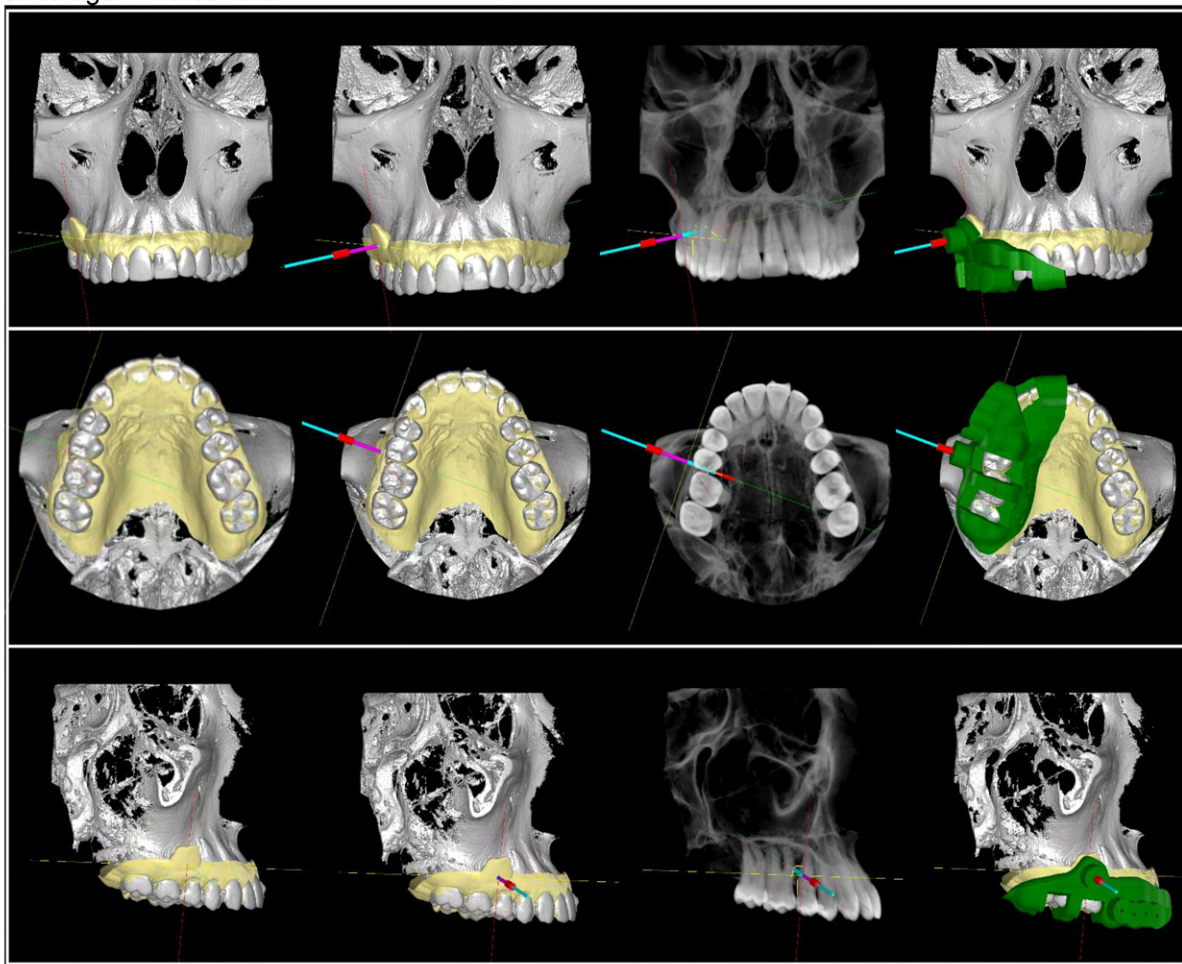
Figura 36 – Mensuração da distância inter-radicular



Fonte: Do autor, 2022.

Na Figura 37 é possível verificar na reconstrução multiplanos (axial, coronal e sagital) os arquivos DICOM e STL com fusão realizada, posição da fresagem para instalação do mini-implante e criação do guia cirúrgico.

Figura 37 – Planejamento e criação de guia cirúrgico para instalação de mini-implante para ancoragem ortodôntica



Fonte: Do autor, 2022.

Terceira etapa: Fase de manufatura do guia cirúrgico

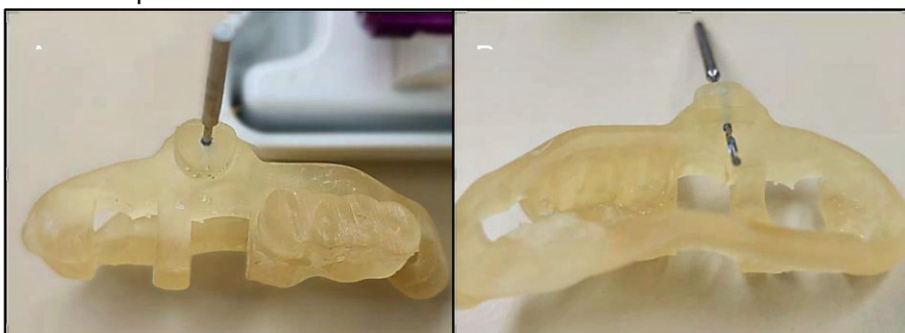
Durante esta fase, o guia é materializado por meio de um processo de impressão 3D e, em seguida, submetido a uma etapa de limpeza e pós-cura. (Figura 38 e Figura 39).

Figura 38 – Manufatura do guia através de Impressão 3D e pós-cura



Fonte: Do autor, 2022.

Figura 39 – Guia cirúrgico confeccionado em impressão 3D para instalação de mini-implante

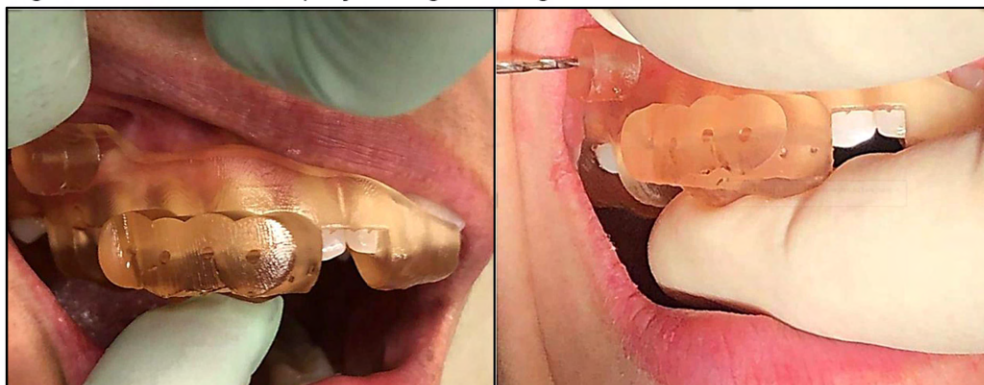


Fonte: Do autor, 2022.

Quarta etapa: Verificação do guia cirúrgico

Antes da intervenção cirúrgica, o guia passa por testes para assegurar sua perfeita adaptação na cavidade bucal. É crucial evitar qualquer desajuste, uma vez que poderia resultar em alterações na angulação previamente planejada para os implantes dentários (Figura 40).

Figura 40 – Teste de adaptação do guia cirúrgico

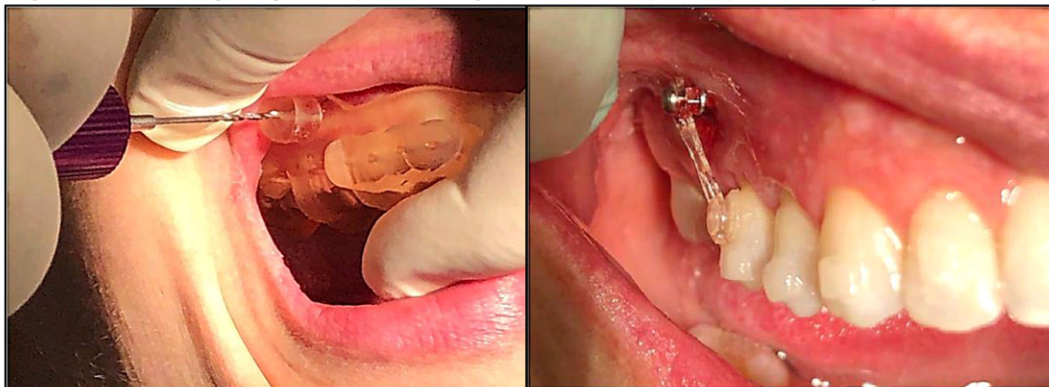


Fonte: Do autor, 2022.

Quinta etapa: Procedimento cirúrgico

Execução do procedimento cirúrgico de inserção do mini-implante. Foi utilizado o protocolo de inserção de mini-implantes com adaptação da etapa de fresagem, onde se utilizou um guia cirúrgico de orientação da fresa (Figura 41). O mini-implante foi inserido a mão livre.

Figura 41 – Fresagem guiada para inserção de mini-implante para ancoragem ortodôntica



Fonte: Do autor, 2022.

Considerações

A integração do fluxo digital na ortodontia proporciona uma abordagem mais controlada e precisa, reduzindo os riscos tanto para o profissional quanto para o paciente. Essa implementação contribui significativamente para o sucesso do tratamento.

4.3 Caso 3 – Fluxo digital para biópsia guiada

Objetivo: Planejar, modelar e imprimir um guia para realização de uma biópsia em mandíbula com uso de trefina.

Referencial teórico: As cirurgias de biópsia desempenham um papel essencial no diagnóstico de diversas patologias orais. No entanto, é comum que essas patologias estejam em proximidade com estruturas anatômicas importantes (MELROSE *et al.*, 2007). Na literatura, há uma escassez de estudos abordando a cirurgia de biópsia com o uso de guia cirúrgico. O princípio subjacente ao emprego do guia cirúrgico na biópsia é semelhante ao utilizado em outras aplicações já relatadas acima. Mas reforçando, um dos objetivos principais é prevenir danos a estruturas anatômicas importantes, como inervações e raízes dentárias (POSTL *et al.*, 2022).

O protocolo de fluxo digital para o planejamento de uma biópsia guiada não é muito diferente de um planejamento para uma cirurgia guiada de implante dentário (Figura 42). Alguns estudos relataram a utilização de software específico para planejamento de cirurgia guiada para implantes dentários (LOTZ *et al.*, 2021; VALDEC *et al.*, 2019).

Figura 42 – Desenho e materialização de um guia cirúrgico para biópsia com uso de trefina



Fonte: POSTL, 2022, p.4.

A seguir é apresentado resumidamente o fluxo digital utilizado para a criação de um guia para realização de cirurgia de biópsia de tecido óssea.

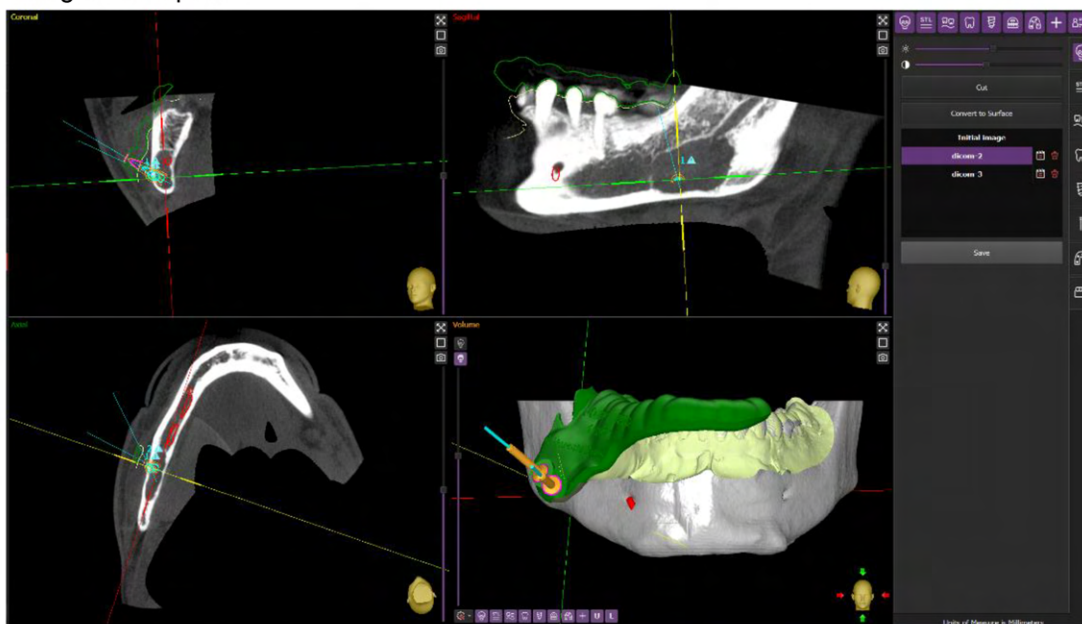
Primeira etapa: Aquisição das informações

Obtenção das informações do paciente para planejamento com fluxo digital. Foram realizados: exame clínico, anamnese do paciente, registro de imagens, exame TCFC e escaneamento intraoral.

Segunda etapa: Planejamento virtual e design do guia cirúrgico para biópsia

Os dados tomográficos (DICOM) e de escaneamento intraoral (STL) do paciente foram manipulados no software Implastation, específico para planejamento de cirurgia guiada de implantes dentários, mas adaptado para fresagem com uma broca de trefina (Figura 43).

