



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I  
NÚCLEO DE TECNOLOGIAS ESTRATÉGICAS EM SAÚDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM SAÚDE**

**MÁRIO CÉSAR FURTADO DA COSTA**

**ELABORAÇÃO DE PROTOCOLO PARA EDIÇÃO DE IMAGENS UTILIZADAS NA  
MANUFATURA ADITIVA EM CIRURGIA E TRAUMATOLOGIA  
BUCOMAXILOFACIAL**

**CAMPINA GRANDE-PB  
2018**

**MÁRIO CÉSAR FURTADO DA COSTA**

**ELABORAÇÃO DE PROTOCOLO PARA EDIÇÃO DE IMAGENS UTILIZADAS NA  
MANUFATURA ADITIVA EM CIRURGIA E TRAUMATOLOGIA  
BUCOMAXILOFACIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia em Saúde da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito para obtenção de título de Mestre em Ciência e Tecnologia em Saúde.

**Orientador:** Prof. Dr. Rafael Grotta Gempel

**CAMPINA GRANDE-PB  
2018**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

C837e Costa, Mario César Furtado da.  
Elaboração de protocolo para edição de imagens utilizadas na manufatura aditiva em cirurgia e traumatologia bucomaxilofacial [manuscrito] / Mario César Furtado da Costa. - 2018.  
45 p. : il. colorido.  
Digitado.  
Dissertação (Mestrado em Profissional em Ciência e Tecnologia em Saúde) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, 2018.  
"Orientação : Prof. Dr. Rafael Grotta Gempel, Departamento de Odontologia - CCBS."  
1. Impressão Tridimensional. 2. Processamento de Imagem. 3. Imagem computadorizada. 4. Trato bucomaxilofacial. I. Título

21. ed. CDD 611.314

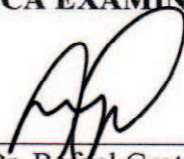
**MÁRIO CÉSAR FURTADO DA COSTA**

**ELABORAÇÃO DE PROTOCOLO PARA EDIÇÃO DE IMAGENS UTILIZADAS NA  
MANUFATURA ADITIVA EM CIRURGIA E TRAUMATOLOGIA  
BUCOMAXILOFACIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia em Saúde da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito para obtenção de título de Mestre em Ciência e Tecnologia em Saúde.

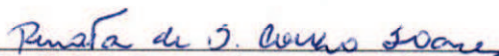
**Orientador:** Prof. Dr. Rafael Grotta Gempel

**BANCA EXAMINADORA**



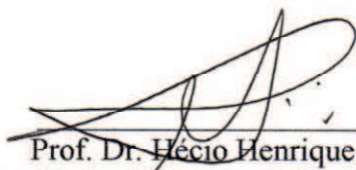
---

Prof. Dr. Rafael Grotta Gempel  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



---

Prof. Dr. Renata de Souza Coelho Soares  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



---

Prof. Dr. Hécio Henrique Araújo de Moraes  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)



*Dedico este trabalho a DEUS, pela força e sabedoria a mim  
invertidos.*

*Aos meus pais e minha esposa, que não mediram esforços  
para que eu concluísse mais esta etapa de minha vida.*

*A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em  
Ciência e Tecnologia em Saúde da Universidade Estadual da  
Paraíba, e em especial ao PROF<sup>o</sup>. DR. RAFAEL GROTTA  
GREMPEL, pelos ensinamentos, paciência e confiança.*

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS por proporcionar-me a conclusão de mais uma etapa de minha vida.

A MINHA FAMÍLIA e AMIGOS, em especial aos meus pais SEBASTIÃO CORREIA DA COSTA e IARA BISPO FURTADO DA COSTA pelo grande apoio que me deram durante o curso e em minha vida.

A MINHA ESPOSA, ANA CLÁUDIA MARTINS BRITO FURTADO DA COSTA, pelo incentivo e cumplicidade em todos os momentos.

Aos professores DR. RAFAEL GROTTA GREMPEL, DR. HÉCIO HENRIQUE ARAÚJO DE MORAIS, DR<sup>a</sup>. NADJA MARIA DA SILVA OLIVEIRA e DR<sup>a</sup>. RENATA DE SOUZA COELHO SOARES, pelo incentivo, orientação e pela afinidade de nossa amizade.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia em Saúde da Universidade Estadual da Paraíba, pela atenção dispensada no decorrer do curso, pela paciência e pela incansável disposição em colaborar e ajudar a todos.

A todos os COLEGAS de turma e profissão, pelos agradáveis momentos vividos e pelo grande elo de amizade formado.

Os meus agradecimentos!

## RESUMO

A utilização do planejamento virtual e impressão de biomodelos, possibilita a melhoria nos resultados dos procedimentos cirúrgicos da Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial. Essa metodologia de trabalho busca investigar erros no planejamento e execução da cirurgia, proporcionando resultados satisfatórios funcionais e estéticos para o paciente. Esse trabalho criou um protocolo de planejamento virtual associado ao uso da Manufatura Aditiva, com o propósito de facilitar o gerenciamento dos procedimentos cirúrgicos utilizando os softwares livres InVesalius, Blender e Meshlab. Dessa forma, apresenta-se um passo a passo desse protocolo para criação e edição de imagens em formato STL, adquiridas através de imagens DICOM provenientes de tomógrafos, permitindo aos cirurgiões realizarem seus planejamentos cirúrgicos e permitam a impressão dos respectivos biomodelos. Esse recurso torna acessível aos profissionais da saúde o tratamento e modelagem 3D de imagens, para o uso na Manufatura Aditiva.

**Palavras-Chave:** Processamento de Imagem Assistida por Computador. Imagem Tridimensional. Impressão Tridimensional.

## ABSTRACT

The use of virtual planning and impression of biomodels allows the improvement of the results of the surgical procedures of Buccomaxillofacial Surgery and Traumatology. This work methodology seeks to investigate errors in the planning and execution of the surgery, providing satisfactory functional and aesthetic results for the patient. This work created a virtual planning protocol associated to the use of the Additive Manufacturing, with the purpose of facilitating the management of the surgical procedures using the free software InVesalius, Blender and Meshlab. Thus, a step-by-step protocol for the creation and editing of images in STL format, acquired through DICOM images from tomographs, is presented, allowing surgeons to perform their surgical planning and allow the respective biomodels to be printed. This feature makes healthcare professionals accessible to 3D image processing and modeling for use in Additive Manufacturing.

