

Universidade Federal de Minas Gerais

Faculdade de Odontologia

Izabela Daylê Rodrigues Lacerda

**O USO DE PROTÓTIPOS NA CIRURGIA BUCOMAXILOFACIAL:
IMPRESSÃO 3D DE UMA MANDÍBULA PARA O PLANEJAMENTO
DE RESSECÇÃO MANDIBULAR**

Belo Horizonte

2018

Izabela Daylê Rodrigues Lacerda

**O USO DE PROTÓTIPOS NA CIRURGIA BUCOMAXILOFACIAL:
IMPRESSÃO 3D DE UMA MANDÍBULA PARA O PLANEJAMENTO
DE RESSECÇÃO MANDIBULAR**

Trabalho de conclusão de curso de especialização em cirurgia e traumatologia bucomaxilofacial apresentado a banca examinadora como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial, na faculdade de odontologia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Prof.: Cláudio Comunian

Belo Horizonte

2018

Ficha Catalográfica

L131u Lacerda, Izabela Daylê Rodrigues.
2018 O uso de protótipos na cirurgia bucomaxilofacial :
MP impressão 3D de uma mandíbula para o planejamento de
ressecção mandibular / Izabela Daylê Rodrigues Lacerda. --
2018.

35 f. : il.

Orientador: Cláudio Rômulo Comunian.

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

1. Cirurgia bucal. 2. Procedimentos cirúrgicos
ortognáticos. 3. Mandíbula. 4. Impressão tridimensional. I.
Comunian, Cláudio Rômulo. II. Universidade Federal de Minas
Gerais. Faculdade de Odontologia. III. Título.

BLACK - D72

UFMG

UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MINAS GERAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Faculdade de Odontologia

Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Odontologia

Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha

Belo Horizonte – MG – 31.270-901 – Brasil

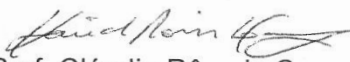
Tel. (31) 3409-2470 Fax: (31) 3409-2472

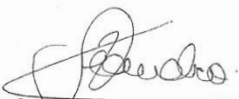
e-mail: odonto-posgrad@ufmg.br

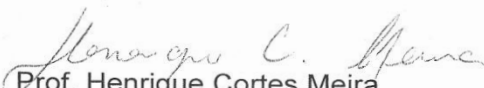


Ata da Comissão Examinadora para julgamento de Monografia da aluna **IZABELA DAYLE RODRIGUES LACERDA**, do Curso de Especialização em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial com Práticas Hospitalares Avançadas, realizado no período de 01/08/2016 a 07/12/2018.

Aos 3 dias do mês de dezembro de 2018, às 10:00 horas, na sala de Pós-Graduação (3403) da Faculdade de Odontologia, reuniu-se a Comissão Examinadora, composta pelos professores Cláudio Rômulo Comunian (orientador), Leandro Napier Souza e Henrique Cortes Meira. Em sessão pública foram iniciados os trabalhos relativos à Apresentação da Monografia intitulada **“O USO DE PROTÓTIPOS NA CIRURGIA BUCOMAXILOFACIAL: IMPRESSÃO 3D DE UMA MANDÍBULA PARA PLANEJAMENTO DE RESSECÇÃO MANDIBULAR”**. Terminadas as arguições, passou-se à apuração final. A nota obtida pela aluna foi 100 (CEM) pontos, e a Comissão Examinadora decidiu pela sua APROVAÇÃO. Para constar, eu, Cláudio Rômulo Comunian, Presidente da Comissão, lavrei a presente ata que assino, juntamente com os outros membros da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 03 de dezembro de 2018.


Prof. Cláudio Rômulo Comunian
Orientador


Prof. Leandro Napier Souza


Prof. Henrique Cortes Meira

Aos meus pais e irmãos que me apoiaram
nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me guiar nas minhas escolhas e estar sempre comigo.

Aos meus pais Alessandra e Geraldo por me conhecerem tão bem e me ajudarem a fazer dos meus sonhos realidade.

Aos meus irmãos Ludmilla e Lucas e Nina, Lud por ser minha confidente, Lucas minha alegria e Nina meu xodó.

Ao Guilherme, por sempre me impulsionar para o meu melhor.

Aos meus familiares pelo carinho e compreensão pela ausência.

Aos meus colegas da especialização pelos momentos de felicidade e aprendizado

Aos meus professores do curso de especialização, Evandro Aguiar, Marcelo Naves, Claudio Comunian, Eduardo Morato, Rodrigo Coelho, Leandro Napier

Ao professor Marcus Lima por fomentar a excelência e por ser um exemplo de profissional para minha formação.

Aos amigos e professores Luiz Novy e Henrique Meira por serem inspiração e mentores para o mundo da bucomaxilofacial.

Aos preceptores do Hospital Odilon Behrens pelos ensinamentos, apoio, compreensão, paciência e exemplo.

A Cristina e Chayenne pela amizade e por me ajudarem em tudo para a conclusão do curso.

Aos amigos Barbara Urias e Thiago Bittencourt da empresa Ekileds por ter proporcionado impressão 3D para que esse trabalho ocorresse.

Ao Guilherme Ferraz da empresa Faro por disponibilizar o scanner de superfície e por ter realizado a programação em formato STL.

“A persistência é o caminho do êxito.”

Charles Chaplin

RESUMO

Sempre no percurso da cirurgia, cirurgiões buscaram mecanismos e técnicas para melhorar o prognóstico dos pacientes. Com o advento da engenharia e suas tecnologias integrando e interagindo com o meio da biologia humana, pode-se ter uma gama de possibilidades inovadoras para a resolução de dificuldades que o cirurgião enfrenta diariamente na mesa operatória.

Esse estudo tem por objetivo pesquisar os recentes avanços do uso de protótipos nas áreas da medicina e enfatizar o uso na cirurgia bucomaxilofacial, assim como a produção de um protótipo de uma mandíbula em impressora 3D.

Neste trabalho foi demonstrado que por meio de uma impressora 3D é possível proporcionar a exatidão necessária para a confecção de um protótipo de mandíbula para a dobra de placa de reconstrução 2.4 mm de maneira simplificada e com o custo baixo principalmente.

Palavras Chaves: protótipos, reconstrução de mandíbula, impressão 3D.

ABSTRACT

The use of prototypes in facial bucomaxyl surgery: 3d printing of a jaw for planting research planning

Always in the course of surgery, surgeons sought mechanisms and techniques to improve the prognosis of patients. With the advent of engineering and its technologies integrating and interacting with the medium of human biology, one can have a range of innovative possibilities for solving difficulties that the surgeon faces daily at the operating table.