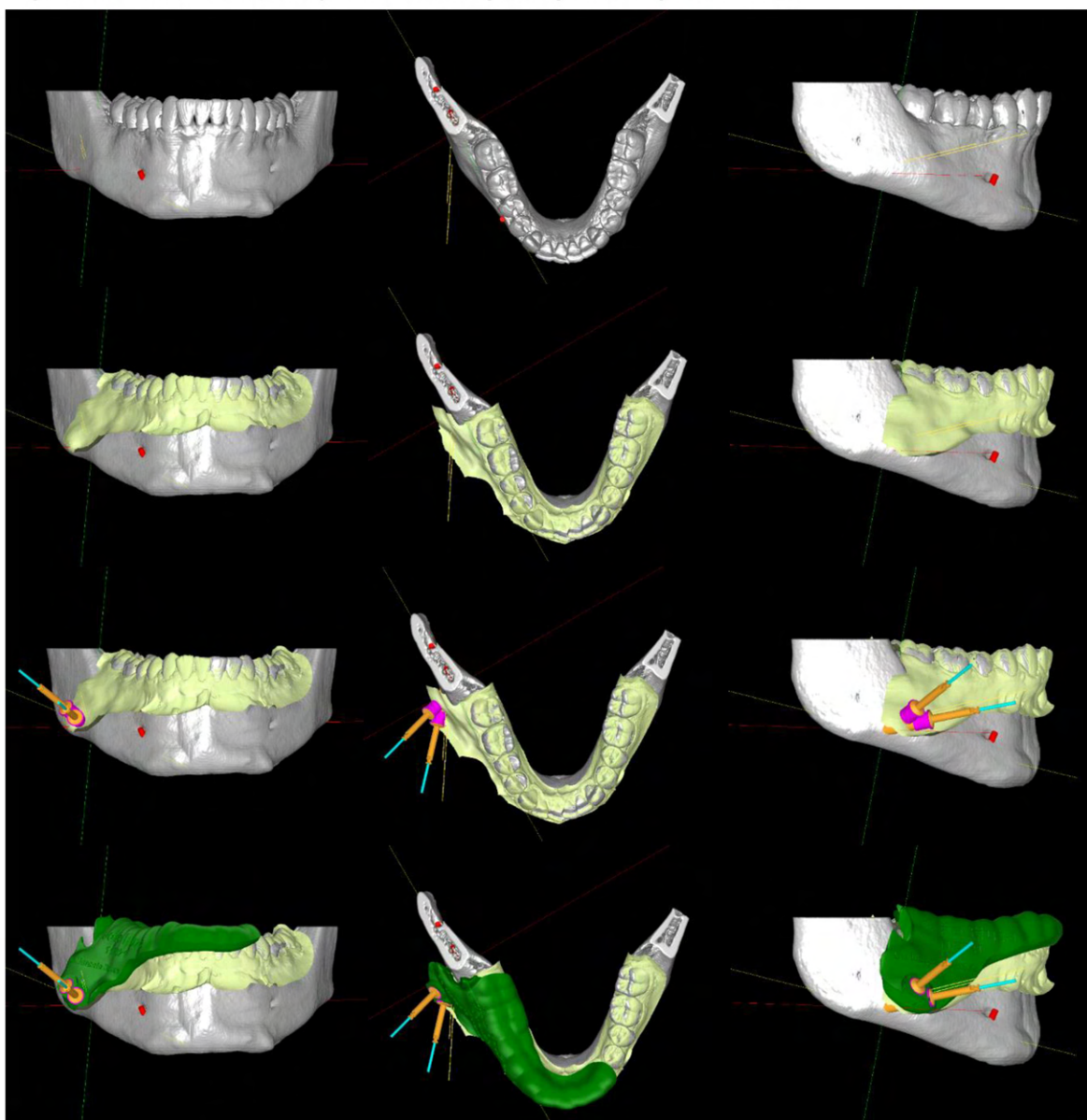
Figura 43 – Interface do software de planejamento cirúrgico Implastation aplicado para cirurgia de biópsia



Fonte: Do autor, 2022.

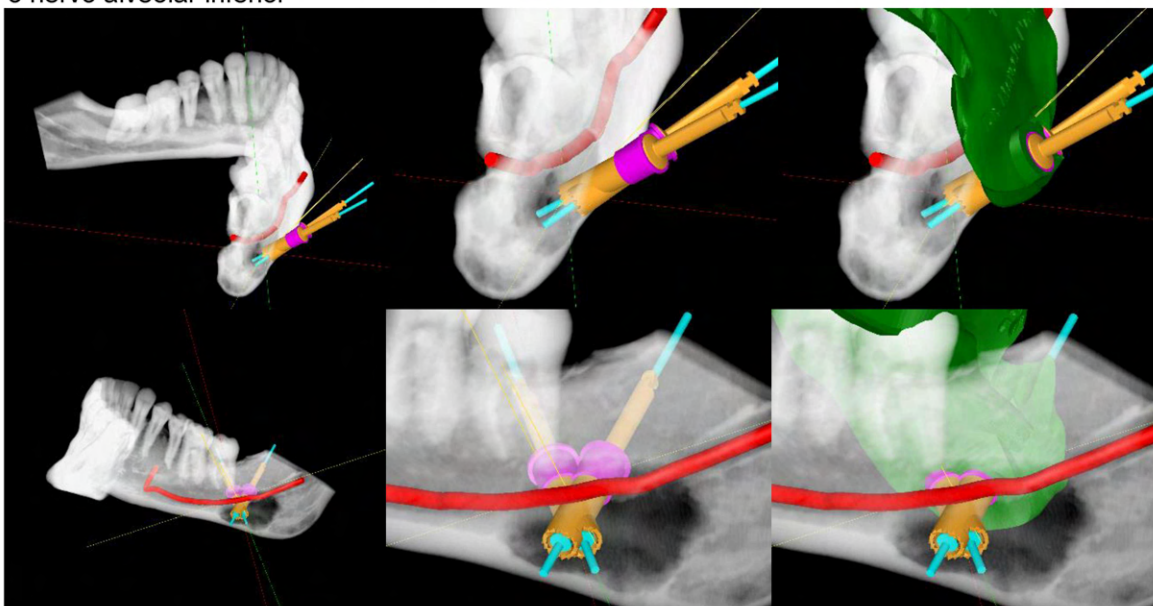
As fases de fusão, fresagem e elaboração do guia cirúrgico não se distinguem de outros métodos de planejamento para cirurgia guiada (Figura 44). A alteração reside no propósito específico do guia cirúrgico, que, neste caso, visa a perfuração controlada de uma área específica na mandíbula, evitando dano ao nervo alveolar inferior (Figura 45).

Figura 44 – Etapas de planejamento e design do guia cirúrgico de biópsia



Fonte: Do autor, 2022.

Figura 45 – Planejamento do posicionamento de trefinagem da lesão intraóssea a fim de se evitar o nervo alveolar inferior

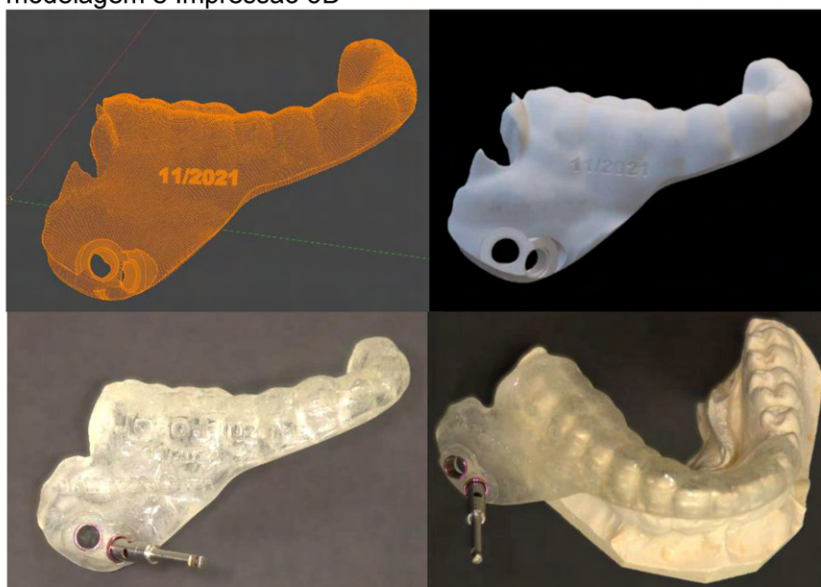


Fonte: Do autor, 2022.

Terceira etapa: Fase de manufatura do guia cirúrgico

Durante esta fase, o guia é materializado por meio de um processo de impressão 3D e, em seguida, submetido a uma etapa de limpeza e pós-cura. (Figura 46). Após a confecção, o guia é testado para verificar a adaptação nos dentes de suporte.

Figura 46 – Criação do guia cirúrgico para biópsia através de modelagem e Impressão 3D



Fonte: Do autor, 2022.

Considerações

Este procedimento ainda não foi realizado. Contudo, pesquisas de Postl indicam que guias cirúrgicos para biópsia criados por meio de fluxo digital, utilizando impressão 3D, apresentam maior precisão quando comparados às biópsias realizadas pelo método convencional (mão livre) (POSTL et al., 2021; POSTL et al., 2022).

4.4 Caso 4 – Fluxo digital para avanço de maxila

Objetivo: Planejamento, Simulação virtual e prototipagem de face para cirurgia de avanço de maxila em paciente com retrognatismo.

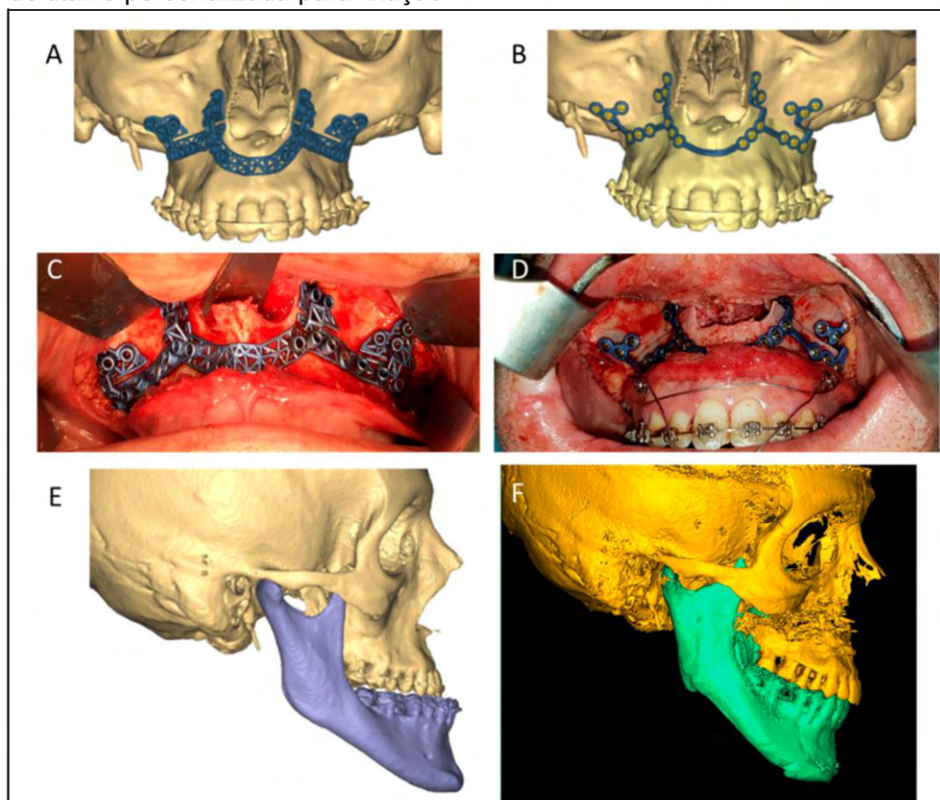
Referencial teórico: A cirurgia ortognática desempenha um papel crucial no tratamento de malformações no complexo maxilo-mandibular que impactam oclusão, estética facial e vias aéreas (POSNICK, 2021).

O método convencional de planejamento em cirurgias ortognáticas envolve a manipulação de modelos de gesso montados em articuladores semi-ajustáveis para reproduzir a relação maxilo-mandibular. No entanto, o extenso processo manual pode resultar em acumulação de distorções. Atualmente, avanços na tecnologia de fluxo digital oferecem a capacidade de simular movimentos em 3D, realizar planejamentos cirúrgicos em ambientes virtuais e criar protótipos 3D de guias e estruturas maxilo-mandibulares do paciente. Esses recursos digitais apresentam benefícios substanciais em termos de precisão, eficiência e resultados clínicos (ZAMMIT *et al.*, 2023).

Estudos demonstraram alta precisão nos resultados cirúrgicos em procedimentos que utilizaram planejamento virtual 3D (BENGTSSON *et al.*, 2017; SHAHEEN *et al.*, 2019).

Além das vantagens proporcionadas pelo planejamento virtual em cirurgias ortognáticas, o uso da impressão 3D oferece inúmeras vantagens, abrangendo desde a prototipagem de estruturas ósseas até a criação de guias cirúrgicos para osteotomia e placas personalizadas em titânio (Figura 47) (ZOABI *et al.*, 2022).

Figura 47 – Fluxo digital utilizado para confecção de guia de osteotomia e placa de titânio personalizada para fixação



Fonte: ZOABI, 2022, p.11.

A seguir é apresentado resumidamente o fluxo digital utilizado para um planejamento de avanço de maxila. O fluxo digital foi utilizado com objetivo de simular virtualmente a cirurgia do paciente, criar modelos impressos das estruturas ósseas do paciente, facilitar a comunicação e planejamento entre os profissionais membros da equipe CTBMF, reduzindo assim riscos associados à cirurgia e o tempo cirúrgico.