**Keywords:** Image Processing, Computer-Assisted. Imaging, Three-Dimensional. Printing, Three-Dimensional.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 01 -</b>	Biomodelo produzido no LABTEC3D/NUTES/UEPB com simulação de osteossíntese .....	15
<b>Figura 02 -</b>	Imagem de uma reconstrução 3D a partir de imagens tomográficas DICOM.....	17
<b>Figura 03 -</b>	Impressora Objet Connex350, modelo de fotopolímero instalada no LABTEC3D/NUTES/UEPB.....	19
<b>Figura 04 -</b>	Impressora UPRINT SE PLUS 3D PRINTER, modelo de PLA/ABS instalada no LABTEC3D/NUTES/UEPB.....	19
<b>Figura 05 -</b>	Reconstrução 3D e as vistas axial, sagital e coronal no software InVesalius .....	29
<b>Figura 06 -</b>	Imagem STL da superfície formada através das vistas axial, sagital e coronal.....	30
<b>Figura 07 -</b>	Mandíbula separada do crânio .....	31
<b>Figura 08 -</b>	Mandíbula completamente separada do crânio e de ruídos da imagem ..	32
<b>Figura 09 -</b>	Imagem da mandíbula no software Blender .....	33
<b>Figura 10 -</b>	Corte realizado na metade da mandíbula onde estava localizada a lesão.....	34
<b>Figura 11 -</b>	Seleção da imagem para ser espelhada e seu espalhamento .....	35
<b>Figura 12 -</b>	Imagem original e espelhada unidas em um só sólido .....	35
<b>Figura 13 -</b>	Imagem da mandíbula espelhada no software MeshLab .....	36
<b>Figura 14 -</b>	Mostrando a imagem espelhada da mandíbula (lado esquerdo) e a imagem da mandíbula original .....	37

## LISTAS DE TABELAS

<b>Tabela 1 -</b>	Características dos processos de manufatura aditiva.....	18
<b>Tabela 2 -</b>	Softwares utilizados para aquisição do protocolo para edição de imagens...	25
<b>Tabela 3 -</b>	Especificação de espessura e espaçamento.....	27

## LISTAS DE FLUXOGRAMAS

<b>Fluxograma 01 -</b>	Descrição das atividades executadas.....	24
<b>Fluxograma 02 -</b>	Sequência de utilização dos softwares para tratamento de imagens....	28

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>CAD</b>	Computer -aided Design (desenho assistido por computador)
<b>3DP</b>	3D Printing (impressão 3D)
<b>AM</b>	Additive Manufacturing (manufatura aditiva)
<b>BIREME</b>	Centro Latino-Americano e do Caribe de Informação em Ciências da Saúde
<b>CAM</b>	Computer-aided Manufacturing (manufatura assistida por computador)
<b>CITTA</b>	Centro de Inovação Tecnológica Telmo Araújo
<b>CRO</b>	Conselho Regional de Odontologia
<b>CTBMF</b>	Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial
<b>CTCC</b>	Centro Tecnológico de Couro e Calçado
<b>DICOM</b>	Digital Imaging and Communications in Medicine
<b>DMLS</b>	Sinterização direta de metal a laser
<b>EBM</b>	Electron Beam Melting (Fusão por feixe de elétrons)
<b>ETRE</b>	Escola Técnica Redentorista de Eletroeletrônica
<b>FAP</b>	Fundação Assistencial da Paraíba
<b>FAPESQ</b>	Fundação de Apoio à Pesquisa
<b>FDM</b>	Fused Deposition Modeling (Deposição de material fundido)
<b>LSM</b>	Laser Selective Melting (Fusão seletiva a laser)
<b>NUTES</b>	Núcleo de Tecnologias Estratégicas em Saúde
<b>PaqTcPB</b>	Fundação Parque tecnológico da Paraíba
<b>RM</b>	Ressonância magnética
<b>SLA</b>	Stereolithography
<b>STL</b>	Stereolithography (Standard Triangle Language)
<b>TC</b>	Tomografia Computadorizada
<b>UFCG</b>	Universidade Federal de Campina Grande
<b>VIRTUS</b>	Núcleo de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em Tecnologia da Informação, Comunicação e Automação



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	14
2.1 Contextualização na CTBMF .....	14
2.2 Contextualização no campo da Tecnologia .....	14
2.2.1 Diagnóstico por imagem .....	15
2.2.1.1 Tomografia Computadorizada aplicada na MA.....	16
2.2.2 Manufatura Aditiva .....	18
2.2.3 Softwares 3D .....	20
2.2.3.1 Liberdades do Software Livre .....	21
<b>3 PROBLEMA DA PESQUISA</b> .....	21
<b>4 OBJETIVOS</b> .....	21
4.1 Geral .....	21
4.2 Específicos .....	21
<b>5 METODOLOGIA</b> .....	21
5.1 Delineamento da pesquisa .....	21
5.2 Descrição das etapas .....	22
<b>6 RESULTADOS</b> .....	25
6.1 Requisitos funcionais e não funcionais para seleção dos softwares.....	25
6.1.1 Tratamento de imagens DICOM .....	25
6.1.2 Tratamento de imagens STL .....	25
6.2 Descrição dos Softwares selecionados .....	26
6.2.1 In vesalius .....	26
6.2.2 Meshlab .....	26
6.2.3 Blende .....	26
<b>7 Requisitos e sequência para Aquisição de Imagens</b> .....	27
7.1 Requesitos para Aquisição de Imagens Tomográficas .....	27
<b>8 Protocolo e sequência de utilização dos softwares</b> .....	28
8.1 Utilizando o Invesalius .....	29
8.2 Utilizando o Blender .....	32
8.3 Utilizando o MeshLab .....	36
<b>9 Resultados e Discussão</b> .....	37
<b>10 Conclusão</b> .....	40
<b>11 REFERÊNCIAS</b> .....	41

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente busca pela excelência no diagnóstico e tratamento das alterações do Complexo Bucomaxilofacial, tem incentivado um aumento substancial no uso de ferramentas computacionais que auxiliam no aprimoramento dos processos de análise e simulação. Além disso, com o surgimento e inclusão da Impressão 3D nessa área, a demanda e oferta de softwares CAD (*Computer-Aided Design*) disponíveis no mercado, tem aumentado substancialmente, tornando a escolha de softwares adequados para processar e manipular estruturas tridimensionais, um grande desafio para os profissionais da saúde (DUTRA *et al.*, 2017).