This study aims to investigate the recent advances in the use of prototypes in the areas of dentistry and emphasizing the use in maxillofacial surgery, as well as the production of a prototype of a jaw in 3D printer.

In this work, it has been demonstrated that by means of a 3D printer it is possible to provide the necessary accuracy for the manufacture of a jaw prototype for the reconstruction plate fold 2.4 mm in a simplified way and with the low cost mainly.

Key words: prototypes, jaw reconstruction, 3D printing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tomografia inicial.....	20
Figura 2. Protótipo sendo confeccionado em impressora 3D.....	23
Figura 3. Protótipo finalizado.....	23
Figura 4. Conjunto de placa e parafusos para a pré-dobragem da placa de 2.4 mm.....	24
Figura 5. Modelo tridimensional obtido após processamento com o scanner.....	24
Figura 6. Guia de cores demonstrando a deformação no protótipo em comparação com a tomografia.....	25

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. OBJETIVO GERAL.....	15
2.2. OBJETIVO ESPECIFICO.....	15
3. REVISÃO.....	16
3.1. TÉCNICA CIRÚRGICA DE RESSECÇÃO MANDIBULAR.....	20
4. METODOLOGIA.....	22
5. RESULTADOS.....	25
6. DISCUSSÃO.....	28
6.1.APLICAÇÕES EM MEDICINA EM GERAL.....	28
6.2.APLICAÇÕES EM CIRURGIA BUCOMAXILOFACIAL.....	29
7. CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS.....	34

1 INTRODUÇÃO

O uso de tecnologias é cada vez mais comum na área médica. Os modernos centros cirúrgicos, com salas onde é possível apresentar em todos os lugares do mundo uma cirurgia em tempo real com a robótica auxiliando ou executando a técnica cirúrgica são um exemplo de como o avanço da tecnologia tem propiciado uma verdadeira revolução nos procedimentos cirúrgicos. A Prototipagem como tecnologia oriunda da engenharia vem propiciando diversos avanços na área médica, principalmente ao que diz respeito ao planejamento cirúrgico (GOIATO *et al.*, 2011).

Para D'urso *et al.*, (1998) biomodelagem é um termo genérico que designa a habilidade de replicar a morfologia de uma estrutura biológica em um modelo físico. É empregado para descrever o processo de captura de dados morfológicos de uma estrutura biológica, processamento desses dados por computador e geração do código requerido para a confecção do modelo físico, utilizando uma máquina de prototipagem, sendo utilizado para isso o termo prototipagem rápida.

O emprego da prototipagem rápida na área da saúde para auxílio ao diagnóstico e planejamento de cirurgias complexas, tem sido amplamente difundido e estudado, principalmente nos países tecnologicamente mais avançados. Estas aplicações pressupõem a disponibilidade de dados do interior do corpo humano, obtidos por equipamentos de aquisição de imagens médicas, que usam técnicas tais como a Tomografia Computadorizada. Dependendo do local de interesse ou órgão a ser realizado o protótipo, pode-se utilizar de outros métodos diagnósticos como a ultrassonografia e a ressonância magnética.

Atualmente, o uso da prototipagem rápida na medicina veio acrescentar, em uma época de desenvolvimento de tantas novas tecnologias, a possibilidade de se realizar o planejamento e a simulação cirúrgica utilizando-se um modelo físico tridimensional, bastante fiel à anatomia do paciente. Espera-se que essa nova tecnologia atue como uma evolução dos métodos de simulação em imagem virtual, contribuindo para melhorar o trabalho do cirurgião através de uma melhor compreensão e visualização da anatomia em patologias complexas de estruturas ósseas ou vasculares (LAL *et al.*, 2018).

Ao contrário dos processos de usinagem, que subtraem material da peça em bruto para se obter a peça desejada, os sistemas de prototipagem rápida geram a peça a partir da união gradativa de líquidos, pós ou folhas de papel. Camada por camada, a partir de seções transversais da peça obtidas a partir do modelo 3D, as máquinas de prototipagem rápida produzem peças em plásticos, madeira, cerâmica ou metais (STOETZER *et al.*, 2011).

Segundo Neto *et al.*, (2016) para que os modelos virtuais e físicos possam ser utilizados de forma abrangente nos serviços públicos de saúde brasileiros, faz-se necessário o desenvolvimento de processos e materiais de forma a tornar tecnologias como a prototipagem rápida uma ferramenta acessível à população, tanto no sentido financeiro quanto de facilidade de manipulação das imagens.

O planejamento cirúrgico com auxílio da prototipagem rápida permite que a equipe médica tenha em mãos um modelo físico para avaliar, podendo simular o procedimento cirúrgico antes de ser executado. Como resultado, as cirurgias poderão ser otimizadas, sendo executadas em tempos menores, com menos tempo de ocupação da sala cirúrgica, permitindo assim a redução de custos significativos nos hospitais e menor risco ao paciente. Sendo assim, esta solução pode proporcionar mais segurança e confiabilidade ao processo como um todo.

Neste estudo vamos desenvolver um protótipo de uma mandíbula que servirá de guia para a cirurgia de exérese de ameloblastoma em região de mento.

Sendo a mandíbula juntamente com a maxila, os ossos que compõem o segmento dentado do esqueleto craniomaxilofacial, são responsáveis, além da mastigação, por outras funções igualmente importantes, como a deglutição, a fonação e a respiração, além de definir a estética do terço inferior da face. Alterações desta relação mandibulo-maxilar podem repercutir na forma dos mesmos, causando deformidades de desenvolvimento muito comuns na infância e adolescência (STURLA *et al.*, 1980).

A grande maioria dos defeitos mandibulares é causada por cirurgias de remoção de tumores em portadores de câncer. Algumas lesões benignas também produzem defeitos segmentares, como as lesões císticas, ameloblastomas e a displasia fibrosa óssea (PATEL *et al.*, 2001).

Meurer *et al.*,(2008) considera oito etapas no processo de obtenção dos biomodelos, a saber:

1. Seleção do paciente;
2. Aquisição das imagens por tomografia computadorizada em arquivo em formato DICOM (*Digital Imaging Communications in Medicine* ou comunicação de imagens digitais em medicina);
3. Software específico - Manipulação das imagens - produz o modelo CAD;
4. Modelo CAD;
5. Conversão do Arquivo para o formato STL;
6. Determinação dos parâmetros de construção;
7. Construção do biomodelo e
8. Pós-processamento

A fase de pós processamento nesse estudo será a de escaneamento e conferencia do modelo físico com o virtual.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo desse trabalho é realizar uma revisão de literatura sobre o uso de protótipos na área da cirurgia bucomaxilofacial.