Primeira etapa: Aquisição das informações

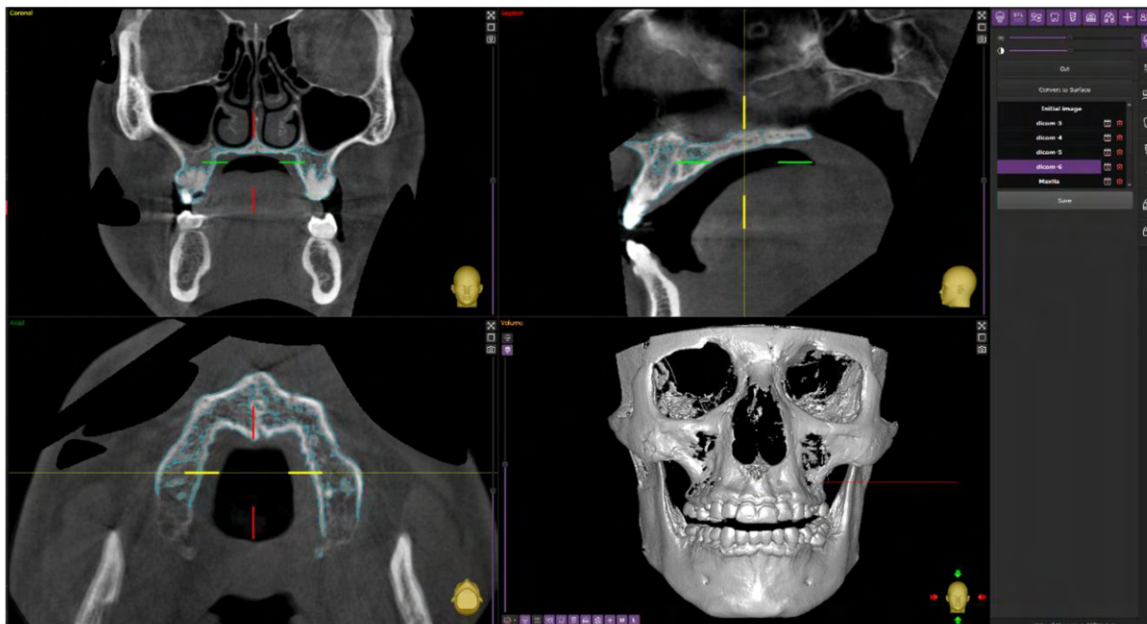
Obtenção das informações do paciente para planejamento com fluxo digital. Foram realizados: exame clínico, anamnese do paciente, registro de imagens, exame TCFC e escaneamento de bancada do articulador semi-ajustável.

Segunda etapa: Planejamento virtual e design do guia cirúrgico

Os dados tomográficos (DICOM) e de escaneamentos de bancada (STL) do paciente foram manipulados no software ImplStation, específico para planejamento

de cirurgia guiada de implantes dentários, mas aplicado para planejamento de avanço de maxila (Figura 48).

Figura 48 – Interface de software utilizado para planejamento de cirurgia de avanço de maxila



Fonte: Do autor, 2023.

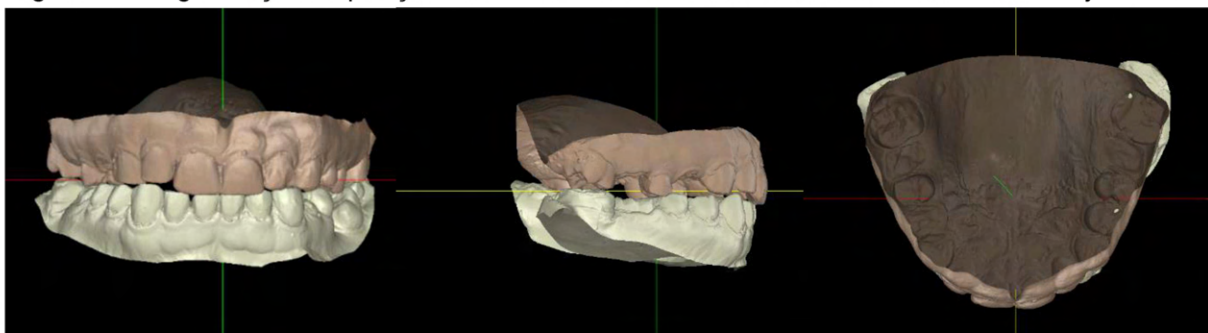
Os arquivos digitais (STL) das relações maxilo-mandibulares pré-cirurgia (Figura 49) e do avanço maxilar planejado em articulador semi-ajustável (Figura 50) foram obtidos através de escaneamento de bancada.

Figura 49 – Digitalização da relação maxilo-mandibular pré-cirurgia do paciente



Fonte: Do autor, 2023.

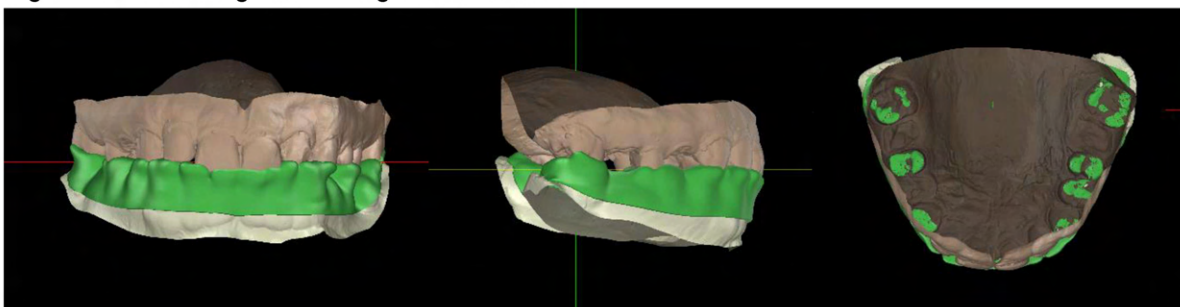
Figura 50 – Digitalização da posição maxilo-mandibular estabelecida em articulador semi-ajustável



Fonte: Do autor, 2023.

Foi modelado no software um guia intermediário a fim de orientar, após a osteotomia, a relação maxilo mandibular pré-estabelecida (Figura 51).

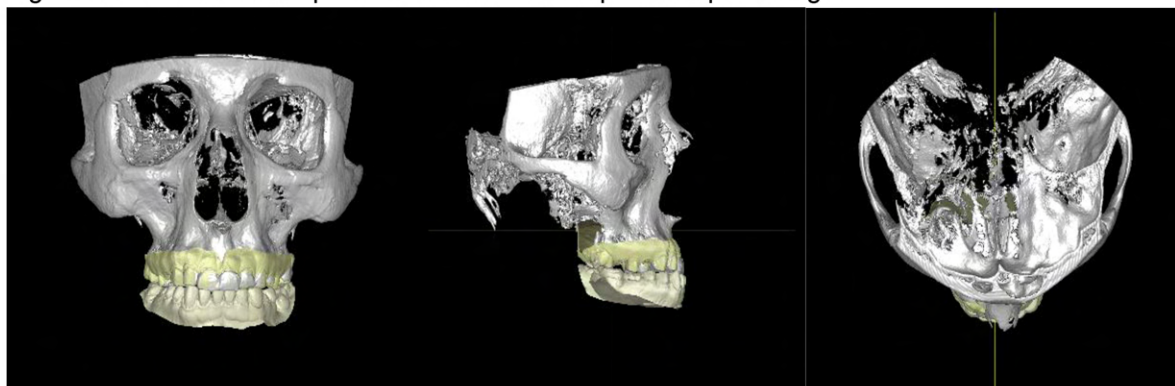
Figura 51 – Modelagem de um guia intermediário



Fonte: Do autor, 2023.

Após a importação dos arquivos STL e a modelagem do guia intermediário, procedeu-se à fusão do arquivo STL com o arquivo DICOM, que representa a estrutura óssea do paciente antes da cirurgia (Figura 52).

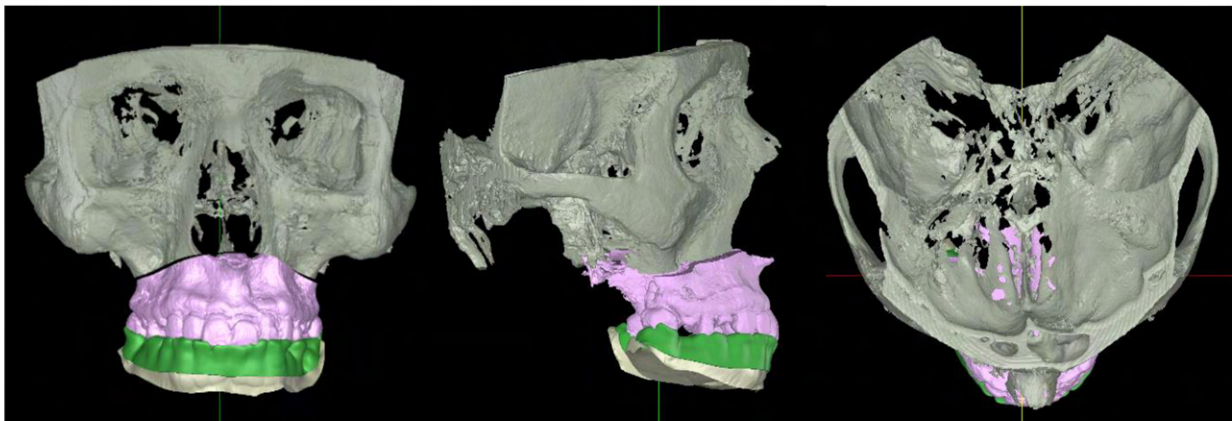
Figura 52 – Fusão dos arquivos DICOM e STL do paciente pré-cirurgia



Fonte: Do autor, 2023.

Com o guia intermediário devidamente posicionado, foram virtualmente delineados o reposicionamento da maxila e as osteotomias necessárias (Figura 53).

Figura 53 – Osteotomia virtual e reposicionamento da maxila levando-se em consideração o guia intermediário

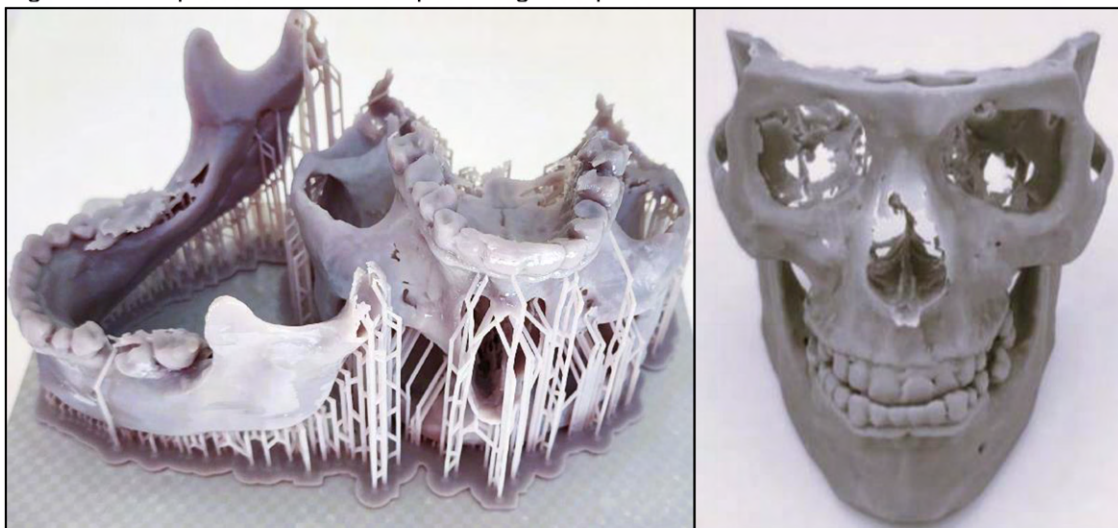


Fonte: Do autor, 2023.

Terceira etapa: Fase de manufatura da estrutura óssea do paciente para estudo

Durante esta fase, foi materializado a mandíbula e maxila do paciente por meio de um processo de impressão 3D e, em seguida, submetido a uma etapa de limpeza e pós-cura (Figura 54). A impressão 3D foi realizada para simulação do procedimento cirúrgico. A simulação cirúrgica 3D é de suma importância a fim de facilitar a comunicação entre os profissionais e de tornar a cirurgia mais precisa e eficiente.

Figura 54 – Impressão 3D da face pré-cirurgia do paciente



Fonte: Do autor, 2023.

Considerações

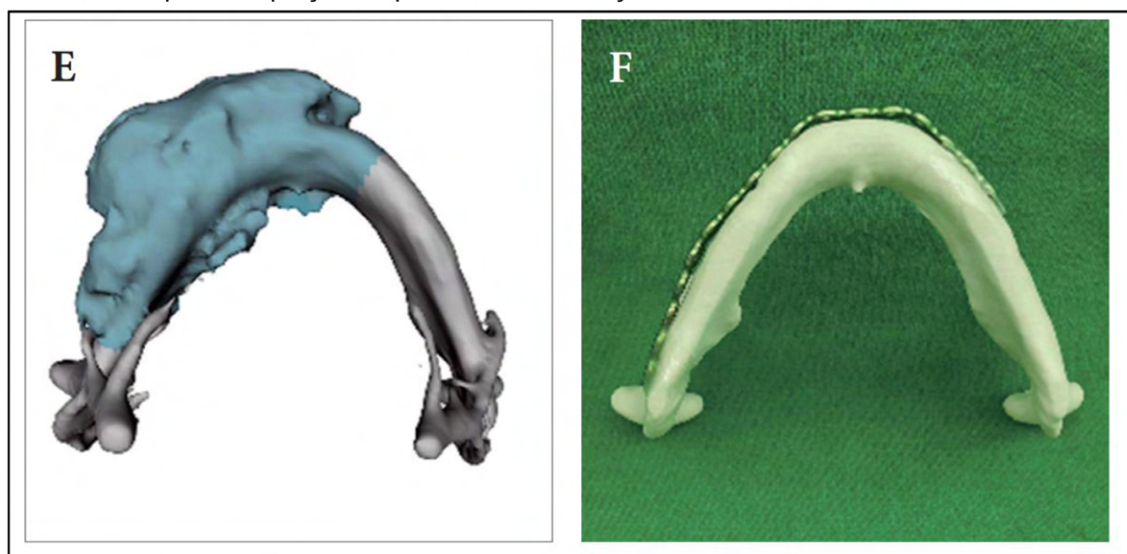
O fluxo digital na área da ortognática traz inúmeros benefícios, destacando aqui a previsibilidade, precisão, eficiência operatória, criação de guias personalizados e melhor comunicação entre profissionais e pacientes.