Esses softwares geralmente utilizam arquivos em formato DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*), obtidos a partir de exames de imagens como a Tomografia Computadorizada (TC) ou Ressonância Magnética (RM). Essa extensão de arquivo possibilita visualizar uma imagem tridimensional a partir de uma coleção de imagens em duas dimensões, que servem como base para a construção de malhas poligonais correspondentes (BENASSAROU *et al.*, 2017).

A concepção de modelos 3D, torna possível construir/elaborar uma réplica anatômica do paciente, que pode ser utilizada para a avaliação diagnóstica e planejamento de técnicas cirúrgicas, servindo ainda como ferramenta que facilita a comunicação entre profissional e paciente, possibilitando a oportunidade de visualizar e ter em mãos as estruturas de interesse cirúrgico antes do procedimento. Permite ainda, o estudo do modelo, buscar entender e melhorar a sua funcionalidade, podendo servir como base para elaboração de projetos personalizados (DUTRA *et al.*, 2017).

Entretanto, a obtenção de modelos tridimensionais das regiões ósseas da face, é uma atividade complexa, devido à difícil compreensão geométrica dessa região. Por esse motivo, tem-se proposto a elaboração e desenvolvimento de ferramentas e metodologias para a geração de imagens tridimensionais. Para realizar a manipulação dessas imagens, são necessários softwares específicos, que sejam capazes de processar os arquivos em formato DICOM, bidimensionais, e convertê-los em um modelo tridimensional no formato STL (*Stereolithography*). A integração da tecnologia de dados no formato STL, ao serem enviados para estações de manufatura aditiva (MA), através do sistema CAM (*Computer-aided Manufacturing*), possibilitam a criação das imagens virtuais que dão origem a objetos reais, por meio da manufatura aditiva (MA), obtendo-se biomodelos compatíveis com a anatomia do paciente (GREGOLIN, 2017).

A MA, é definida como a técnica de fabricação de peças pelo método aditivo, em um modelo 3D gerado em um sistema CAD, que é seccionado em perfis 2D, e em seguida construídos pela impressora tridimensional camada a camada. Diversas técnicas estão disponíveis, tais como: estereolitografia (SLA), sinterização direta de metal a laser (DMLS), fusão seletiva a laser (LSM), deposição de material fundido (FDM), impressão 3D (3DP) e fusão por feixe de elétrons (EBM).

Essa tecnologia possui muitas aplicações na Odontologia, principalmente nas especialidades de Implantodontia e Cirurgia e Traumatologia Bucocomaxilofacial (CTBMF). Dentre as vantagens existentes na utilização dessas novas tecnologias, destacam-se a diminuição do tempo cirúrgico e um melhor resultado estético e funcional, devido à possibilidade de mensuração e previsão do tratamento, possibilitando maior previsibilidade da cirurgia (MAZZONETTO *et al.*, 2010).

A aquisição das imagens de TC ou RM, para confecção de biomodelos do complexo Bucocomaxilofacial, deve seguir um protocolo específico, que envolve alguns aspectos importantes, como o posicionamento da cabeça no equipamento e a necessidade de mantê-la imóvel, sem contato dentário, delimitação da região anatômica a ser englobada no exame (1cm acima e abaixo da área de interesse), a espessura dos cortes (no máximo 1,25mm) e o formato no qual as imagens podem ser salvas. A precisão dos biomodelos depende diretamente das aquisições seguindo os parâmetros específicos de cada caso (SANTOS *et al.*, 2017).

Complementando o protocolo de aquisição das imagens de TC, Sugar *et al.* (2004) e Winder e Bibb (2005), afirmam que cortes de até 0,25mm de espessura podem ser obtidos utilizando-se tomógrafos helicoidais mais modernos. Dessa forma, quanto menor a espessura do corte, maior será a fidelidade dos biomodelos ao copiarem a anatomia humana.

Outro grande benefício é o aumento da precisão cirúrgica, com a possibilidade de reduzir cada vez mais as iatrogenias e problemas secundários em cirurgias. Podemos contar, graças à tecnologia da reconstrução tridimensional, com um completo planejamento cirúrgico através da criação de um biomodelo, com a possibilidade de antever e simular o procedimento e criar guias cirúrgicos que auxiliem na execução da cirurgia conforme planejada (GREGOLIN, 2017).

Além de todas as vantagens citadas no uso da tecnologia 3D, associada à manufatura, pode-se citar independência do processo de impressão com relação à complexidade da peça a ser produzida (impressa), pois o componente é fabricado em uma única etapa do processo,

construído em um único equipamento do início ao fim. É realizado de forma praticamente automática por sistemas dedicados específicos (VOLPATO, 2007).

O objetivo desse estudo foi o desenvolvimento de um protocolo para tratamento e edição de imagens DICOM e processamento de dados no formato STL, a ser utilizado no planejamento das Cirurgias e Traumatologias Bucomaxilofaciais, e para aplicação na manufatura aditiva com a utilização do sistema de tecnologia CAD e CAM.