2.2 Objetivo específico

Desenvolver e imprimir um protótipo de mandíbula, a partir de tomografia computadorizada, em uma impressora 3d de custo baixo, após, fazer a mensuração da precisão por meio de escaneamento de superfície do protótipo.

3 REVISÃO

Um dos pontos fundamentais para a elucidação da tecnologia dos biomodelos é a melhora significativa dos exames tomográficos e de imagem em geral.

Quando se iniciou a tomografia computadorizada na área médica, a resolução e precisão não eram satisfatórias para o planejamento com exatidão da técnica cirúrgica, mas o grande benefício era mostrar uma visão tridimensional até então inusitada.

A importância da evolução da tomografia, assim como o acesso facilitado atualmente, deve ser ressaltada já que, para proporcionar um modelo comparativamente idêntico são necessárias mensurações precisas do objeto em estudo.

Técnicas de prototipagem rápida foram introduzidas na década de 1980 no campo da engenharia para a fabricação de um modelo sólido baseado em um arquivo de computado. Após a sua introdução no campo biomédico, várias aplicações foram levantadas para a fabricação de modelos para facilitar o planejamento cirúrgico e simulação em implantodontia, neurocirurgia e ortopedia, bem como para a fabricação de próteses maxilofaciais. A evolução da técnica de prototipagem rápida na assistência à saúde, permite maior facilidade na técnica e melhor resultado cirúrgico (CARVALHO *et al.*, 2007).

A prototipagem rápida é uma tecnologia que possibilita produzir modelos e protótipos diretamente a partir do modelo 3D, obtido por um sistema CAD, por digitalização ou por tomografia computadorizada geralmente. Utiliza-se geralmente uma impressora 3D para esse fim, também denominada como uma máquina de prototipagem rápida, sendo composta por uma tecnologia em que seu conceito fundamental é o processo de fabricação aditiva, que cria objetos uma camada de cada vez, de baixo para cima em um plano cartesiano.

Existem mais de 20 sistemas de prototipagem rápida no mercado que, apesar de utilizarem diferentes tecnologias de adição de materiais, se baseiam no mesmo princípio de manufatura por camada.

Os dados para as máquinas de prototipagem rápida são gerados no sistema CAD no formato STL (*standard template library*). Esse formato é feito por pequenos triângulos que, unidos, aproximam-se da geometria do objeto requerido. Quanto menor forem esses triângulos, melhor a aproximação da superfície, porém isso gera um tamanho de arquivo maior, aumentando o tempo de processamento da imagem. Com o arquivo STL gerado, os restantes das opções são feitas de maneira automática com o próprio programa que acompanha a máquina de prototipagem rápida. Esses dados vão dar o comando para a máquina iniciar o processo de construção do protótipo.

Entre as vantagens do processo de estereolitografia estão:

1. O modelo em SLA é muito preciso tornando viável o seu uso em muitas aplicações;
2. Modelos transparentes podem ser construídos, assim como modelos com certa elasticidade;
3. É um dos processos mais difundidos, com representante e assistência na maioria dos países e
4. Apresenta boa qualidade de superfície, sendo considerada uma das melhores entre os processos de prototipagem rápida

Entre as deficiências do processo de estereolitografia estão:

1. Todos os materiais disponíveis são polímeros, não havendo uma gama muito vasta de materiais que possam ser utilizados;
2. Metais e cerâmicas não podem ser usados diretamente para a construção do modelo;
3. Modelos coloridos não podem ser criados diretamente;
4. Necessita de suporte em regiões não conectadas, utilizando para isso a mesma resina da peça;

5. Necessita de pós-processamento para remoção dos suportes;
6. Geralmente requer pós-cura para completar o processo de polimerização e assegurar a integridade da estrutura e
7. A resina é agressiva ao operador (tóxica), precisando ser manuseada com cuidado

De modo geral as aplicações da prototipagem rápida na área da saúde são essencialmente cinco e requerem a utilização de diferentes materiais e, conseqüentemente, o emprego de diferentes tecnologias de prototipagem rápida. São eles:

1. Biomodelos para planejamento e treinamento cirúrgico em polímero ou gesso;
2. Guias para perfuração de ossos feitas em polímero;
3. *Scaffolds* de metais, cerâmicos, polímeros ou compósitos biocompatíveis;
4. Implantes densos que podem ser construídos em metal, compósito, polímero, ou cerâmica ou compósito e
5. Confeção de próteses(Oliveira *et al.*, 2007).

A prototipagem rápida aplicada à medicina é dividida em dois grandes ramos: indiretos ou diretos. Os processos indiretos geram moldes com os quais são construídos o biomodelo no seu material final de uso enquanto que nos diretos o biomodelo é obtido no material desejado, sem processos subsequentes. Se o material final é polímero ou gesso, caso de guias de perfuração, os processos são diretos como o SLA. Métodos diretos para cerâmica e metal estão sendo lançados recentemente no mercado e são estes últimos que vem sendo testados para a confecção de implantes personalizados (ULBRICH *et al.*, 2006).

Embora, inicialmente, os protótipos tenham sido usados para casos complexos, agora está se tornando rotineiro e provavelmente terá um impacto significativo em todas as nossas práticas nos próximos anos, já que se viu oferecer várias vantagens adicionais. Eles podem ajudar no treinamento de cirurgiões novatos em áreas

cirúrgicas complicadas. O modelo pode ser esterilizado e revisado no intra-operatório, se necessário. A revisão pré-operatória do modelo 3D permite ao cirurgião antecipar as dificuldades intra-operatórias, selecionar a abordagem cirúrgica ideal, planejar a colocação do implante, visualizar a trajetória do parafuso e acessar a necessidade de equipamento especial (VAISHYA *et al.*, 2018)

Quanto aos benefícios, os usos de protótipos para planejamento cirúrgico, assim como as próteses personalizadas, podem gerar impactos que se baseiam em quatro fatores sociais:

Redução de custos relacionados à saúde em hospitais públicos e privados devido a menor permanência nas salas cirúrgicas permitindo atender mais pacientes com os mesmos recursos;

1. Contribuição para que cirurgias possam ser otimizadas e executadas em menores tempos;
2. Redução de traumas de pacientes no pós-operatório promovendo o bem-estar no atendimento;
3. Tornar acessível o uso da tecnologia de prototipagem rápida na rede pública e privada.