4.5 Caso 5 – Fluxo digital para ressecção mandibular e adaptação de placa de reconstrução.

Objetivo: Planejar cirurgia virtualmente, modelar e imprimir mandíbula para cirurgia de ressecção e reconstrução mandibular em um paciente com ameloblastoma.

Referencial teórico: Pesquisas indicam que procedimentos extensos de ressecção e reconstrução após a remoção de tumores apresentam desafios significativos, demandando uma cuidadosa e efetiva preparação prévia. Tradicionalmente, os cirurgiões utilizavam das experiências prévias para execução de procedimentos de osteotomia e de enxertia óssea (SHU *et al.*, 2014). Atualmente, existem diversas ferramentas digitais que podem contribuir no planejamento cirúrgico virtual e prototipagens para auxiliarem em aumento da previsibilidade e eficácia dos procedimentos (HAN; KIM; LEE, 2017; SMITHERS *et al.*, 2018).

Figura 55 – Reconstrução volumétrica de mandíbula com tumor e prototipagem da mandíbula reconstruída para adaptação de placa de reconstrução



Fonte: HAN, 2017, p.151.

A seguir é apresentado resumidamente o fluxo digital utilizado para a criação de prototipagens de mandíbula para planejamento e adaptação de placa de reconstrução no pré-cirúrgico.

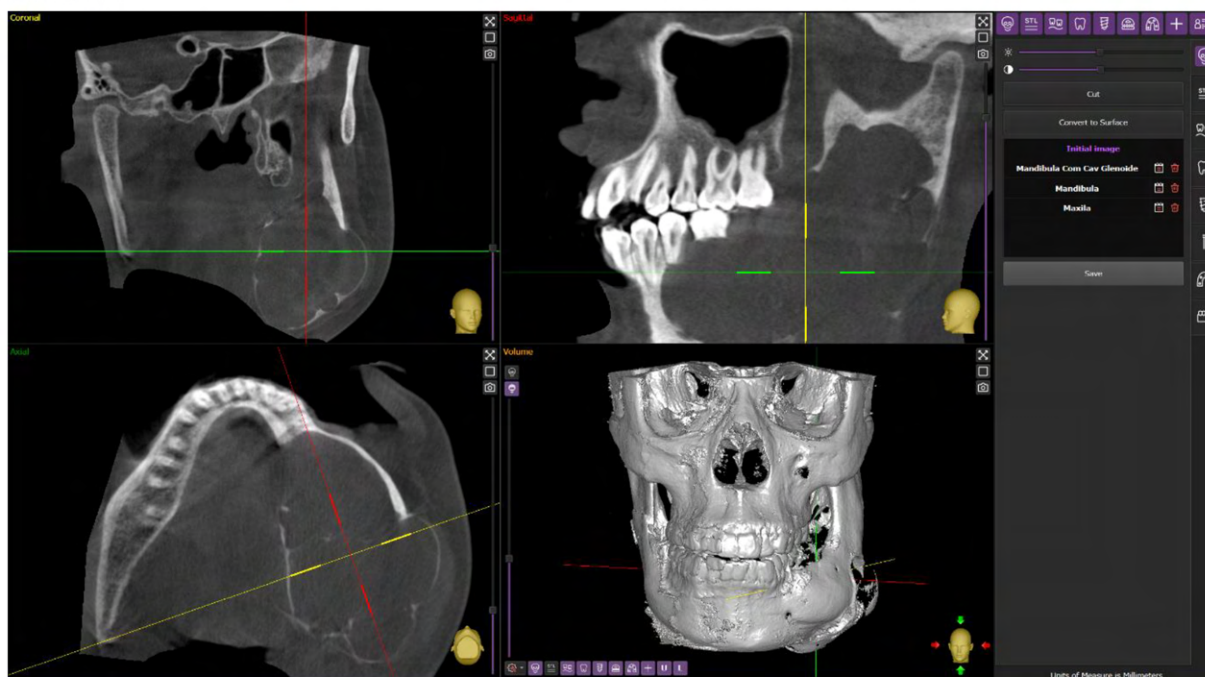
Primeira etapa: Aquisição das informações

Obtenção das informações do paciente para planejamento com fluxo digital. Foram realizados: exame clínico, anamnese do paciente, registro de imagens, exame TCFC.

Segunda etapa: Planejamento virtual e modelagem da mandíbula para reconstrução

Os dados tomográficos (DICOM) do paciente foram manipulados no software Implastation, específico para planejamento de cirurgia guiada de implantes dentários, mas adaptado para segmentação e modelagem mandibular (Figura 56).

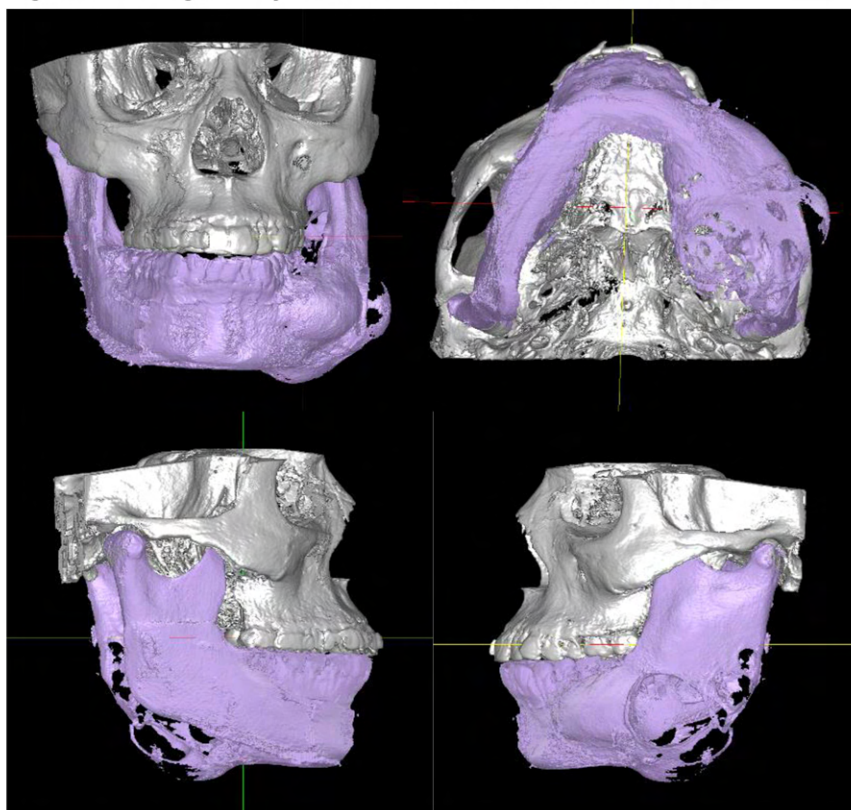
Figura 56 – Interface do software de planejamento cirúrgico Implastation aplicado para modelagem mandibular



Fonte: Do autor, 2022.

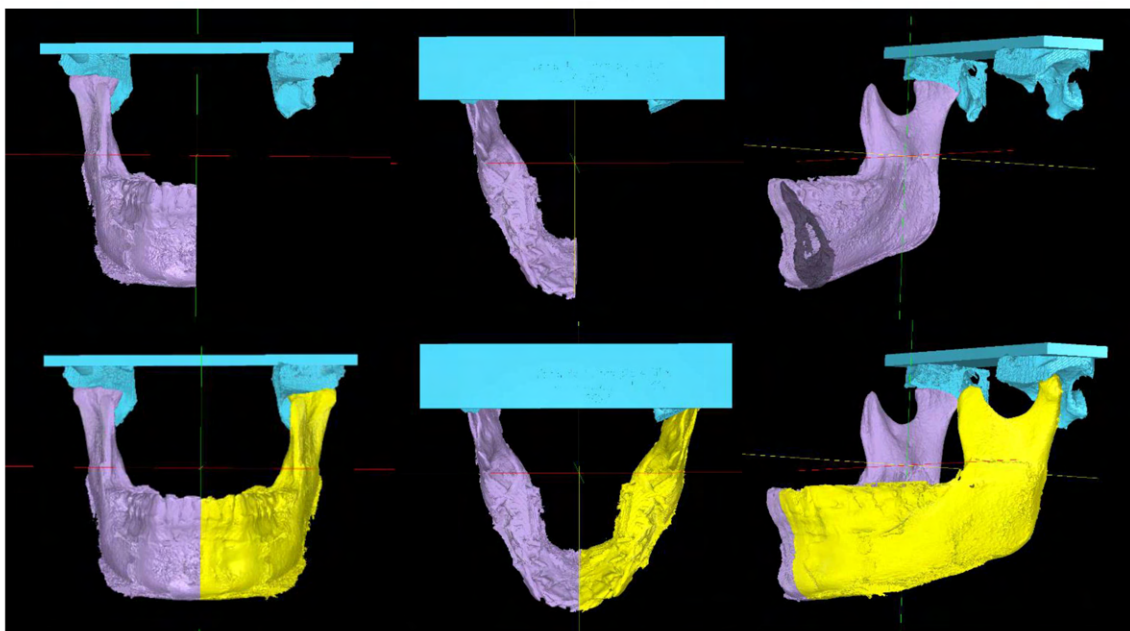
Nesta fase, procedeu-se à purificação da imagem DICOM da paciente e à segmentação da mandíbula com a lesão (Figura 57). A partir dessa segmentação, efetuou-se a ressecção virtual da área afetada, seguida pelo espelhamento da região não afetada da mandíbula, restabelecendo, assim, os contornos de uma mandíbula saudável. Para garantir uma reconstrução mais precisa do lado esquerdo da paciente, utilizaram-se a cavidade glenoide e os dentes anteriores como pontos de referência para a reconstrução mandibular (Figura 58 e Figura 59).

Figura 57 – Segmentação da mandíbula com lesão tumoral



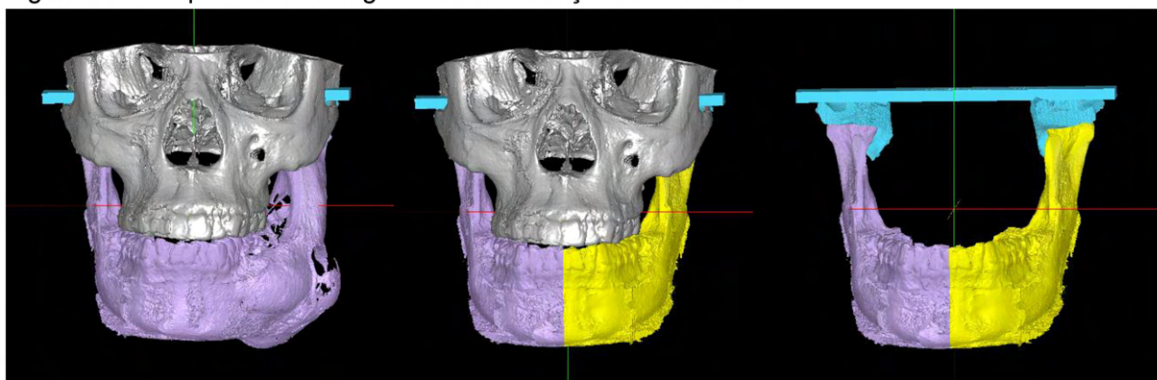
Fonte: Do autor, 2023.

Figura 58 – Modelagem e reconstrução mandibular para prototipagem



Fonte: Do autor, 2023.

Figura 59 – Etapas de modelagem de reconstrução da mandíbula

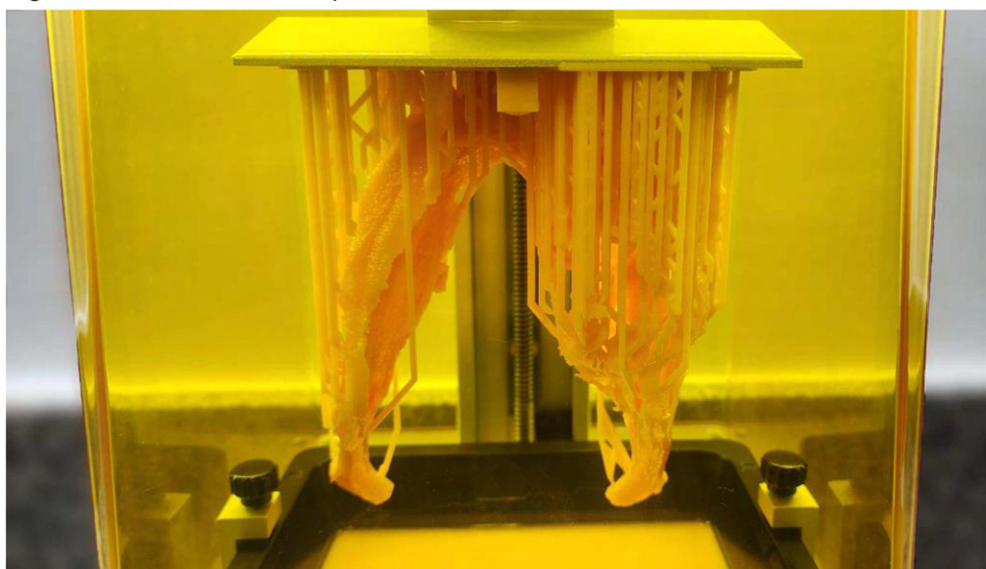


Fonte: Do autor, 2023.