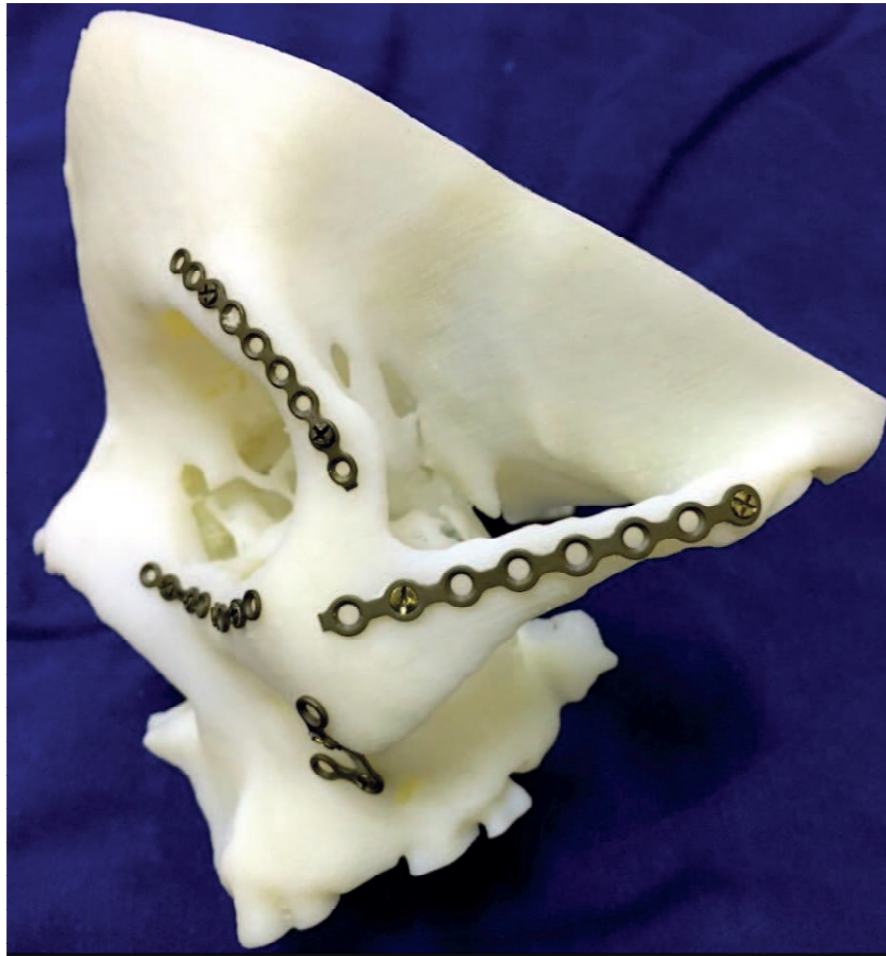
## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Contextualização na CTBMF**

A Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial (CTBMF), vem mostrando um progresso notório nos últimos anos, resultado do desenvolvimento de novos materiais e do emprego de novas tecnologias. Apesar disso, a falta de informação torna esse progresso estagnado, principalmente quando envolve profissionais da área da saúde, entre os quais se encontram as principais fontes de encaminhamento e orientação de tratamento nas diversas áreas de atuação dessa especialidade (MAZZONETTO *et al.*, 2010).

O tratamento cirúrgico da Traumatologia Bucomaxilofacial envolve, frequentemente, cirurgias múltiplas, sendo algumas de alto custo. Entretanto, em alguns casos, os resultados obtidos não são satisfatórios e, assim, os órgãos ligados ao atendimento da saúde e os profissionais envolvidos, tem se preocupado continuamente com o desenvolvimento de novas formas de diagnóstico e tratamento destas deformidades. O rápido desenvolvimento tecnológico do último século, trouxe modificações de suma importância às mais variadas áreas da saúde, notadamente na Odontologia (MORAWSKI *et al.*, 2017).

**Figura 01** - Biomodelo produzido no LABTEC3D/NUTES/UEPB com simulação de osteossíntese.



**Fonte:** Próprio autor.

## **2.2 Contextualização no campo da tecnologia**

### **2.2.1 Diagnóstico por imagem (Imaginologia médico-odontológica)**

A Imaginologia médico-odontológica trata de conjuntos de métodos de aquisição de imagens digitalizadas e são agrupados de acordo com a metodologia de aquisição. Existem os métodos diretos (imagens adquiridas por intermédio de sensores ou placas de captura à base de fósforo) e indiretos (utilizando scanners com leitores de transparência, possibilitando a digitalização da radiografia), no qual o método escolhido impactará diretamente na resolução espacial e no alcance dinâmico da imagem, características estas, determinantes para a qualidade final da imagem (SCHAAFS, 2016).

Tais métodos conseguem registrar a transferência de energia pelos tecidos biológicos e sua distribuição no tempo e espaço. Dependendo da forma de energia, as reações são distintas e determinantes no que se diz respeito à informação gerada (PATINI, 2016).

Nos primórdios do diagnóstico por imagem, a predominância da Física e da Anatomia foram claros, principalmente na Física, nos estudos sobre as fontes de energia, detecção e registro de radiações ionizantes (ou não ionizantes), contribuindo com o desenvolvimento dos equipamentos existentes, que trabalhavam na faixa de centímetros e milímetros (PITTSCHIELER, 2016).

Num segundo momento desse ciclo, foi percebido uma maior imersão nos campos da biologia e da química, que trataram principalmente do surgimento de meios de contrastes e agentes moleculares (tecido/receptor específico), focando numa incorporação metabólica de tais agentes que, agregados aos avanços tecnológicos dos equipamentos, tornou possível atingir resoluções nas faixas de micrômetros e nanômetros. (SIMAL, 2012) (ZHOU, 2016).

A atuação da informática nesse contexto, permitiu um grande avanço no diagnóstico por imagem, permitindo a aplicação de processamentos que direcionam o profissional a estudos tomográficos mais precisos, bem como, imagens tridimensionais. (SIMAL, 2012)

### **2.2.1.1 Tomografia Computadorizada aplicada na MA**

A tomografia computadorizada (TC) é uma ferramenta de diagnóstico já consolidada na área médico-odontológica e atualmente começa a ser utilizada como uma ferramenta para algo ainda mais inovador, a geração de modelos tridimensionais de órgãos ou estruturas ósseas dos pacientes, para uso na criação de biomodelos usados na Manufatura Aditiva. O uso de imagens tomográficas para geração de modelos 3D, tem despertado um grande interesse na área da saúde e na bioengenharia. Além da criação do biomodelo é possível, com o uso das imagens, a geração de modelos computacionais representativos, possibilitando com isso, a realização de diversas simulações e análises biomecânicas da região ou órgão de interesse, visando à fabricação de próteses ou órteses personalizadas (GREGOLIN, 2017).