Os impactos sociais identificados pelo uso da prototipagem rápida no planejamento cirúrgico são:

1. Redução de gastos públicos e privados através da redução de tempos em salas cirúrgicas;
2. Procedimentos cirúrgicos complexos mais ágeis e eficazes devido à otimização e maior conhecimento do procedimento a ser executado; É fácil projetar incisões de tecidos moles, margens de ressecção cirúrgica, avaliar defeitos ósseos para enxertia, adaptação e pré-assentamento de placas de reconstrução.
3. Reabilitação física de pacientes junto à sociedade através de procedimentos mais ágeis em sua recuperação;
4. Melhoria da autoestima do paciente e reintegração à sociedade através de resultados estéticos mais acessíveis à população;

5. Contribuição para a qualificação de profissionais;
6. Desenvolvimento de tecnologia nacional contribuindo para a geração de empregos no país e
7. Possibilidade de geração de receitas de exportação para o país com a comercialização dos produtos e processos desenvolvidos.

3.1 Técnica cirúrgica de ressecção mandibular

A ressecção mandibular é um tratamento cirúrgico que é utilizado para remoção de cistos e tumores de tamanho considerável, podendo ser marginal, em que mantém a continuidade das bordas posteriores e inferiores da mandíbula; segmentar, em que um segmento é removido sem manter a continuidade do osso; hemimandibulectomia e mandibulectomia total com desarticulação do côndilo (BIANCHI *et al.*, 2013).

Podemos ter uma classificação dos Defeitos Mandibulares como anteriores ou laterais, com base no componente mais predominante. Contudo, a classificação mais utilizada é a de Jewer e Boyd também denominada de sistema de classificação HCL: - “H” significa *high* (alto) para defeitos laterais que envolvem o côndilo. - “L” significa *low* (baixo) para defeitos laterais que não envolvem o côndilo. - “C” significa central e envolve a porção localizada entre os caninos (inclusive), isto é, o arco central (PORTINHO *et al.*, 2015).

A escolha da técnica baseia-se na extensão da lesão, tipo, evolução, biopsia previa, hipóteses diagnósticas, idade do paciente, entre outros. A ressecção parcial ou segmentar acarreta alterações funcionais importantes e defeitos na continuidade, no contorno mandibular por se remover em extensas áreas. Porém, essas situações vêm sendo minimizadas pelo uso de placas de titânio de reconstrução. São as chamadas placas *load-bearing* ou placas de estabilização, que pela espessura se tornam o suporte da mandíbula.

Atualmente temos como padrão ouro nas reconstruções mandibulares o uso de enxertos micro vascularizados que vão possibilitar uma melhora significativa de um prognóstico reabilitador para o paciente que foi submetido a grandes ressecções

mandibulares. Um lado importante nesse tratamento é a melhora considerável da estica e melhores possibilidades de adaptação de próteses (LUNARDI *et al.*, 2001).

As reconstruções podem ser imediatas, ou seja, uso de uma placa de reconstrução associada à interposição de enxerto ósseo, ou em outro tempo cirúrgico, também chamadas de secundárias, em que a instalação da placa de reconstrução é feita em um primeiro tempo cirúrgico e, então, em um segundo tempo operatório, é realizada a interposição do enxerto.

4 METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em quatro etapas de trabalho:

1. A aquisição de imagens por tomografia computadorizada;
2. A segmentação das imagens dando origem aos modelos virtuais utilizando o software InVesalius
3. A confecção dos protótipos em impressora 3D
4. Na comparação entre modelos virtuais e físicos.

Para a tomada tomográfica foi utilizado o aparelho de tomografia computadorizada

Siemens e os dados gravados em DICOM foram armazenados em CD ROM. A Figura 1 apresenta a tomografia.

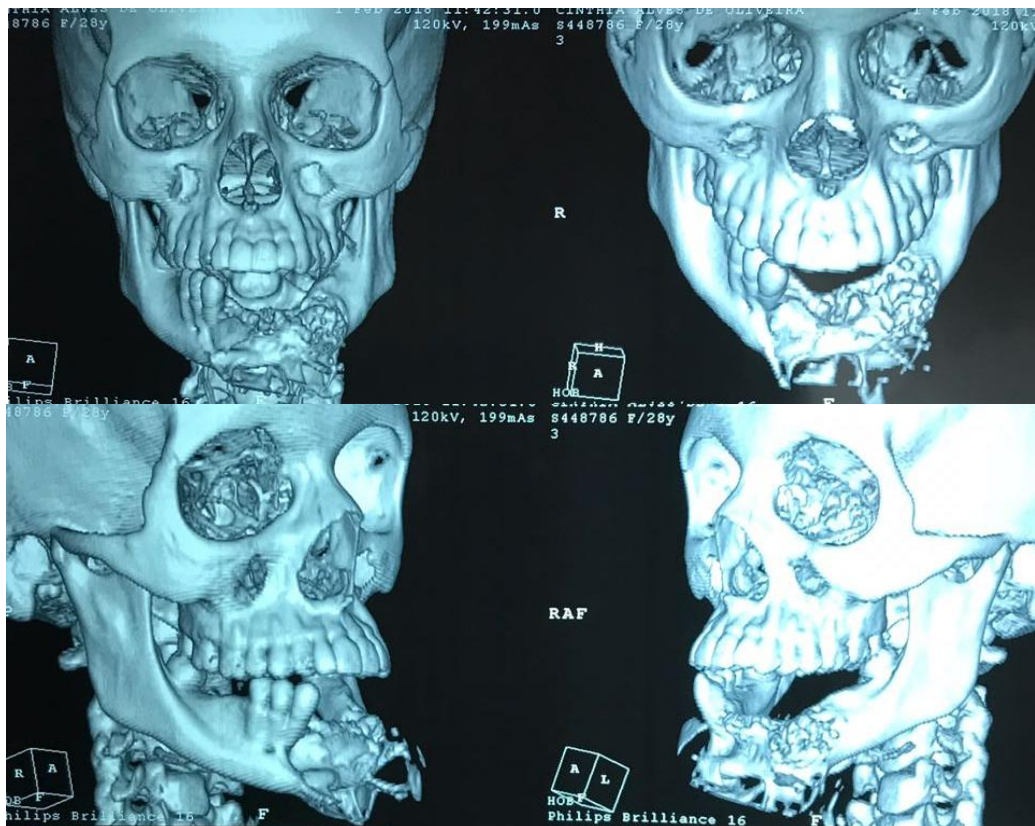


Figura 1: Tomografia inicial.