Terceira etapa: Fase de manufatura das mandíbulas da paciente para estudo e adaptação da placa de reconstrução.

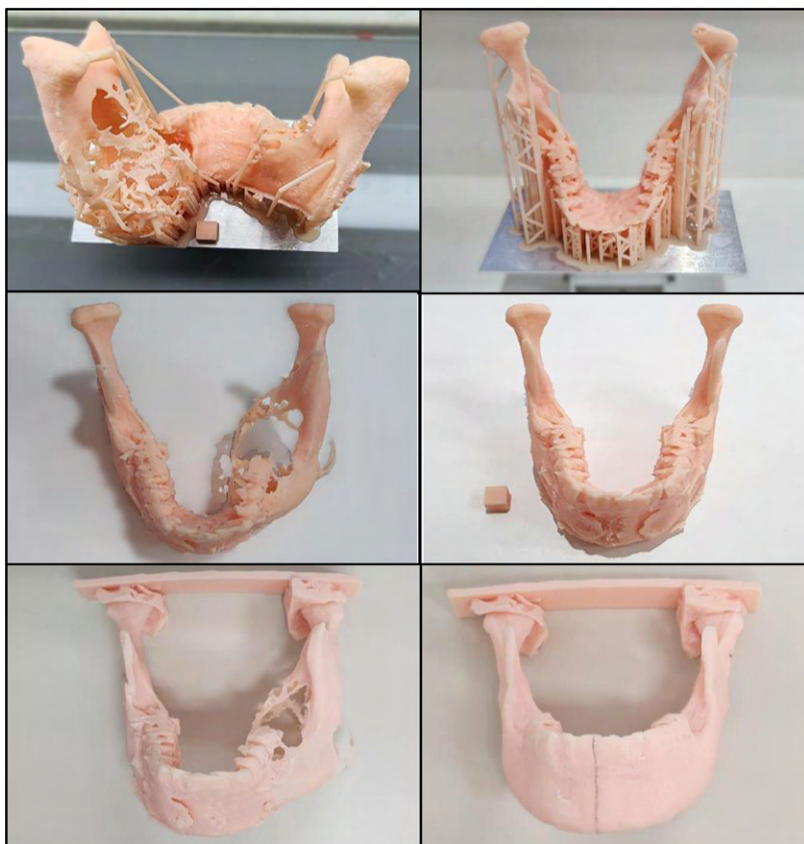
Nesse estágio, procedeu-se à materialização da mandíbula afetada pela lesão e à reprodução da mandíbula modelada sem lesão (Figura 60 e Figura 61). A mandíbula impressa com lesão desempenhou um papel crucial no planejamento cirúrgico para a ressecção mandibular. Já a mandíbula remodelada, sem a presença de lesões, foi impressa com o propósito de facilitar a conformação da placa de reconstrução 2.4, contribuindo para a redução do tempo durante o procedimento cirúrgico.

Figura 60 – Processo de impressão 3D em resina de modelo



Fonte: Do autor, 2023.

Figura 61 – Impressão 3D da mandíbula com lesão e da mandíbula modelada sem lesão



Fonte: Do autor, 2023.

Quarta etapa: Modelagem da placa de reconstrução no pré-cirúrgico.

Antes da intervenção cirúrgica, foi utilizada a prototipagem da mandíbula sem lesão para se realizar a adaptação da placa de reconstrução 2.4. Este tipo de placa devido à sua rigidez ocasiona desafios adicionais durante o transcirúrgico ao se realizar as dobras manualmente (mão livre) e sem referências anatômicas (Figura 62).

Figura 62 – Imagens da placa de reconstrução modelada antes da cirurgia

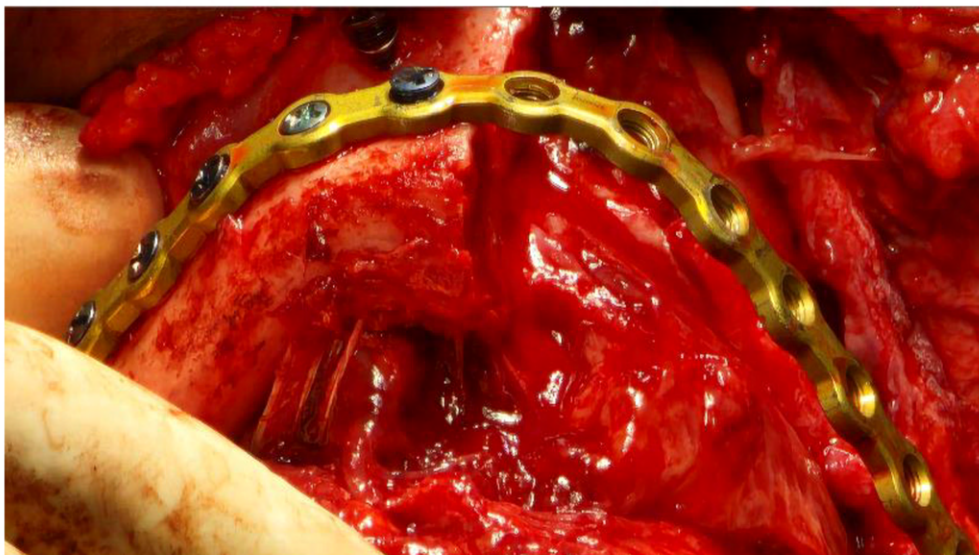


Fonte: Do autor, 2023.

Quinta etapa: Procedimento cirúrgico.

Execução do procedimento cirúrgico de ressecção de mandíbula e instalação de uma placa de reconstrução com enxerto costochondral (Figura 63).

Figura 63 – Transcirúrgico com fixação da placa modelada antes da cirurgia



Fonte: Do autor, 2023.

Considerações

A implementação do fluxo digital em procedimentos de grandes reconstruções oferece benefícios substanciais, desde a melhoria da precisão durante o transcirúrgico até a redução do tempo operatório. Todas essas vantagens estão intrinsecamente ligadas às possibilidades de simulações e planejamentos virtuais, bem como à utilização de modelos impressos em 3D no pré-operatório.

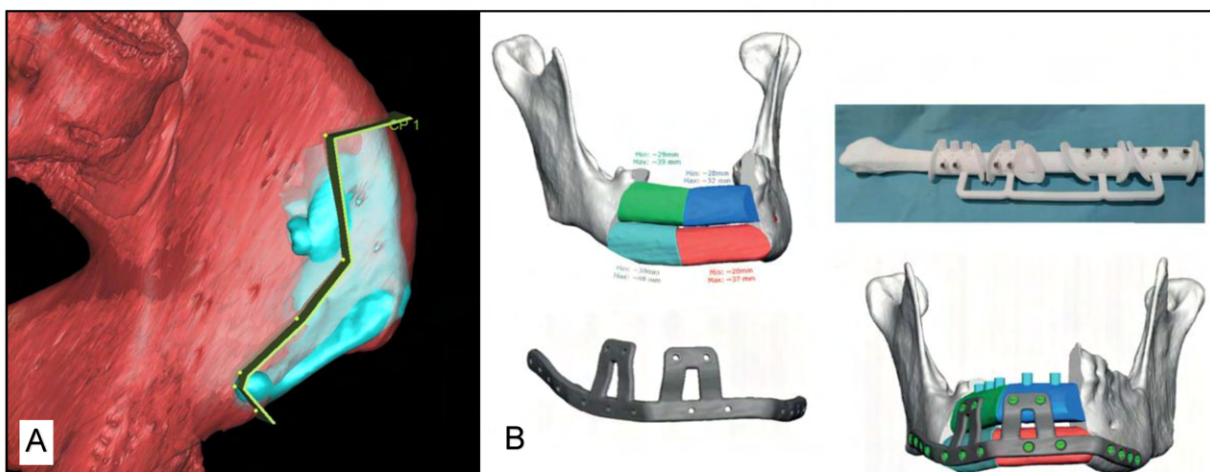
4.6 Caso 6 – Fluxo digital para reconstrução mandibular com enxerto de crista ilíaca

Objetivo: Planejamento cirúrgico virtual, criação de prototipagens e guias cirúrgicos para reconstrução mandibular com enxerto ósseo de crista ilíaca.

Referencial teórico: A utilização de planejamento cirúrgico virtual é capaz de contribuir de diversas maneiras, mas principalmente em aumento da previsibilidade e eficácia dos procedimentos cirúrgicos. Entretanto, poucos os estudos compararam a aplicação de planejamento de cirurgia virtual para cirurgias de reconstrução mandibular com enxerto de crista ilíaca e o método tradicional. A imprecisão na retirada do enxerto ósseo pode ocasionar diversas consequências como: falta ou excesso de enxerto removido da área doadora, necessidade de grandes ajustes para adaptação do enxerto ao leito receptor, aumento de morbidade pós-operatória, aumento do tempo cirúrgico (HAN; KIM; LEE, 2017; SMITHERS *et al.*, 2018).

Atualmente, pode-se aplicar técnicas com uso de guias cirúrgicos para remoção de enxertos ósseos de áreas doadoras extraorais com maior precisão (Figura 64) (ANTÚNEZ-CONDE *et al.*, 2021; SHU *et al.*, 2014; SMITHERS *et al.*, 2018).

Figura 64 – Planejamento virtual e guias cirúrgicos para remoção de enxertos extraorais



Legenda A: Planejamento de enxerto de crista ilíaca*

B: Planejamento de enxerto de fíbula**

Fonte: *adaptado de SHU *et al.*, 2014, p.3; **adaptado de ANTÚNEZ-CONDE *et al.*, 2021, p.7.

A seguir é apresentado resumidamente o fluxo digital utilizado para o planejamento cirúrgico virtual, criação de protótipos e guias cirúrgicos para reconstrução mandibular com enxerto de crista ilíaca em um paciente. Paciente apresenta uma falha de fixação de uma placa de reconstrução.

Primeira etapa: Aquisição das informações e nova metaprotética superior.

Foram realizados: exame clínico, anamnese do paciente, registro de imagens, exame TCFC de face e TC de pélvis, planejamento de nova metaprotética superior (Figura 65) e escaneamentos extraorais. A nova metaprotética superior servirá também como referência para o estabelecimento adequado da relação maxilo-mandibular do paciente.

Figura 65 – Diagnóstico e planejamento de reabilitação de nova prótese total

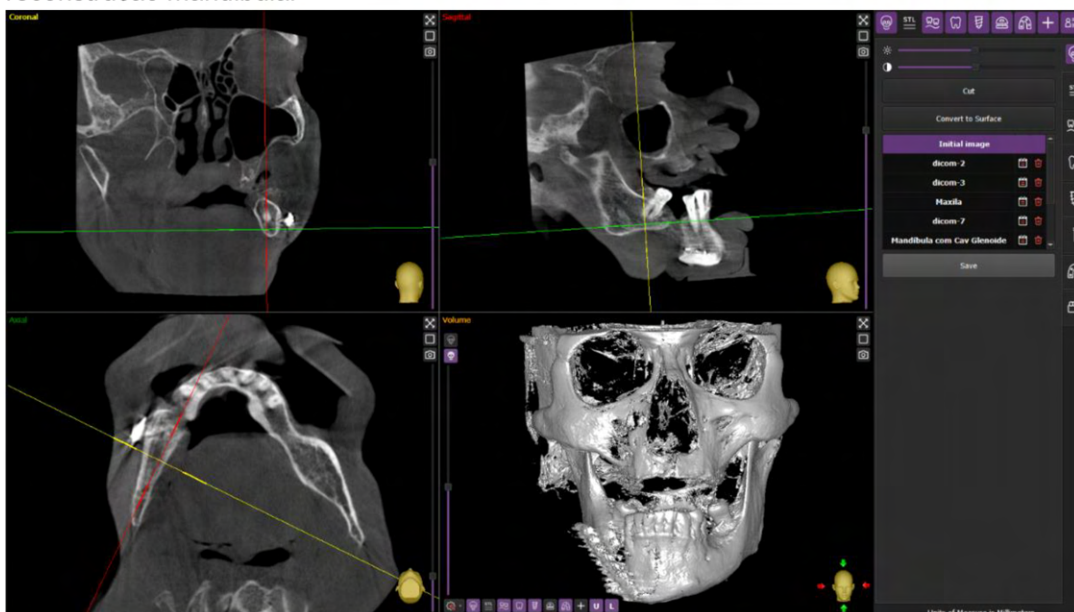


Fonte: Do autor, 2023.

Segunda etapa: Planejamento virtual e modelagem da mandíbula para reconstrução

Os dados tomográficos (DICOM) da face e da pélvis do paciente foram manipulados no software Implastation, específico para planejamento de cirurgia guiada de implantes dentários, mas utilizado para segmentação e modelagem mandibular (Figura 66) e de crista ilíaca (Figura 67).

Figura 66 – Interface do software de planejamento cirúrgico Implastation aplicado para reconstrução mandibular



Fonte: Do autor, 2023.

Figura 67 – Interface do software Implastation aplicado para modelagem e confecção de guia cirúrgico para remoção de enxerto de crista íliaca



Fonte: Do autor, 2023.

Nesta etapa, primeiro foi realizado o processo de segmentação da maxila e mandíbula a fim de se facilitar: a visualização do defeito ósseo (Figura 68), o planejamento cirúrgico virtual e a prototipagem da mandíbula e maxila por impressão 3D.