A prótese é caracterizada como um dispositivo permanente ou transitório, que tem como objetivo a substituição total ou parcialmente um membro, órgão ou tecido. Podendo ser categorizada como: Implantada (Ex: implante dentário, prótese da articulação temporomandibular, coração artificial, válvula cardíaca, etc); não implantada, (Ex: prótese para membro); Estética, quando mantém apenas a forma e a estética, (Ex: prótese ocular, prótese



mamária, cosmética de nariz). Já a órtese pode ser caracterizada como um dispositivo permanente ou transitório, utilizado para auxiliar as funções de um membro, órgão ou tecido, evitando deformidades ou sua progressão e/ou compensando insuficiências funcionais, podendo ser classificada em: Interna: (Ex: material de síntese, instrumental para estabilização e fusão de ossos, marca-passo, etc); Externa: (Ex: muletas, colares cervicais, andadores, aparelhos auditivos, óculos, lentes de contato, aparelhos ortodônticos, etc) (NETO, 2018).

Na TC, para que a imagem possa ser interpretada como uma imagem anatômica, múltiplas projeções são realizadas a partir de diferentes ângulos. O software de posse dos dados obtidos nas diferentes projeções, constrói uma imagem digital formada por pixels. Cada elemento da imagem (pixel) se apresentará com um tom de cinza correspondente à sua densidade radiológica. Tecidos mais densos ou com elementos mais pesados, absorvem mais radiação que os tecidos menos densos, onde a imagem será formada de acordo com a quantidade de radiação absorvida por cada parte do corpo, sendo representado em escala de cinza, formadas por tonalidades entre branco, cinza e preto, sendo estas responsáveis pelo brilho da imagem gerada (FELIX et al., 2017).

A resolução da imagem depende da disposição e número de detectores, que irão gerar as informações, formando uma matriz de dados de “n” linhas por “n” colunas. A espessura do corte de uma imagem formada pela TC, está relacionada à profundidade do corte efetuado durante a tomografia computadorizada (FELIX et al., 2017).

**Figura 02** – Imagem de uma reconstrução 3D a partir de imagens tomográficas DICOM.



**Fonte:** Próprio autor.

## 2.2.2 Manufatura Aditiva

Manufatura aditiva compreende um processo de fabricação com aplicação crescente em diversas áreas e cadeias produtivas. Devido à flexibilidade para a produção e versatilidade de materiais, essa tecnologia é tida como capaz de revolucionar processos produtivos e de alterar estratégias de produção atualmente empregadas. Uma das principais características deste meio de produção é a redução do número de etapas e processos na fabricação de um produto, a economia de material e a possibilidade de combinações inéditas de geometrias e materiais (RODRIGUES et al., 2017).

Atualmente existem diferentes tecnologias, materiais e áreas de aplicações, com requisitos diferentes aplicados à MA podendo esta ser separada em quatro categorias, de acordo com o tipo de matéria prima utilizada na fabricação, podendo ser visualizado na Tabela 1: (i) líquido; (ii) filamento/pasta; (iii) pó; e (iv) placa sólida (MORETTO et al, 2016).

**Tabela 1 - Características dos processos de manufatura aditiva**

Matéria-prima	Processo	Material	Princípio	Aplicações
Líquido	Stereolithography (SLA)	Polímeros fotossensíveis	Produção de peças de polímero a partir da solidificação destes com um laser	Protótipos, moldes
	Multi-jet Modeling (MJM)	Acrílico fotossensível, plástico e cera	Produção de peças a partir da solidificação do material depositado por flash de uma iluminação ultravioleta (UV)	Protótipos, moldes
	Rapid Freezing Prototyping (RFP)	Água	Produção de peças a partir do congelamento das gotículas de água depositadas	Protótipos, moldes
Filamento/Pasta	Modelação por extrusão de plástico (FDM)	Termoplásticos	Produção de peças por extrusão do plástico por bico extrusor em uma base	Protótipos, moldes
	Robocasting	Pasta cerâmica	Produção de peças com a extrusão de pasta cerâmica	Objetos cerâmicos
	Freeze-form Extrusion Fabrication (FEF)	Pasta cerâmica e água	Produção de peças com a extrusão de pasta cerâmica aquosa	Objetos cerâmicos
Pó	Sinterização seletiva a laser (SLS)	Alumide; Carbon Fibre; PA 1101; PA2200/2201; PA 2221; PA2202; PA 2210; PA3200; PAEK; Polystyrene	Produção de peças por meio do processo de sinterização de camadas de pó	Protótipos; partes aeronáuticas; partes motoras automotivas; peças especiais para indústria; moldes
	Selective Laser Melting (SLM)	Stainless steel316L e 17-4PH; H13 tool steel; Aluminium Al-Si-12 e Al-Si-10; Titanium CP, Ti-6Al-4V e Ti-4Al-7Nb; Cobalt-chrome ASTM75; Inconel 718 e 625	Produção de peças de metal por meio da fusão de camadas de pó de metal por um laser	Implantes médicos; partes aeronáuticas; partes motores automotivos; trocadores calor; moldes; peças especiais para indústria
	Electron Beam Melting (EBM)	Cobalt-chrome ASTM F75; Titanium Ti-6Al-4V, Grade 2;	Produção de peças de metal por meio da fusão de camadas de pó de metal por um arco elétrico	Implantes médicos; partes aeronáuticas; partes automotivas
	Laser Metal	Polímeros, met vais,	Produção de peças pela	Protótipos, moldes,



	Deposition (LMD)/ Laser Engineered Net Shaping (LENS)/ Direct Metal Deposition (DMD)	cerâmica e outros pós	deposição de pó sobre uma base, que é unido seletivamente pela injeção de aglutinante	ferramental para indústria
	Impressão Tridimensional (3DP)	Polímeros, metais, cerâmica e outros pós	Produção de peças pela deposição de pó sobre uma base, que é unido seletivamente pela injeção de aglutinante	Protótipos, moldes, ferramental para indústria
<b>Placa sólida</b>	Manufatura de objeto em lâminas (LOM)	Papel, plástico, metal	Produção de peças pela união de uma camada de material laminado a uma série de outras lâminas conformadas	Protótipos e moldes

Adaptado de RODRIGUES, et al, 2017.