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Os arquivos DICOM, contendo as imagens tomográficas, foram acessados, utilizando o software de segmentação de imagens InVesalius, que é disponibilizado pelo governo brasileiro gratuitamente em plataformas digitais para o acesso a pesquisa e inovação. Essa etapa foi importante para gerar um modelo STL da mandíbula para que o programa da impressora 3D pudesse fazer a leitura das informações e assim, realizar a impressão.

O equipamento de Prototipagem Rápida utilizado foi a impressora tridimensional da marca e modelo Sethi 3D S3.

O material utilizado para o processo da impressora tridimensional foi: filamento de acrilonitrila butadieno estireno (ABS) 1.75 que é insumo termoplástico destinado para impressoras 3D, é um plástico de engenharia resistente que pode ser aplicado para criar peças com características finais funcionais (BAGLIOTTI *et al.*, 2017).

Após a obtenção do modelo físico, foi possível realizar a dobradura da placa de reconstrução 2.4 mm que será utilizada para a reconstrução de uma mandíbula após ressecção de ameloblastoma em região de mento.

O biomodelo foi confeccionado com uma correção na região do mento para que não seja reproduzido com a anatomia assimétrica do tumor e não interferir no procedimento de dobra da placa. A correção foi realizada manualmente no programa de desenho Geomagic e conferida por um cirurgião bucomaxilofacial.

Geralmente ao se realizar um protótipo, remove a área afetada e faz um espelhamento da anatomia contralateral para ótimo resultado estético e funcional. Como nesse caso em questão o tumor se manifesta na região mediana da mandíbula, tornou-se impossível realizar o espelhamento da imagem de forma que ficaria um contorno fora da anatomia real buscada.

O protótipo foi então utilizado para a dobra da placa 2.4 mm do fabricante Neotho, sendo utilizado os alicates e equipamentos específicos contidos na caixa de placas de titânio. Após a correta modelagem da placa na mandíbula, optou-se por parafusar a placa no biomodelo para melhor estabilização para o processo de escaneamento de superfície.

O equipamento de digitalização e escaneamento utilizado foi da empresa e fabricante Faro do modelo Design ScanArm e disponibilizado pelo representante de vendas em Belo Horizonte para o estudo.

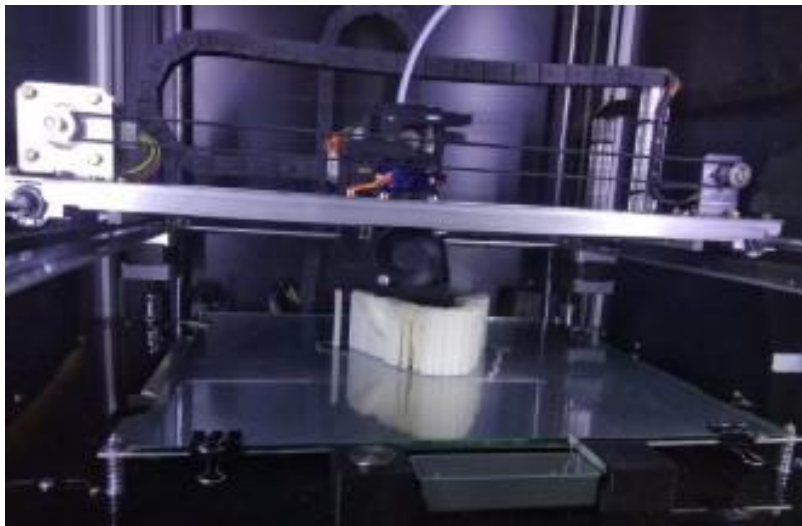
O software utilizado para a comparação dos protótipos com a tomografia foi Polyworks Instector Premium.

Para fins didáticos realizamos o escaneamento da placa dobrada para ter o modelo de estudo no software de manipulação de imagens onde é possível observar a adaptação.

5 RESULTADOS

Inicialmente obtivemos um modelo tridimensional em formato STL da mandíbula após processamento no software de imagem InVesalius. A partir desses dados, foi possível realizar o projeto de impressão na impressora 3D mostrado nas Figuras 2 e 3, com um tempo de finalização do protótipo em 2 horas e 45 minutos.

Figura 2: protótipo sendo confeccionado em impressora 3D.



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Figura 3: protótipo finalizado.



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Visualmente o protótipo obtido teve uma superfície ótima para o seu propósito de dobra de placa que foi realizado em um tempo médio no modelo não estéril foi de 01 hora. Isso é considerado como representando a quantidade mínima de tempo economizada durante a operação. A rigidez do biomodelo foi suficiente para a dobra da placa como decuplicado nas Figuras 4 e 5.



Figura 4: conjunto de placa e parafusos para a pré-dobragem da placa de 2.4 mm.

Fonte: elaborado pela própria autora, 2018.

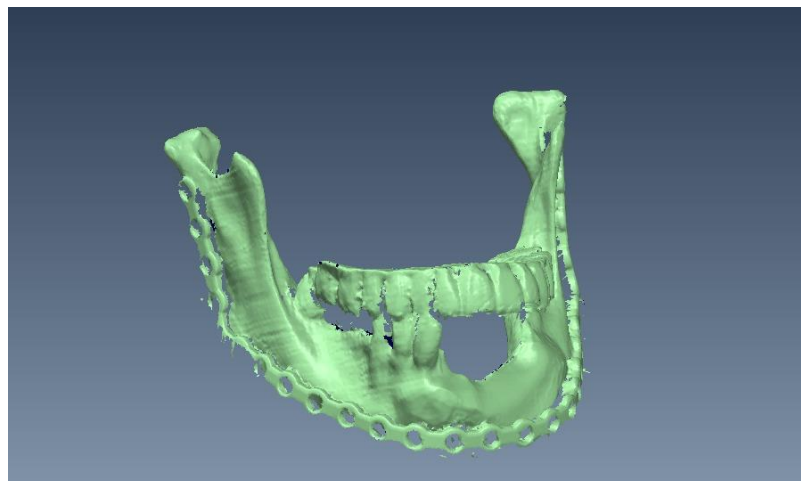
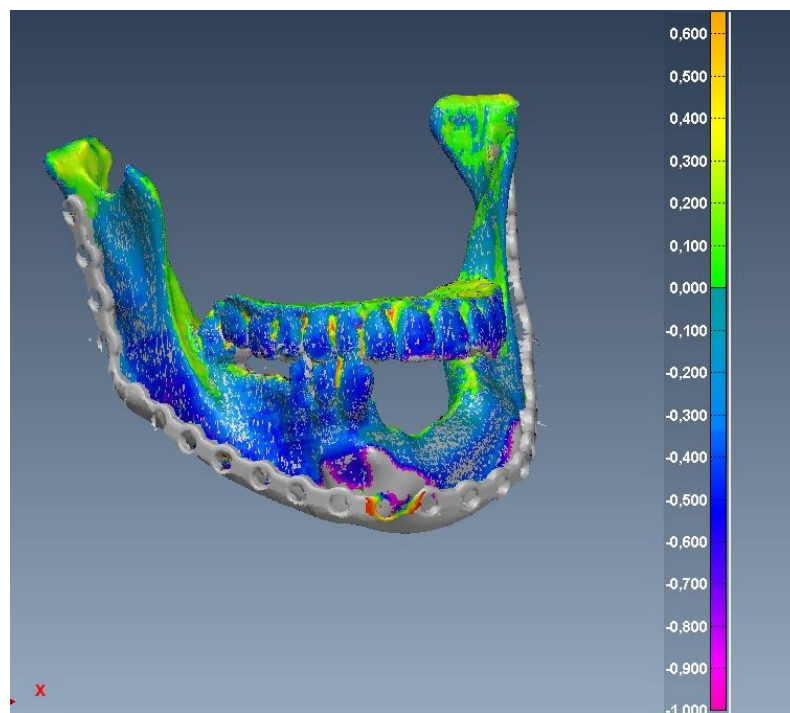