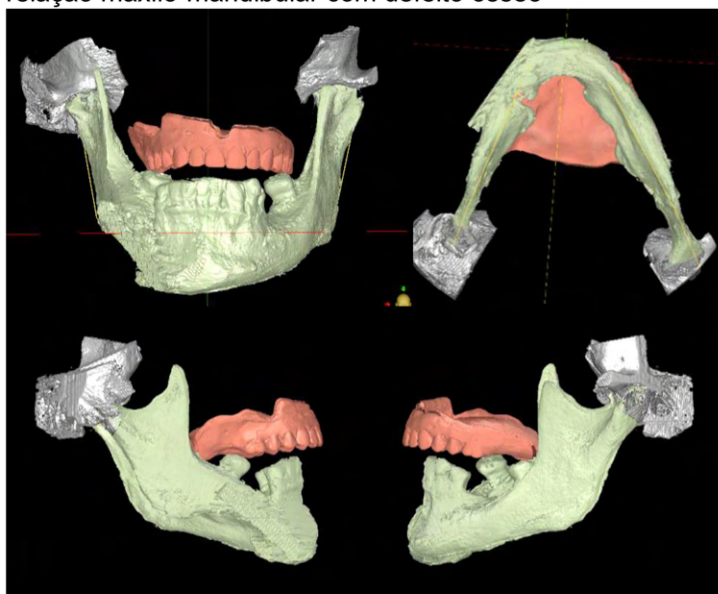
Figura 68 – Reconstrução volumétrica demonstrando defeito ósseo em mandíbula lado direito



Fonte: Do autor, 2023.

Na figura 70, é possível observar o desalinhamento mandibular para direita causado pela falha da placa de reconstrução existente no momento da realização do exame tomográfico.

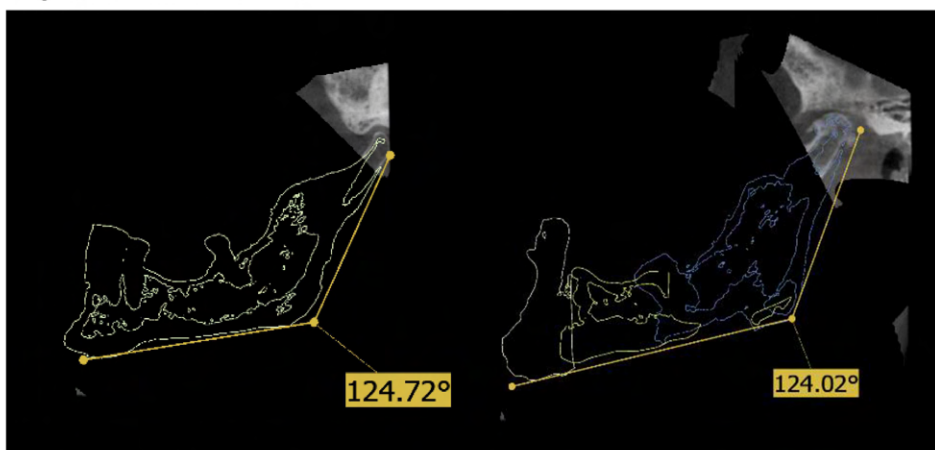
Figura 69 – Segmentação da mandíbula demonstrando a relação maxilo-mandibular com defeito ósseo



Fonte: Do autor, 2023.

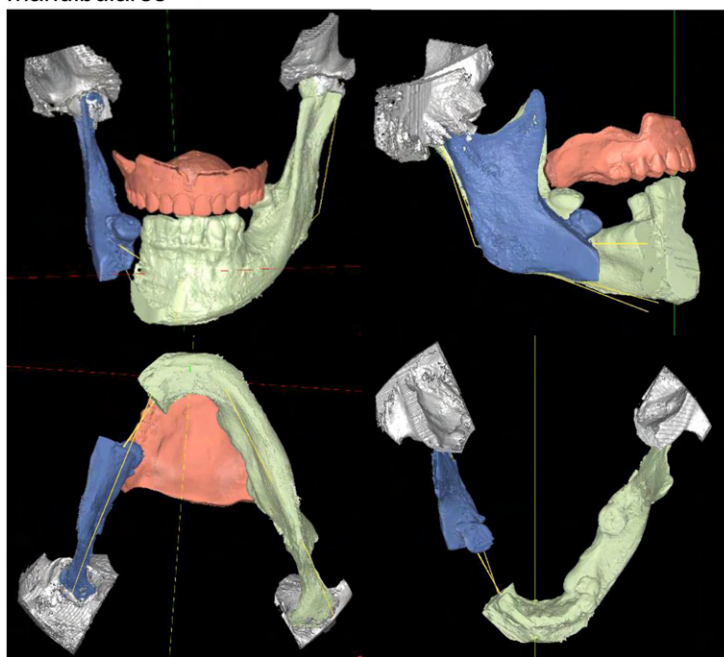
Após a análise das segmentações iniciais da maxila e mandíbula, procedeu-se ao reposicionamento dos fragmentos mandibulares, levando em consideração vários aspectos: o posicionamento condilar na cavidade glenoide, a linha média dos dentes superiores e inferiores, o plano mandibular, o plano do ramo e o ângulo goníaco (Figura 70 e Figura 71). Neste momento, também foi realizada uma osteotomia virtual para auxiliar na medição da falha existente entre os dois fragmentos mandibulares e facilitar a adaptação do enxerto ósseo pré-formatado que será removido da crista ilíaca com ajuda de um guia cirúrgico para osteotomia.

Figura 70 – Mensuração bilateral do ângulo goníaco para reposicionamento dos fragmentos mandibulares



Fonte: Do autor, 2023.

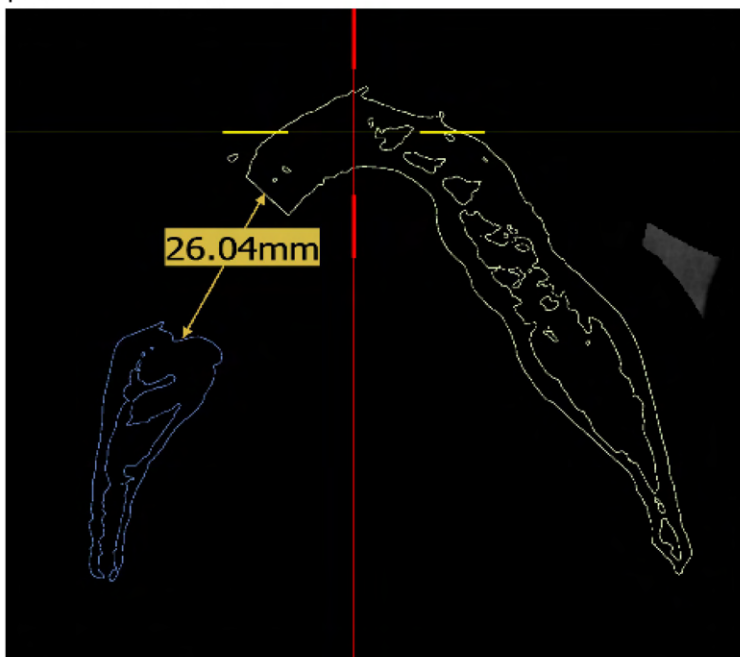
Figura 71 – Reposicionamento virtual dos fragmentos mandibulares



Fonte: Do autor, 2023.

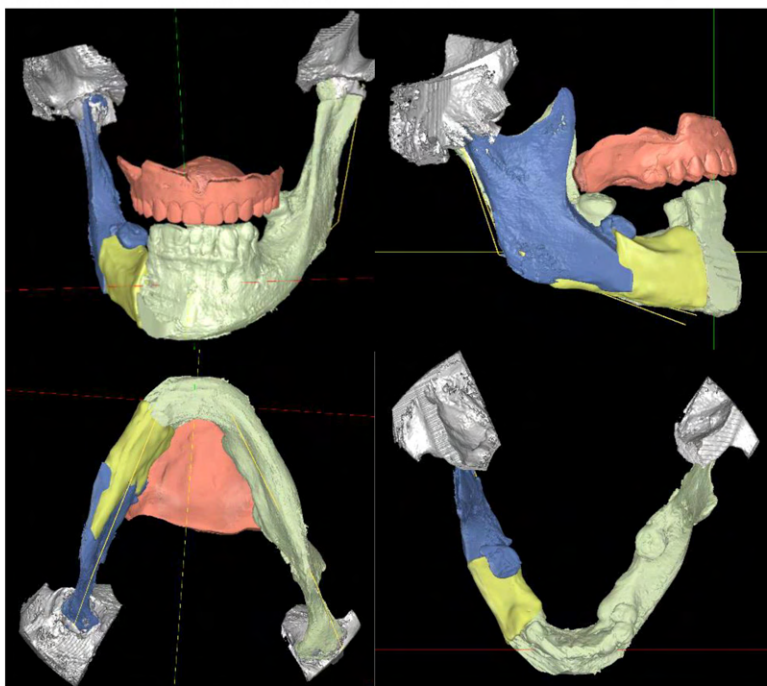
Depois de reposicionado os fragmentos mandibulares e verificado o tamanho da falha óssea existente (Figura 72), foi realizado o espelhamento da imagem do lado não afetado a fim de se reestabelecer os contornos anatômicos próximos de um ideal (Figura 73).

Figura 72 – Mensuração do tamanho da falha óssea mandibular pós-realinhamento



Fonte: Do autor, 2023.

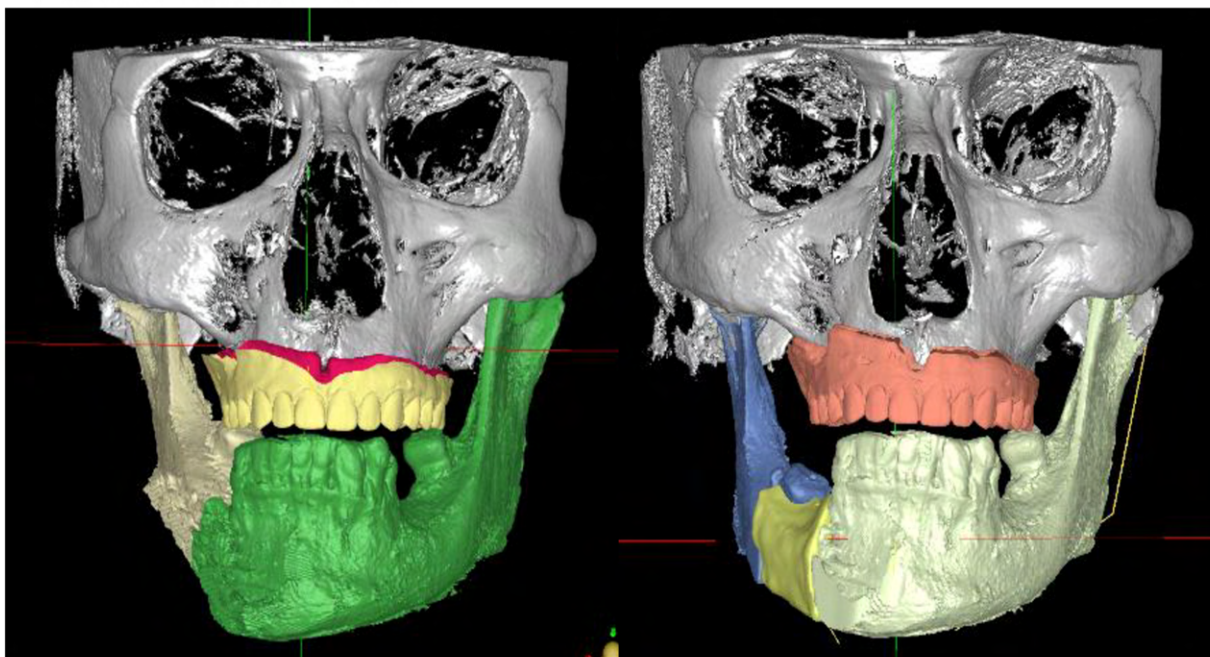
Figura 73 – Planejamento virtual do enxerto ósseo para reconstruir os contornos mandibulares



Fonte: Do autor, 2023.

Após o modelamento do enxerto virtual, foi realizada conferências a fim de se simular se o paciente estava com posicionamento maxilo-mandibular adequado (Figura 74). Logo em seguida, passamos para a etapa de criação do guia cirúrgico para remoção do enxerto ósseo em crista ilíaca.

Figura 74 – Simulação da relação maxilo-mandibular antes e pós reposicionamento dos fragmentos mandibulares com enxerto ósseo



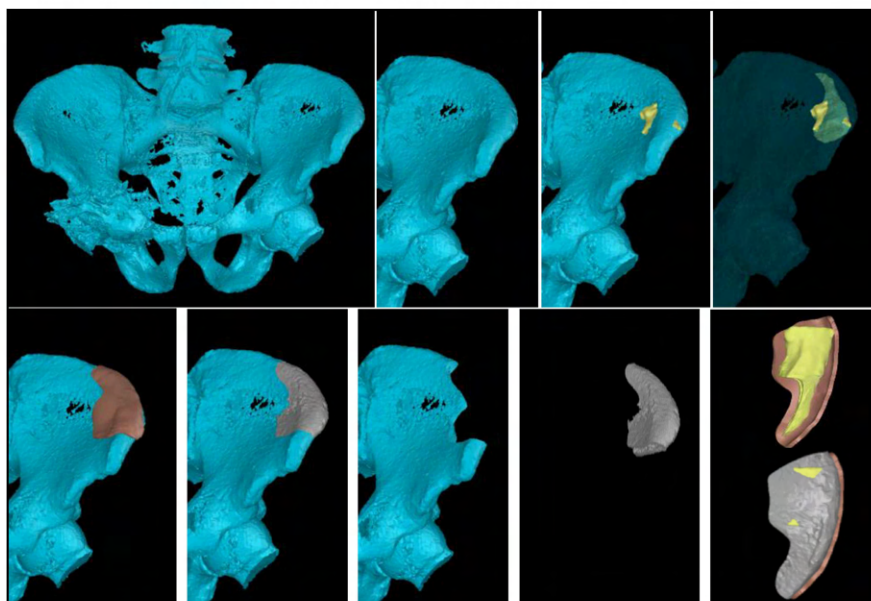
Fonte: Do autor, 2023.