**Figura 03** - Impressora Objet Connex350, modelo de fotopolímero instalada no LABTEC3D/NUTES/UEPB



**Fonte:** <http://www.3dprinterscanada.com/connex-3d-printer-family-connex350.php>

**Figura 04** - Impressora UPRINT SE PLUS 3D PRINTER, modelo de PLA/ABS instalada no LABTEC3D/NUTES/UEPB.



**Fonte:** <http://www.3dilla.com/stratasys/uprint-se-plus/>

### 2.2.3 Softwares 3D

Os Softwares são caracterizados por serem uma interface que possibilita utilizar imagens obtidas e arquivadas bidimensionais (formato DICOM), interpretá-las, adequá-las e agrupá-las em uma imagem tridimensional (formato STL), formato capaz de ser exportado para um equipamento de manufatura aditiva e finalmente criar um modelo real, são os softwares específicos. Esses, por sua vez, em sua maioria, são de custo elevado o que inviabiliza sua utilização na rede pública de saúde. Entretanto, alguns softwares livres estão disponíveis no mercado (COSTA, 2016).

O conceito de softwares livres (SL) que deve ser compreendido, é um programa de computador como qualquer outro programa proprietário, com finalidade de atender uma determinada demanda. Exemplo: planilhas de cálculos, editores de textos, editores de imagens, etc. Portanto, o tipo de SL, vai depender das suas liberdades (COSTA, 2017).

#### 2.2.3.1 Liberdades do Software Livre

- A liberdade de executar o programa, para qualquer propósito;
- A liberdade de estudar como o programa funciona e adaptá-lo para as suas necessidades (acesso ao código-fonte é um pré-requisito para esta liberdade);
- A liberdade de redistribuir cópias, permitindo a ajuda ao próximo;
- A liberdade de aperfeiçoar o programa e liberar os seus aperfeiçoamentos, de modo que toda a comunidade se beneficie (acesso ao código-fonte é um pré-requisito para esta liberdade).

**Software de código aberto:** nesta categoria de softwares o usuário tem acesso ao código-fonte, podendo alterá-lo para atender às suas necessidades. Muitas vezes, compreender a diferença entre eles é observar que, normalmente, o software de código aberto deixa de atender alguma(s) das quatro liberdades do SL. Outra forma de analisar esta diferença é pensar que “o código aberto faz alusão a uma metodologia de desenvolvimento, enquanto o software livre está relacionado a um movimento social”.

**Software gratuito:** estes sistemas são disponibilizados de forma gratuita, porém, normalmente, não podem ser modificados e não se tem acesso ao código-fonte. É possível também que a licença impeça a redistribuição do mesmo. Também são conhecidos como Freeware. Cuidado para não confundir com os Sharewares, pois estes últimos, apesar de

também serem gratuitos, possuem alguma limitação funcional em relação ao software original.

### **3 PROBLEMA DA PESQUISA**

A falta de um método padronizado e sistemático para tratamento de imagens DICOM e processamento de dados no formato STL, para planejamento cirúrgico na Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial para aplicação na manufatura aditiva com a utilização do sistema de tecnologia CAD e CAM.

### **4 OBJETIVOS**

#### **4.1 Geral**

Elaborar um protocolo para tratamento e edição de imagens DICOM e processamento de dados no formato STL, para planejamento cirúrgico na Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial para aplicação na manufatura aditiva.

#### **4.2 Específicos**

- Fornecer um recurso acessível aos profissionais da saúde para a personalização de biomodelos na área da Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial;
- Gerar biomodelos através dos softwares livres existentes no mercado.

### **5 METODOLOGIA**

#### **5.1 Delineamento da pesquisa**

Foi realizada uma pesquisa exploratória para levantamento de requisitos por meio de casos clínicos reais obtidos pelo Serviço de Radiologia do Hospital de Trauma de Campina Grande-PB e tratados no Laboratório de Tecnologias Tridimensionais do Núcleo de Tecnologias Estratégicas em Saúde da Universidade Estadual da Paraíba (LABTEC3D/NUTES/UEPB).

Foram envolvidas nessa metodologia o levantamento bibliográfico, entrevista com profissionais com experiências práticas com o problema pesquisado, bem como publicações

em periódicos presentes no Centro Latino-Americano e do Caribe de Informação em Ciências da Saúde (BIREME).

## **5.2 Descrição das etapas**

### **A. Identificação de casos e coleta de dados iniciais**

Foi efetuado um levantamento dos casos clínicos existentes no âmbito do LABTEC3D/NUTES/UEPB.

O levantamento foi efetuado sobre o arquivo de solicitações de serviços por Cirurgiões e Traumatologistas Bucomaxilofaciais nos anos de 2015 a 2017, armazenados nos arquivos digitais do laboratório. Foram utilizados os arquivos de Tomografia Computadorizada em formato DICOM dos pacientes do Sistema Único de Saúde (SUS), atendidos no município de Campina Grande-PB, no Hospital de Trauma de Campina Grande.

Nos arquivos foi possível localizar informações como dados do solicitante (nome, CRO e hospital de origem), dados do paciente (finalidade do planejamento, nome do paciente, idade, entre outros), bem como, outras informações relacionadas como e-mails, endereços e telefones para contato. Foram analisados os arquivos de imagens médicas de cada caso, com o objetivo de verificar a relação entre os casos existentes com o problema da pesquisa. Em busca de informações precisas, foram realizados encontros com especialistas na área de computação gráfica, para a orientação acerca do problema da pesquisa, considerando a interdisciplinaridade entre a tecnologia e a saúde no contexto do estudo.

### **B. Investigação na literatura vigente**

A revisão na literatura foi realizada em face da necessidade de se entender os procedimentos atualmente executados na prática diária dos profissionais da odontologia e da Computação Gráfica. Trabalhos correlacionados foram analisados, e o planejamento cirúrgico foi auxiliado com a utilização do computador, almejando observar mais profundamente os procedimentos realizados, com o objetivo de alcançar subsídios suficientes para um levantamento de requisitos precisos para a solução a ser desenvolvida.

### **C. Levantamento dos Requisitos funcionais e não funcionais**

A definição dos requisitos funcionais foi vinculada diretamente a relatos dos profissionais da área (no âmbito do LABTEC3D/NUTES/UEPB) de não familiaridade com

tecnologias, necessidade de eficiência no procedimento de planejamento e fácil utilização e entendimento do software.