Figura 5: modelo tridimensional obtido após processamento com o scanner.

Fonte: elaborado pela própria autora, 2018.

Após análise comparativa no software Polyworks Inspector Premium do protótipo com a tomografia, pode se concluir que a reprodutibilidade com a impressão teve alta precisão. Na mensuração em milímetros, os dados não mostraram diferenças significativas, com o desvio geométrico na faixa de 0 a 0,5mm. A Figura 6 exemplifica os dados.

Figura 6: Guia de cores demonstrando a deformação no protótipo em comparação com a tomografia.



Fonte: elaborado pela própria autora, 2018.

6 DISCUSSÃO

O exame de imagem que tem a melhor indicação para esse estudo é a tomografia computadorizada. Através dela pode se obter com precisão a anatomia da mandíbula para a prototipagem (ADOLPHSet *al.*, 2013).

DIETRICH *et al.*, (2017); BARKER *et al.*, (1994); KAIM *et al.*, (2009) realizaram estudos que comprovam a precisão dos modelos de prototipagem rápida com os exames de imagens originais. Portanto, o cirurgião tem uma confiabilidade de reprodução com a anatomia real, o que proporciona um planejamento mais realístico e principalmente na ótima adaptação de placas pré-moldadas na manufatura de próteses.

Nesta sessão vamos apresentar diversos estudos demonstrando o uso de protótipos e suas diversas aplicações nos campos da medicina e odontologia.

6.1 Aplicações em medicina em geral

- Bioimpressão tridimensional refere-se a uma medicina regenerativa de tecnologia baseada em camadas, na qual células ou materiais baseados em células são distribuídos em finos arranjos espaciais para imitar os tecidos originais. As técnicas de *bioprinting* empregadas na engenharia de tecidos da pele variam de transferência direta induzida por laser até técnicas baseadas em extrusão. Vascularização de novos tecidos e ligação biológica são grandes desafios. O progresso nesse campo multidisciplinar requer interações próximas entre cientistas de materiais, engenheiros de tecidos e clínicos (CUNNIFFE *et al.*, 2017).
- O desenvolvimento de suportes tridimensionais bioativos 3D para apoiar a regeneração óssea (*scaffolds*) é uma área de foco fundamental dentro da engenharia de tecido ósseo. Uma variedade de materiais e métodos de fabricação, incluindo impressão 3D, tem sido usada para criar novas

alternativas aos enxertos ósseos tradicionais. No entanto, grupos individuais de materiais, incluindo polímeros, cerâmicas e hidrogéis foram incapazes de replicar completamente as propriedades do osso quando usado sozinho. As propriedades favoráveis do material podem ser combinadas e a bioatividade melhorada quando grupos de materiais são usados juntos em *scaffolds* 3D compostos. Exemplos de compostos: ácido hialurônico, quitosana, policaprolactona, seda, (ácido láctico-co-glicólico) / composto de PLGA, polímeros (MURPHY *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2007).

- Fabricação de dispositivos para imobilização de membros em 3D de acordo com a anatomia e necessidade de cada paciente (BARONIO *et al.*, 2017).
- 3.1.4 A combinação de prototipagem rápida e tecnologias robóticas permitiram o advento das mãos protéticas funcionais. A impressão 3D permite a criação de próteses personalizadas, leves, ajustáveis e acessíveis, especialmente para as crianças em crescimento. Essas soluções de custo relativamente baixo podem ser úteis mesmo em países em desenvolvimento (XU, G *et al.*, 2017).
- Construção de protótipos para cranioplastia com estereolitografia, que proporcionam um encaixe perfeito no crânio, redução do tempo operatório e redução de infecções pós-cirúrgicas, além de possibilitar que o paciente entenda a cirurgia ao visualizar a técnica de manufatura (D'URSO *et al.*, 2000; MENDEZ *et al.*, 2015).

6.2 Aplicações em cirurgia bucomaxilofacial

- Suomalainen *et al.*, (2011) fez um estudo no Hospital Central da Universidade de Helsinque durante os anos de 2009 à 2010 para avaliar retrospectivamente a indicação para o uso de modelos prototipagem rápida na cirurgia oral e maxilofacial. Além disso, o método de tomografia

computadorizada multislice ou de feixe cônico foi avaliado. No total 114 modelos prototipagem rápida foram fabricados para 102 pacientes. A idade média dos pacientes no momento da produção do modelo foi de 50,4 anos. As indicações para a modelagem incluíram lesões malignas (29%), reconstrução secundária (25%), tratamento prostodôntico (22%), cirurgia ortognática ou assimetria (13%), lesões benignas (8%) e distúrbios da ATM (4%). Exame de tomografia multislice foi usado em 92 e exame de tomografia com feixe cônico em 22 casos. A maioria dos modelos (75%) eram modelos convencionais de tecido duro. Modelos com tumor colorido ou outra estrutura de interesse foram solicitados em 24%. Dois dos 114 modelos eram modelos de tecidos moles. Foi concluído que o principal benefício dos modelos foi no planejamento de tratamento e em conexão com a produção de placas pré-dobradas ou implantes personalizados. Os biomodelos facilitam e melhoram o planejamento do tratamento e a eficiência intraoperatória.