Utilizando o mesmo método de tratamento de imagem aplicado à maxila e mandíbula, a tomografia computadorizada (TC) da pelve foi importada pelo software a fim de se realizar a reconstrução tridimensional do osso ilíaco. O software foi utilizado com o objetivo de segmentar uma porção do osso ilíaco relevante para o planejamento cirúrgico e criação de um guia de osteotomia.

Depois da segmentação do osso ilíaco, o enxerto ósseo modelado para a mandíbula foi sobreposto na região da crista ilíaca onde apresentava melhor adaptação. Nessa área de melhor ajuste, foi delineado um guia cirúrgico de suporte ósseo, com o objetivo de orientar os limites da osteotomia (Figura 75).

As segmentações de mandíbula, maxila, crista ilíaca foram convertidas em arquivos STL para realização de impressões 3D.

Figura 75 – Etapas de planejamento virtual para osteotomia de enxerto de crista ilíaca com guia cirúrgico de apoio ósseo

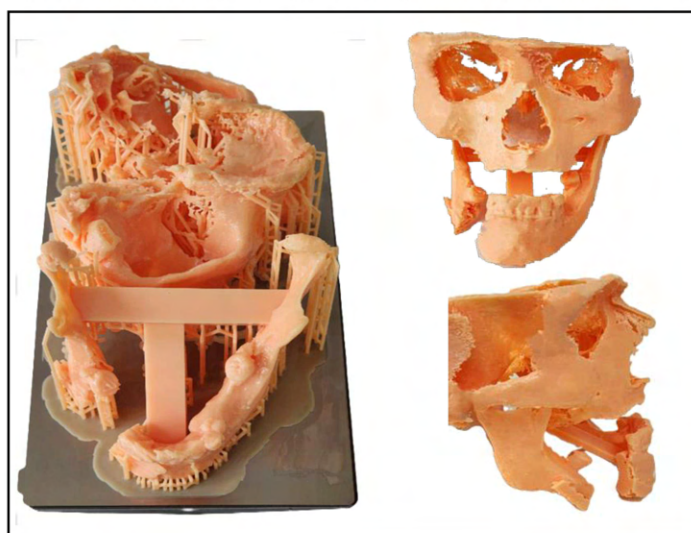


Fonte: Do autor, 2023.

Terceira etapa: Fase de manufatura das mandíbulas e da crista ilíaca do paciente para estudo.

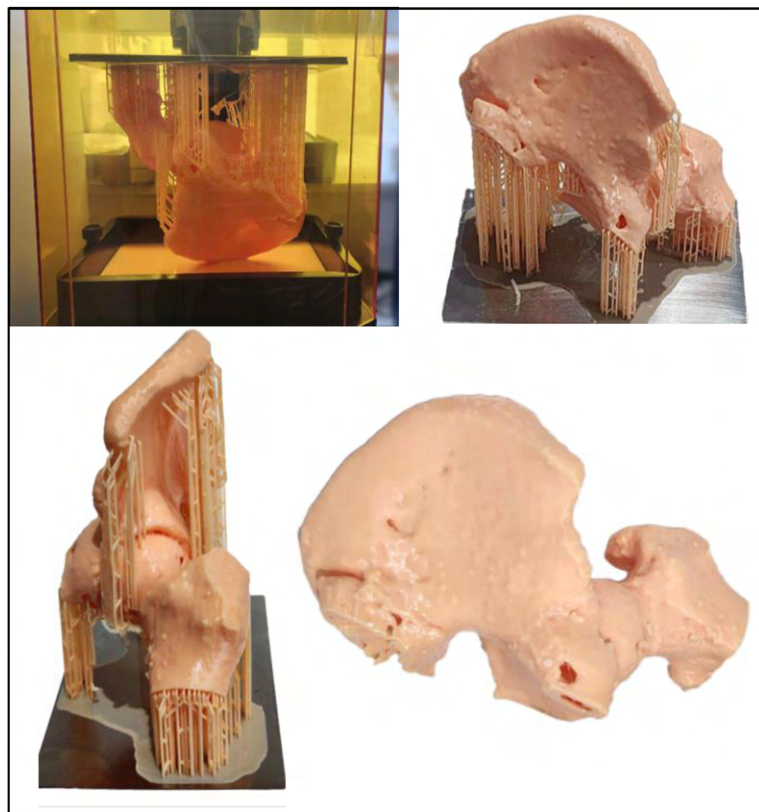
Nesse estágio, procedeu-se à materialização da mandíbula com defeito ósseo e a reprodução da mandíbula modelada com reposicionamento dos fragmentos mandibulares (Figura 76). Foi realizada a impressão 3D de parte do osso ilíaco para facilitar a comunicação e o planejamento entre as equipes da CTBMF e da Ortopedia (Figura 77). A equipe da ortopedia será a responsável pela remoção do enxerto ósseo da região de crista ilíaca. Será utilizado um guia cirúrgico de apoio ósseo feito por impressão 3D para orientar a remoção do enxerto.

Figura 76 – Impressão 3D da maxila e mandíbula modificada virtualmente para adaptação de enxerto ósseo



Fonte: Do autor, 2023.

Figura 77 – Impressão 3D de parte do osso íliaco



Fonte: Do autor, 2023.

Considerações

O procedimento cirúrgico do caso acima apresentado ainda não foi executado. Entretanto, a literatura demonstra que o auxílio do planejamento virtual e de prototipagens podem ajudar os cirurgiões a realizarem cirurgias de reconstruções mandibulares com maior precisão. Além disso, estudos indicam que os cirurgiões que estão envolvidos no planejamento virtual e no design dos modelos e enxertos se sentem mais familiarizados e confiantes ao executarem os procedimentos cirúrgicos. (SHU *et al.*, 2014).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi destacar as vantagens da aplicação do fluxo digital na área da cirurgia odontológica, abrangendo desde procedimentos menores até grandes reconstruções. Esses benefícios são compartilhados por todos os envolvidos, incluindo profissionais e pacientes, resultando em melhorias em precisão, conforto e eficiência.

No entanto, é importante ressaltar que o fluxo digital não substitui a habilidade e experiência do cirurgião. As tecnologias digitais são ferramentas complementares que exigem que os profissionais estejam em constante adaptação e atualização para aproveitar ao máximo seus benefícios.

REFERÊNCIAS

- ABAD-CORONEL, C.; PAZÁN, D. P.; HIDALGO, L.; LARRIVA LOYOLA, J. Comparative Analysis between 3D-Printed Models Designed with Generic and Dental-Specific Software. **Dent J (Basel)**, 11, n. 9, Sep 14 2023.
- ABRAMOVITCH, K.; RICE, D. D. Basic Principles of Cone Beam Computed Tomography. **Dental Clinics of North America**, 58, n. 3, p. 463-484, 2014/07/01/ 2014.
- ALKADI, L. A Comprehensive Review of Factors That Influence the Accuracy of Intraoral Scanners. **Diagnostics (Basel)**, 13, n. 21, Oct 24 2023.
- ANADIOTI, E.; KANE, B.; ZHANG, Y.; BERGLER, M.; MANTE, F.; BLATZ, M. Accuracy of Dental and Industrial 3D Printers. **J Prosthodont**, 31, n. S1, p. 30-37, Mar 2022.
- ANTÚNEZ-CONDE, R.; SALMERÓN, J. I.; DÍEZ-MONTIEL, A.; AGEA, M.; GASCÓN, D.; SADA, Á.; NAVARRO, C. I.; TOUSIDONIS, M.; OCHANDIANO, S.; ARENAS, G.; NAVARRO, C. C. Mandibular Reconstruction With Fibula Flap and Dental Implants Through Virtual Surgical Planning and Three Different Techniques: Double-Barrel Flap, Implant Dynamic Navigation and CAD/CAM Mesh With Iliac Crest Graft. **Front Oncol**, 11, p. 719712, 2021.
- BENGTSSON, M.; WALL, G.; GREIFF, L.; RASMUSSEN, L. Treatment outcome in orthognathic surgery-A prospective randomized blinded case-controlled comparison of planning accuracy in computer-assisted two- and three-dimensional planning techniques (part II). **J Craniomaxillofac Surg**, 45, n. 9, p. 1419-1424, Sep 2017.
- BORNSTEIN, M. M.; HORNER, K.; JACOBS, R. Use of cone beam computed tomography in implant dentistry: current concepts, indications and limitations for clinical practice and research. **Periodontol 2000**, 73, n. 1, p. 51-72, Feb 2017.
- BUSER, D.; MARTIN, W.; BELSER, U. C. Optimizing esthetics for implant restorations in the anterior maxilla: anatomic and surgical considerations. **Int J Oral Maxillofac Implants**, 19 Suppl, p. 43-61, 2004.
- CEN, Y.; HUANG, X.; LIU, J.; QIN, Y.; WU, X.; YE, S.; DU, S.; LIAO, W. Application of three-dimensional reconstruction technology in dentistry: a narrative review. **BMC Oral Health**, 23, n. 1, p. 630, Sep 04 2023.
- CHEN, Y. W.; HANAK, B. W.; YANG, T. C.; WILSON, T. A.; HSIA, J.M.; WALSH, H.E.; SHIH, H.; NAGATOMO, K. J. Computer-assisted surgery in medical and dental applications. **Expert Rev Med Devices**, 18, n. 7, p. 669-696, Jul 2021.
- CHOCHLIDAKIS, K. M.; PAPASPYRIDAKOS, P.; GEMINIANI, A.; CHEN, C. J.; FENG, I. J.; ERCOLI, C. Digital versus conventional impressions for fixed

prosthodontics: A systematic review and meta-analysis. **J Prosthet Dent**, 116, n. 2, p. 184-190.e112, Aug 2016.

CHOI, W.; NGUYEN, B. C.; DOAN, A.; GIROD, S.; GAUDILLIERE, B.; GAUDILLIERE, D. Freehand Versus Guided Surgery: Factors Influencing Accuracy of Dental Implant Placement. **Implant Dent**, 26, n. 4, p. 500-509, Aug 2017.

DAVIDOWITZ, G.; KOTICK, P. G. The use of CAD/CAM in dentistry. **Dent Clin North Am**, 55, n. 3, p. 559-570, ix, Jul 2011.

DE STAVOLA, L.; CRISTOFORRETTI, A.; FINCATO, A.; NOLLO, G.; GHENSI, P.; CANTARUTTI, A.; TESSAROLO, F. Accuracy and Technical Predictability of Computer Guided Bone Harvesting from the Mandible: A Cone-Beam CT Analysis in 22 Consecutive Patients. **J Funct Biomater**, 13, n. 4, Dec 10 2022.

DURET, F. **Documents related to the «Optical Impression» 1973 Thesis**. 2024. Disponível em: <https://www.francoisduret.com/thesis/>. Acesso em: 05 Jan 2024.

FLÜGGE, T.; DERKSEN, W.; TE POEL, J.; HASSAN, B.; NELSON K, WISMEIJER D. Registration of cone beam computed tomography data and intraoral surface scans - A prerequisite for guided implant surgery with CAD/CAM drilling guides. **Clin Oral Implants Res**, 28, n. 9, p. 1113-1118, Sep 2017.

FUNG, L.; BRISEBOIS, P. Implementing Digital Dentistry into Your Esthetic Dental Practice. **Dent Clin North Am**, 64, n. 4, p. 645-657, Oct 2020.

GARCIA, N. **Indústria 4.0: 69% das indústrias brasileiras fazem uso de tecnologia digital**. 2022. Disponível em: Indústria 4.0: 69% das indústrias brasileiras fazem uso de tecnologia digital - Agência de Notícias da Indústria (portaldaindustria.com.br). Acesso em: 12/01/2023.

GOYANES, A.; KOBAYASHI, M.; MARTÍNEZ-PACHECO, R.; GAISFORD, S.; BASIT, A.W. Fused-filament 3D printing of drug products: Microstructure analysis and drug release characteristics of PVA-based caplets. **Int J Pharm**, 514, n. 1, p. 290-295, Nov 30 2016.

GRASSIA, V.; RONSIVALLE, V.; ISOLA, G.; NUCCI, L.; LEONARDI, R.; LO GIUDICE, A. Accuracy (trueness and precision) of 3D printed orthodontic models finalized to clear aligners production, testing crowded and spaced dentition. **BMC Oral Health**, 23, n. 1, p. 352, Jun 02 2023.

GUARNIERI, R.; GRENGA, C.; ALTIERI, F.; ROCCHETTI, F.; BARBATO, E.; CASSETTA, M. Can computer-guided surgery help orthodontics in miniscrew insertion and corticotomies? A narrative review. **Front Oral Health**, 4, p. 1196813, 2023.

GUSMÃO, S. S. Determinação das coordenadas na tomografia computadorizada estereotáxica: simplificação do método convencional. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, 60, 2002.

HALL, M. A.; KARAWIA, I.; MAHMOUD, A. Z.; MOHAMED, O. S. Knowledge, awareness, and perception of digital dentistry among Egyptian dentists: a cross-sectional study. **BMC Oral Health**, 23, n. 1, p. 963, 2023/12/04 2023.