#### **D. Investigação de ferramentas tecnológicas vigentes**

Foi necessária a análise de softwares existentes que poderiam atender aos requisitos levantados, porém, foram adotadas premissas na busca, sendo elas: disponibilidade de licença de utilização gratuita – considerando o acesso total das funcionalidades do software, sem custos financeiros; atualização de software recente – em busca de algoritmos mais recentes/eficientes para cumprir as tarefas propostas (últimas atualizações em no mínimo 2 anos); compatibilidade com sistema operacional Windows 7 (64 bits) - devido aos computadores utilizados nos testes do software possuírem tal configuração, e também, ser o sistema operacional mais utilizado nos grandes centros, de acordo com o Ranking dos 7 sistemas operacionais para Desktop, publicado em julho de 2008 a março de 2016.

A partir disso, foram testados e selecionados, 03 (três) softwares, nos quais foram coletados dados acerca do desenvolvimento do software, compatibilidade de formato de arquivos, entre outras, sendo consideradas informações relevantes: descrição, linguagens de programação utilizadas, tempo de mercado, versão atual, compatibilidade de entrada e saída de arquivos, conformidade com os requisitos e um exemplo de visualização básica do software.

#### **E. Definição de processo sistematizado de utilização de softwares**

Foi traçado um processo que utiliza os softwares pesquisados, evidenciando os requisitos elencados, considerando principalmente o cumprimento total de cada um, assim como a possibilidade de mais de um requisito ser executado por software, diminuindo assim a necessidade de utilização de várias ferramentas distintas para atividades pontuais, contribuindo para a celeridade no tratamento das imagens.

#### **F. Permitir a impressão em 3D do produto**

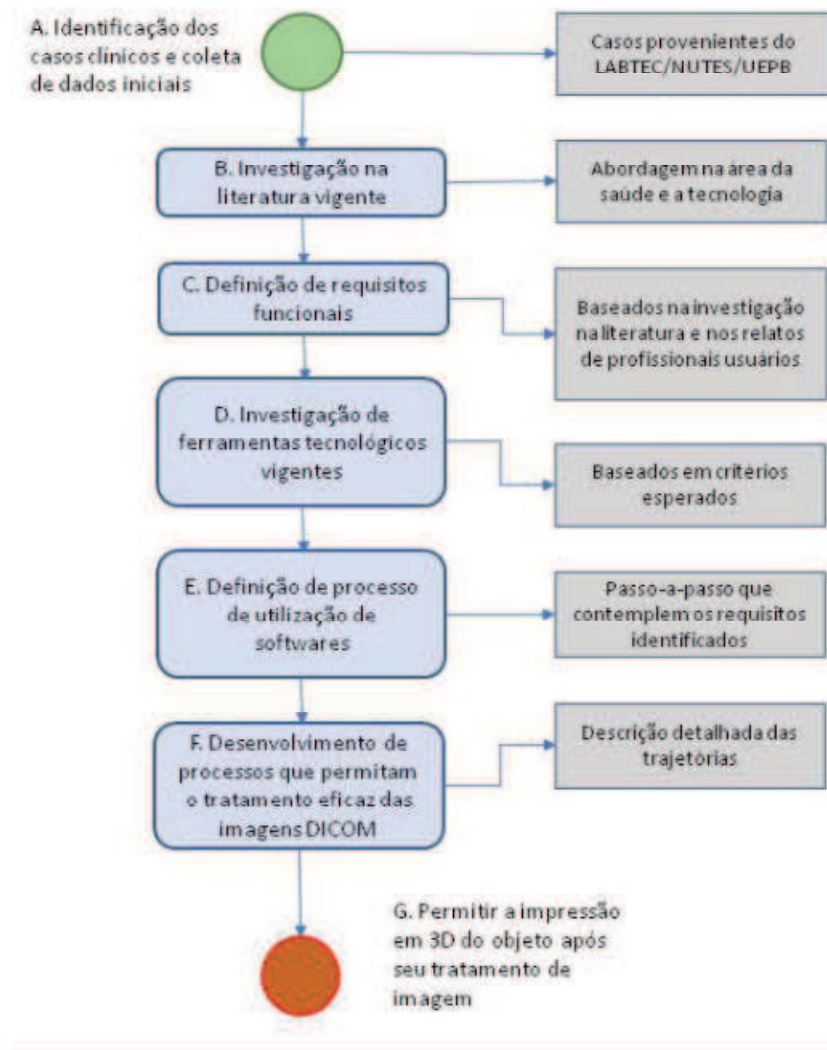
O arquivo final criado tinha que ter formato compatível com o que é solicitado nos softwares de impressão disponibilizados pelas impressoras tridimensionais, no qual, independentemente do modelo da impressora tridimensional que foi utilizado, o arquivo pudesse ser impresso, com a qualidade e as propriedades esperadas agregadas ao arquivo final.

## G. Processamento da imagem e obtenção do biomodelo

As imagens foram adquiridas para cada paciente no formato DICOM (formato bidimensional) e tratadas nos softwares selecionados para este trabalho, para realizar correções de possíveis ruídos nas imagens e realizada a segmentação para separar a mandíbula da base do crânio e conversão dos arquivos DICOM em STL.

No fluxo descrito abaixo (Fluxograma 01) as atividades em quadro azul descrevem os passos executados, enquanto que as anotações em quadro cinza carregam informações adicionais, tais como, a seção do trabalho onde se encontram apresentados os resultados esperados em cada etapa.

### Fluxograma 01: Descrevendo das atividades executadas



## 6 RESULTADOS

### 6.1 Requisitos funcionais e não funcionais para seleção dos softwares

Seguindo os parâmetros estabelecidos por Lima (2017), foram selecionados apenas softwares livres com compatibilidade de formatos de arquivos desde os aparelhos médicos que fornecem as imagens médicas até os sistemas apresentados anteriormente. Foram requeridos junto a profissionais da área de saúde os requisitos funcionais que nortearam o desenvolvimento da solução computacional proposta (WANZELER, 2016)

**Tabela 2 – Softwares utilizados para aquisição do protocolo para edição de imagens**

	<b>Software</b>	<b>Seleção do Software</b>
Tratamento de imagens em formato DICOM	InVesalius	Selecionado
	3DSlicer	Não selecionado
Tratamento de imagens em formato STL	Blender	Selecionado
	Cura	Não selecionado
	Meshlab	Selecionado
	Slic3r	Não selecionado

Fonte: Lima, 2017.