- Uma reconstrução anatômica do contorno da mandíbula é de grande importância no que diz respeito à reabilitação protética subsequente. Para alcançar este resultado protético ideal, o planejamento prospectivo da reconstrução deve ser realizado. O uso de modelos mandibulares fabricados no período pré-operatório por meio de manufatura aditiva é utilizado para a preparação de placas de reconstrução antes da ressecção e reconstrução mandibular com retalhos ósseos microvasculares. Alterações na forma da mandíbula podem alterar a natureza da oclusão remanescente ou, em pacientes desdentados, podem trazer a articulação temporomandibular para uma posição atípica. Adaptar uma placa de reconstrução à mandíbula antes da ressecção, com a descontinuidade resultante alterando sua forma, pode resolver esse problema e, além disso, também pode ser usada para a fixação de enxertos. Placas de reconstrução por flexão podem consumir muito tempo, especialmente em grandes defeitos, onde uma grande distância deve ser preenchida. Por isso, alguns cirurgiões usam mini placas, o que resulta em uma fixação menos rígida. Isso torna mais difícil a reorientação precisa da mandíbula, especialmente em pacientes desdentado (MCCANN *et al.*, 2018; SCHEPERS *et al.*, 2015).

- Coward (1999) já utilizava estereolitografia para a fabricação de modelos de partes da face em cera para o processo de manufatura de próteses maxilofacial, representando facilidades na obtenção de uma anatomia perfeita devido a possibilidade de espelhamento, por exemplo, de orelha.
- Impressão de protótipos para planejamento de exérese de tumores em região maxilofacial, assim como a visualização das osteotomia e a melhor técnica de abordagem (STOOR *et al.*, 2017; TORABI *et al.*, 2015; VELASCO *et al.*, 2017).
- Foi realizada uma revisão sistemática que forneceu uma visão geral de estudos sobre técnicas de autotransplante usando prototipagem rápida para pré-operatório de fabricação de réplicas de dentes doadores para a preparação do novo alvéolo. O estudo de caso-controle relatou uma diminuição significativa no tempo extra oral e altas taxas de sucesso com o uso de réplicas de dentes de doadores. Em conclusão, o uso de um guia cirúrgico pré-operatório para o autotransplante permite um planejamento posicional preciso, aumenta a facilidade da cirurgia e diminui o tempo extra oral.

Nesse caso é importante salientar o aprimoramento de uma técnica cirúrgica que atualmente está em desuso pela difusão dos implantes, porém é um meio que o cirurgião pode ter como opção. A ideia de inovação e aprimoramento é o que deve ser buscada ao propor novas tecnologias e principalmente como essas podem facilitar o dia a dia do cirurgião dentista (VERWEIJ *et al.*, 2017, 2018).
- Para a reconstrução de mandíbula após a ressecção, atualmente tem se tido como padrão a técnica de enxertia concomitante a instalação da placa de reconstrução com enxertos microvascularizados autógenos livre de fíbula, podendo ser opção também os enxertos com crista ilíaca. Os resultados

apresentados na literatura mostram um ganho real para o paciente para melhores possibilidades do tratamento reabilitar posterior a ressecção (LETHAUS *et al.*, 2012 ; LUNARDI *et al.*, 2001 PORTINHO *et al.*, 2015).

7 CONCLUSÃO

Pesquisas no campo da prototipagem rápida em cirurgia estão sempre buscando um aprimoramento da técnica de impressão para facilitar o cotidiano do cirurgião. As inovações e o surgimento de possibilidades inusitadas de aplicações dos biomodelos são relatadas cada vez mais pelos artigos publicados recentemente.

A diminuição do tempo operatório tem importância fundamental para a aplicação dessa tecnologia para os planejamentos cirúrgicos. Por se tratar de procedimentos geralmente com um tempo de duração já longos, o ganho de agilidade para a equipe no transoperatório realmente fornece benefícios. Possivelmente o maior benefício seja para o paciente no sentido de diminuição dos riscos de infecção pós-operatória, menor tempo de anestesia e de morbidade tecidual.

Para a realização desse estudo foi necessário a colaboração de vários profissionais para que o resultado dos protótipos fosse satisfatório. A necessidade de um operador qualificado para o software de desenho assim como o operador da impressora 3D foi necessária. Sendo assim, o cirurgião bucomaxilofacial ou profissional da área de saúde que não tem capacidade de manipulação dos sistemas deverá ter um profissional qualificado para ajudar.

Nesse estudo foi importante a participação do cirurgião no momento de manipulação das imagens para elaborar a mandíbula sem o tumor já que o operador do software não tem conhecimentos anatômicos suficiente para desenhar o biomodelo de forma o mais próximo de um contorno normal de mandíbula.

A dobra da placa foi realizada de forma apropriada, tendo o protótipo de molde cumprindo com a finalidade destinada, o que facilitou reproduzir um contorno adequado e boa adaptação da placa.

Pesquisas nos campos da engenharia e cirurgia devem ser sempre incentivadas para a melhoria dos processos de fabricação dos protótipos, visto que, os custos para esse tipo de tecnologias estão ficando menores.

Os protótipos produzidos obtiveram um grau excelente de aproximação da anatomia real após a etapa de escaneamento de superfície, visto que o parâmetro utilizado de mensuração foi a tomografia.