HAN, H. H.; KIM, H. Y.; LEE, J. Y. The Pros and Cons of Computer-Aided Surgery for Segmental Mandibular Reconstruction after Oncological Surgery. **Arch Craniofac Surg**, 18, n. 3, p. 149-154, Sep 2017.

HORNER, K.; ISLAM, M.; FLYGARE, L.; TSIKLAKIS, K.; WHAITES, E. Basic principles for use of dental cone beam computed tomography: consensus guidelines of the European Academy of Dental and Maxillofacial Radiology. **Dentomaxillofacial Radiology**, 38, n. 4, p. 187-195, 2009.

HUNG, K.; YEUNG, A. W. K.; TANAKA, R.; BORNSTEIN, M. M. Current Applications, Opportunities, and Limitations of AI for 3D Imaging in Dental Research and Practice. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 17, n. 12, p. 4424, 2020.

JACOBS, R.; SALMON, B.; CODARI, M.; HASSAN, B.; BORNSTEIN, M.M. Cone beam computed tomography in implant dentistry: recommendations for clinical use. **BMC Oral Health**, 18, n. 1, p. 88, 2018/05/15 2018.

JAIN, S.; CHOUDHARY, K.; NAGI, R.; SHUKLA, S.; KAUR, N.; GROVER, D. New evolution of cone-beam computed tomography in dentistry: Combining digital technologies. **Imaging Sci Dent**, 49, n. 3, p. 179-190, Sep 2019.

JAJU, P. P.; JAJU, S. P. Cone-beam computed tomography: Time to move from ALARA to ALADA. **Imaging Sci Dent**, 45, n. 4, p. 263-265, Dec 2015.

JODA, T.; GALLUCCI, G. O. The virtual patient in dental medicine. **Clinical Oral Implants Research**, 26, n. 6, p. 725-726, 2015.

KACHHARA, S.; NALLASWAMY, D.; GANAPATHY, D. M.; SIVASWAMY, V.; RAJARAMAN, V. Assessment of intraoral scanning technology for multiple implant impressions - A systematic review and meta-analysis. **J Indian Prosthodont Soc**, 20, n. 2, p. 141-152, 2020.

KERNEN, F.; KRAMER, J.; WANNER, L.; WISMEIJER, D.; NELSON, K.; FLÜGGE, T. A review of virtual planning software for guided implant surgery - data import and visualization, drill guide design and manufacturing. **BMC Oral Health**, 20, n. 1, p. 251, Sep 10 2020.

KRASTEV, T.; PAYER, M.; KRASTEV, Z.; CARDELLES, J. F. P.; VEGH, A.; BANYAI, D.; GECZI, Z.; VEGH, D. The Utilisation of CAD/CAM Technology Amongst Austrian Dentists: A Pilot Study. **Int Dent J**, 73, n. 3, p. 430-434, Jun 2023.

LEE, J. J.; JEONG, I. D.; PARK, J. Y.; JEON, J. H.; KIM, J.H.; KIM, W.C. Accuracy of single-abutment digital cast obtained using intraoral and cast scanners. **J Prosthet Dent**, 117, n. 2, p. 253-259, Feb 2017.

LERNER, H.; HAUSCHILD, U.; SADER, R.; GHANAATI, S. Complete-arch fixed reconstruction by means of guided surgery and immediate loading: a retrospective clinical study on 12 patients with 1 year of follow-up. **BMC Oral Health**, 20, n. 1, p. 15, Jan 16 2020.

LOGOZZO, S.; ZANETTI, E. M.; FRANCESCHINI, G.; KILPELÄ, A.; MÄKYNEN, A. Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. **Optics and Lasers in Engineering**, 54, p. 203-221, 2014/03/01/ 2014.

LOTZ, M.; SCHUMACHER, C.; STADLINGER, B.; IKENBERG, K.; RÜCKER, M.; VALDEC, S. Accuracy of guided biopsy of the jawbone in a clinical setting: A retrospective analysis. **J Craniomaxillofac Surg**, 49, n. 7, p. 556-561, Jul 2021.

MARKARIAN, R. A.; SILVA, R. L. B. D.; BURGOA, S.; PINHATA-BAPTISTA, O. H.; NO-CORTES, J.; CORTES, A. R. G. Clinical relevance of digital dentistry during COVID-19 outbreak: a scoped review. **Brazilian Journal of Oral Sciences**, 19, p. e200201, 01/04 2021.

MELROSE, R. J.; HANDLERS, J. P.; KERPEL, S.; SUMMERLIN, D.J; TOMICH, C.J. American Academy of Oral and Maxillofacial Pathology. The use of biopsy in dental practice. The position of the American Academy of Oral and Maxillofacial Pathology. **Gen Dent**, 55, n. 5, p. 457-461; quiz 462-453, 488, 2007.

MOREIRA, R. **Conceiving a non-contact Measurement System for the Polymer Temperature at the Nozzle Exit of a FDM 3D Printer**. 2016. -.

MÖRMANN, W. H. The evolution of the CEREC system. **J Am Dent Assoc**, 137 Suppl, p. 7S-13S, Sep 2006.

NAGATA, K.; FUCHIGAMI, K.; OKUHAMA, Y.; WAKAMORI, K.; TSURUOKA, H.; NAKASHIZU, T.; HOSHI, N.; ATSUMI, M.; KIMOTO, K.; KAWANA, H. Comparison of digital and silicone impressions for single-tooth implants and two- and three-unit implants for a free-end edentulous saddle. **BMC Oral Health**, 21, n. 1, p. 464, Sep 23 2021.

OBREGON, F.; VAQUETTE, C.; IVANOVSKI, S.; HUTMACHER, D. W.; BERTASSONI, L.E. Three-Dimensional Bioprinting for Regenerative Dentistry and Craniofacial Tissue Engineering. **Journal of Dental Research**, 94, n. 9_suppl, p. 143S-152S, 2015.

PARK, B. J.; CHOI, H. J.; MOON, S. J.; KIM, S. J.; BAJRACHARYA, R.; MIN, J.Y.; HAN, H.K. Pharmaceutical applications of 3D printing technology: current understanding and future perspectives. **Journal of Pharmaceutical Investigation**, 49, n. 6, p. 575-585, 2019/11/01 2019.

POSNICK, J. C. Orthognathic Surgery: Past - Present - Future. **J Oral Maxillofac Surg**, 79, n. 10, p. 1996-1998, Oct 2021.

POSTL, L.; MÜCKE, T.; HUNGER, S.; BISSINGER, O.; MALEK, M.; HOLBERG, S.; BURBKART, R.; KRENNMAIR, S. In-house 3D-printed surgical guides for osseous lesions of the lower jaw: an experimental study. **Eur J Med Res**, 26, n. 1, p. 25, Mar 15 2021.

POSTL, L.; MÜCKE, T.; HUNGER, S.; WUERSCHING, S. N.; HOLBERG, S.; BISSINGER, O.; BURBKART, R.; MALEK, M.; KRENNMAIR, S. Biopsies of osseous jaw lesions using 3D-printed surgical guides: a clinical study. **Eur J Med Res**, 27, n. 1, p. 104, Jul 02 2022.

RAHMAN, M.; MURAD, G. J. A.; MOCCO, J. Early history of the stereotactic apparatus in neurosurgery. **Neurosurgical focus**, 27 3, p. E12, 2009.

RENÇBER KIZILKAYA, A.; KARA, A. Impact of different CAD software programs on marginal and internal fit of provisional crowns: An in vitro study. **Heliyon**, 10, n. 2, p. e24205, 2024/01/30/ 2024.

RICHERT, R.; GOUJAT, A.; VENET, L.; VIGUIE, G.; VIENNOT, S.; ROBINSON, P.; FARGES, J.C.; FAGES, M.; DUCRET, M. Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. **J Healthc Eng**, 2017, p. 8427595, 2017.

RUNGROJWITTAYAKUL, O.; KAN, J. Y.; SHIOZAKI, K.; SWAMIDASS, R. S.; GOODACRE, B.J.; GOODACRE, C.J.; LOZADA, J.L. Accuracy of 3D Printed Models Created by Two Technologies of Printers with Different Designs of Model Base. **J Prosthodont**, 29, n. 2, p. 124-128, Feb 2020.

SHAHEEN, E.; SHUJAAT, S.; SAEED, T.; JACOBS, R.; POLITIS, C. Three-dimensional planning accuracy and follow-up protocol in orthognathic surgery: a validation study. **Int J Oral Maxillofac Surg**, 48, n. 1, p. 71-76, Jan 2019.

SHAO, H. M.; CHEN, J. Y.; TRUONG, T. K.; REED, I. S.; KWOH, Y. S. A New CT-Aided Robotic Stereotaxis System. **Proc Annu Symp Comput Appl Med Care**, p. 668-672, Nov 13 1985.

SHU, D. L.; LIU, X. Z.; GUO, B.; RAN, W.; LIAO, X.; ZHANG, Y. Y. Accuracy of using computer-aided rapid prototyping templates for mandible reconstruction with an iliac crest graft. **World J Surg Oncol**, 12, p. 190, Jun 24 2014.

- SMITHERS, F. A. E.; CHENG, K.; JAYARAM, R.; MUKHERJEE, P.; CLARK, J. R. Maxillofacial reconstruction using in-house virtual surgical planning. **ANZ J Surg**, 88, n. 9, p. 907-912, Sep 2018.
- SUGANNA, M.; KAUSHER, H.; TAREK AHMED, S.; SULTAN ALHARBI, H.; FARAJ ALSUBAIE, B.; DS, A.; HALEEM, S.; MEER ROWNAQ ALI, A. B. Contemporary Evidence of CAD-CAM in Dentistry: A Systematic Review. **Cureus**, 14, n. 11, p. e31687, Nov 2022.
- TACK, P.; VICTOR, J.; GEMMEL, P.; ANNEMANS, L. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. **Biomed Eng Online**, 15, n. 1, p. 115, Oct 21 2016.
- TATTAN, M.; CHAMBRONE, L.; GONZÁLEZ-MARTÍN, O.; AVILA-ORTIZ, G. Static computer-aided, partially guided, and free-handed implant placement: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. **Clin Oral Implants Res**, 31, n. 10, p. 889-916, Oct 2020.
- TIAN, Y.; CHEN, C.; XU, X.; WANG, J.; HOU, X.; LI, K.; LU, X.; SHI, H.; LEE, E. S.; JIANG, H. B. A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. **Scanning**, 2021, p. 9950131, 2021.
- TRAN, D.; NESBIT, M.; PETRIDIS, H. Survey of UK dentists regarding the use of CAD/CAM technology. **Br Dent J**, 221, n. 10, p. 639-644, Nov 18 2016.
- TRUONG, V. M.; KIM, S.; KIM, J.; LEE, J. W.; PARK, Y. S. Revisiting the Complications of Orthodontic Miniscrew. **Biomed Res Int**, 2022, p. 8720412, 2022.
- UENO, D.; SEKIGUCHI, R.; MORITA, M.; JAYAWARDENA, A.; SHINPO, S.; SATO, J.; KOBAYASHI, K. Palatal mucosal measurements in a Japanese population using cone-beam computed tomography. **J Esthet Restor Dent**, 26, n. 1, p. 48-58, 2014.
- VALDEC, S.; SCHIEFERSTEINER, M.; RÜCKER, M.; STADLINGER, B. Guided biopsy of osseous pathologies in the jaw bone using a 3D-printed, tooth-supported drilling template. **Int J Oral Maxillofac Surg**, 48, n. 8, p. 1028-1031, Aug 2019.
- WARA-ASWAPATI, N.; PITIPHAT, W.; CHANDRAPHO, N.; RATTANAYATIKUL, C.; KARIMBUX, N. Thickness of palatal masticatory mucosa associated with age. **J Periodontol**, 72, n. 10, p. 1407-1412, Oct 2001.
- WEGMÜLLER, L.; HALBEISEN, F.; SHARMA, N.; KÜHL, S.; THIERINGER, F.M. Consumer vs. High-End 3D Printers for Guided Implant Surgery-An In Vitro Accuracy Assessment Study of Different 3D Printing Technologies. **J Clin Med**, 10, n. 21, Oct 23 2021.
- YOUNES, F.; COSYN, J.; DE BRUYCKERE, T.; CLEYMAET, R.; BOUCKAERT, E.; EGHBALI, A. A randomized controlled study on the accuracy of free-handed, pilot-

drill guided and fully guided implant surgery in partially edentulous patients. **J Clin Periodontol**, 45, n. 6, p. 721-732, Jun 2018.

ZAMMIT, D.; ETTINGER, R. E.; SANATI-MEHRIZY, P.; SUSARLA, S. M. Current Trends in Orthognathic Surgery. **Medicina (Kaunas)**, 59, n. 12, Nov 30 2023.

ZHAO, Z.; SHEN, S.; LI, M.; SHEN, G.; DING, G.; YU, H. Three-dimensional printed titanium mesh combined with iliac cancellous bone in the reconstruction of mandibular defects secondary to ameloblastoma resection. **BMC Oral Health**, 23, n. 1, p. 681, 2023/09/20 2023.

ZION. **Global Medical Robots Market Is Anticipated To Reach Around USD 24.6 Billion By 2025**. 2019. Disponível em: <https://www.zionmarketresearch.com/news/medical-robot-market>. Acesso em: 12/01/2023.

ZOABI, A.; REDENSKI, I.; OREN, D.; KASEM, A.; ZIGRON, A.; DAOUD, S.; MOSKOVICH, L.; KABLAN, F.; SROUJI, S. 3D Printing and Virtual Surgical Planning in Oral and Maxillofacial Surgery. **J Clin Med**, 11, n. 9, Apr 24 2022.