REFERÊNCIAS

1. ADOLPHS, Nicolai et al. Craniomaxillofacial surgery planning based on 3D models derived from Cone-Beam CT data. **Computer Aided Surgery**, v. 18, n. 5-6, p. 101-108, 2013.
2. BAGLIOTTI, Iago Rotondo; GASPAROTTO, Angelita Moutin Segoria. O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UMA IMPRESSORA 3D DE BAIXO CUSTO REPRAP COM TECNOLOGIA FUSED FILAMENT FABRICATION. **Revista Interface Tecnológica**, v. 14, n. 1, p. 15-15, 2017.
3. BARKER, T. M.; EARWAKER, W. J. S.; LISLE, D. A. Accuracy of stereolithographic models of human anatomy. **Australasian Radiology**, v. 38, n. 2, p. 106-111, 1994.
4. BARONIO, Gabriele; VOLONGHI, Paola; SIGNORONI, Alberto. Concept and design of a 3D printed support to assist hand scanning for the realization of customized orthosis. **Applied bionics and biomechanics**, v. 2017, 2017.
5. BIANCHI, Bernardo et al. Mandibular resection and reconstruction in the management of extensive ameloblastoma. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, v. 71, n. 3, p. 528-537, 2013.
6. BOYD, J. Brian. Use of reconstruction plates in conjunction with soft-tissue free flaps for oromandibular reconstruction. **Clinics in Plastic Surgery**, v. 21, n. 1, p. 69-77, 1994.
7. COWARD, Trevor J.; WATSON, Roger M.; WILKINSON, Ian C. Fabrication of a wax ear by rapid-process modeling using stereolithography. **International Journal of prosthodontics**, v. 12, n. 1, 1999.
8. CUNNIFFE, Gráinne M. et al. Three-Dimensional bioprinting of polycaprolactone reinforced gene activated bioinks for bone tissue engineering. **Tissue Engineering Part A**, v. 23, n. 17-18, p. 891-900, 2017.
9. DIETRICH, Christian Andreas et al. A validation study of reconstructed rapid prototyping models produced by two technologies. **The Angle Orthodontist**, v. 87, n. 5, p. 782-787, 2017.
10. D'URSO, Paul S. et al. Custom cranioplasty using stereolithography and acrylic. **British Journal of Plastic Surgery**, v. 53, n. 3, p. 200-204, 2000.
11. GOIATO, Marcelo Coelho et al. Prototyping for surgical and prosthetic treatment. **Journal of Craniofacial Surgery**, v. 22, n. 3, p. 914-917, 2011.
12. KAIM, Achim H. et al. Preoperative accuracy of selective laser sintering (SLS) in craniofacial 3D modeling: comparison with patient CT data. **RoFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin**, v. 181, n. 7, p. 644-651, 2009.
13. LAL, Hitesh; PATRALEKH, Mohit Kumar. 3D printing and its applications in orthopaedic trauma: A technological marvel. **Journal of clinical orthopaedics and trauma**, 2018.
14. LETHAUS, Bernd et al. Additive manufacturing for microvascular reconstruction of the mandible in 20 patients. **Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery**, v. 40, n. 1, p. 43-46, 2012.

15. LUNARDI, L. V. et al. Tratamento cirúrgico do ameloblastoma com reconstrução de mandíbula com enxerto de crista ilíaca não vascularizado-estudo de sete casos. **Rev Col Bras Cir**, v. 28, n. 1, p. 9-12, 2001.
16. MCCANN, Adam C. et al. Comparison of Modern Rigid Fixation Plating Outcomes for Segmental Mandibular Microvascular Reconstruction. **The Laryngoscope**, 2018.
17. MENDEZ, Bernardino M.; CHIODO, Michael V.; PATEL, Parit A. Customized “In-Office” three-dimensional printing for virtual surgical planning in craniofacial surgery. **Journal of Craniofacial Surgery**, v. 26, n. 5, p. 1584-1586, 2015.
18. MEURER, Maria Inês et al. Acquisition and manipulation of computed tomography images of the maxillofacial region for biomedical prototyping. **Radiologia Brasileira**, v. 41, n. 1, p. 49-54, 2008.
19. MURPHY, Caroline et al. 3D bioprinting of stem cells and polymer/bioactive glass composite scaffolds for bone tissue engineering. 2017.
20. NETO, Grande; SALVADOR, Newton. Utilização de material alternativo para a obtenção e caracterização de biomodelos, por meio da técnica de impressão 3DPRINTER. 2016.
21. OLIVEIRA, Marcelo F. et al. Construção de Scaffolds para engenharia tecidual utilizando prototipagem rápida. **Revista Matéria**, v. 12, n. 2, p. 373-382, 2007.
22. PATEL SG, SHAH JP. Tumors of the oropharynx. **Shah JP**. p.127. 2001.
23. PORTINHO, Ciro Paz et al. Reconstrução microcirúrgica de mandíbula com retalho livre de fíbula. **Revista da AMRIGS**, v. 59, n. 1, p. 39-54, 2015.
24. SCHEPERS, Rutger H. et al. Accuracy of fibula reconstruction using patient-specific CAD/CAM reconstruction plates and dental implants: a new modality for functional reconstruction of mandibular defects. **Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery**, v. 43, n. 5, p. 649-657, 2015.
25. STOETZER, Marcus et al. Reconstruction of defects of maxillary sinus wall after removal of a huge odontogenic lesion using prebended 3D titanium-mesh and CAD/CAM technique. **Head & face medicine**, v. 7, n. 1, p. 21, 2011.
26. STOOR, Patricia et al. Rapid prototyped patient specific guiding implants in critical mandibular reconstruction. **Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery**, v. 45, n. 1, p. 63-70, 2017.
27. STURLA, F.; ABNSI, D.; BUQUET, J. Anatomical and mechanical considerations of craniofacial fractures: an experimental study. **Plastic and reconstructive surgery**, v. 66, n. 6, p. 815-820, 1980.
28. SUOMALAINEN, Anni et al. Rapid prototyping modelling in oral and maxillofacial surgery: A two year retrospective study. **Journal of clinical and experimental dentistry**, v. 7, n. 5, p. e605, 2015.
29. TORABI, Kianoosh; FARJOOD, Ehsan; HAMEDANI, Shahram. Rapid prototyping technologies and their applications in prosthodontics, a review of literature. **Journal of Dentistry**, v. 16, n. 1, p. 1, 2015.

30. ULBRICH, C. B. L. et al. Considerações Sobre o Uso da Prototipagem Rápida Metálica na Fabricação Direta de Implantes Femorais Personalizados. Anais. In: **Quarto Congresso Latino Americano de Órgãos Artificiais e Biomateriais**. 2006.
31. VAISHYA, Raju et al. Three-dimensional printing for complex orthopedic cases and trauma: a blessing. **Apollo Medicine**, v. 15, n. 2, p. 51, 2018.
32. VELASCO, Ignacio; VAHDANI, Soheil; RAMOS, Hector. Low-cost method for obtaining medical rapid prototyping using desktop 3d printing: a novel technique for mandibular reconstruction planning. **Journal of clinical and experimental dentistry**, v. 9, n. 9, p. e1103, 2017.
33. VERWEIJ, J. P. et al. Autotransplantation of teeth using computer-aided rapid prototyping of a three-dimensional replica of the donor tooth: a systematic literature review. **International journal of oral and maxillofacial surgery**, 2017.
34. VERWEIJ, J. P. et al. Replacing heavily damaged molars with the use of 3D-techniques. **Nederlands tijdschrift voor tandheelkunde**, v. 125, n. 1, p. 21-26, 2018.
35. XU, Guisheng et al. Three-dimensional-printed upper limb prosthesis for a child with traumatic amputation of right wrist. **Medicine**, v. 96, n. 52, p. e9426-e9426, 2017.