#### 6.1.1 Tratamento de imagens DICOM

O software InVesalius foi selecionado por se tratar de um software público para área de saúde que visa auxiliar o diagnóstico e o planejamento cirúrgico. A partir de imagens em duas dimensões (2D), obtidas através de equipamentos de tomografia computadorizada ou ressonância magnética, o programa permite criar modelos virtuais em três dimensões (3D), correspondentes às estruturas anatômicas dos pacientes em acompanhamento médico. O software tem demonstrado grande versatilidade e vem contribuindo com diversas áreas dentre as quais medicina, odontologia, veterinária, arqueologia e engenharia. (PORTAL DO SOFTWARE PÚBLICO BRASILEIRO, 2007)



### 6.1.2 Tratamento de imagens STL

Por se tratar de um procedimento mais complexo, foram selecionados dois softwares para a realização do tratamento de imagens em STL, Meshlab e Blender.

O Meshlab foi selecionado por ser um software de código livre, portátil e extensível, destinado principalmente ao processamento e edição de malhas triangulares 3D desestruturadas, de fácil utilização, digitalização orientada e eficiência.

O Blender foi selecionado por se tratar de um software open-source de computação gráfica 3D, usado principalmente para criação de filmes animados, efeitos visuais, modelos 3D imprimíveis, aplicações interativas 3D e jogos digitais. Suas principais tarefas são: modelagem 3D, texturização, edição gráfica, simulação de corpos, escultura, animação, entre outros. Atendendo assim, os requisitos funcionais do presente projeto. (BLENDER, 2015).

## 6.2 Descrição dos Softwares selecionados:

**6.2.1 InVesalius:** Software destinado à área de saúde que auxilia ao diagnóstico e o planejamento cirúrgico. Consegue a partir de imagens 2D, criar modelos virtuais tridimensionais, os quais permitem a melhor visualização das estruturas anatômicas dos pacientes adquiridas através dos exames de equipamentos de tomografia computadorizada. Tempo de mercado: Desde 2007. Versão atual: 3.1 (2017). Compatibilidade: Possui seu formato próprio (\*.inv3), possui compatibilidade com os formatos: \*.STL, \*.hdr (PORTAL DO SOFTWARE PÚBLICO BRASILEIRO, 2007).

**6.2.2 Meshlab:** Software de código livre, destinado principalmente ao processamento e edição de malhas triangulares 3D desestruturadas, foi desenvolvido por de ser de fácil utilização, digitalização orientada e eficiência nas tarefas de processamento de malhas de forma eficiente, bem como, gerenciar os milhões de formatos possíveis de malhas 3D existentes. Tempo de mercado: Desde 2005. Compatibilidade: arquivos nos formatos: PLY, STL, OFF, OBJ, 3DS, COLLADA, PTX, V3D, PTS, APTS, XYZ, GTS, TRI, ASC, X3D, X3DV, VRML, ALN;(CIGNONI, CORSINI, et al., 2008).

**6.2.3 Blender:** É um software código-aberto de computação gráfica 3D, usado na criação de filmes animados, efeitos visuais, modelos 3D imprimíveis, aplicações interativas 3D e



jogos digitais. Suas principais tarefas são: modelagem 3D, texturização, edição gráfica, simulação de fluidos, simulação de corpos, escultura, animação, movimentação de jogos digitais, renderização, edição de vídeo (BLENDER, 2015). Tempo de mercado: desde 1995. Versão atual: 2.76b (novembro/2015). Compatibilidade: arquivos nos formatos: Collada (\*.dae), 3D Studio (\*.3ds), FBX (\*.fbx), Motion Capture (\*.bvh), Stanford (\*.ply), Wavefront (\*.obj), X3D Extensible 3D (\*.x3d/\*.wrl), STL (\*.stl), Scalable Vector Graphics (\*.svg), Blender file (\*.blend); (BLENDER, 2015)

## 7 Requisitos e sequência para Aquisição de Imagens

### 7.1 Requisitos para Aquisição de Imagens Tomográficas

Para a aquisição de imagens DICOM são necessárias uma sequência de recomendações para obtenção de imagens de TC de qualidade, para posterior tratamento das mesmas. Primeiramente recomenda-se que o paciente permaneça imóvel durante todo o exame, caso ele se mova será necessário reiniciar o procedimento. Remover quaisquer estruturas metálicas antes do exame: piercings, jóias, próteses removíveis. Caso as restaurações metálicas e próteses fixas estejam com retirada planejada, retirá-las antes do procedimento tomográfico. (SOARES, 2017).

O paciente deverá estar em repouso muscular sem a total oclusão dentária, não podendo haver nenhum tipo de contato dentário das duas arcadas. Deverá haver uma margem de 10 mm acima e abaixo da área de interesse determinada pelo cirurgião. Usar única imagem ou série contendo maxila e mandíbula.

No caso da tomada radiográfica não ser helicoidal, todos os cortes devem ser realizados na mesma direção e não possuem espaçamento maior que 1,0 mm. De preferência os cortes devem possuir a mesma espessura do espaçamento 1,0 mm, segue alguns exemplos:

**Tabela 3:** de especificação de espessura e espaçamento

<b>Espessura</b>	<b>Espaçamento</b>
1,0	0,8 a 0,5
1,0	1,0
1,25	1,25 ou 0,6
2,0	1,0
3,0	1,0

Outras recomendações técnicas:

- Matriz: 512x512
- FOV (Campo de Visão) 140 a 180mm (incluir somente a região de interesse)
- Gantry tilt (Inclinação do Gantry: 0°)
- Espessura do corte: 1mm ou menos.
- Intervalo de Reconstrução (Espaçamento entre as fatias): 1mm ou menos
- Pitch: 1:1

## 8 Protocolo e sequência de utilização dos softwares

Os passos a serem seguidos carecem de uma sequência de comandos e ações nos quais os usuários deverão executar a edição das imagens de Tomografia Computadorizada com a utilização dos softwares selecionado na respectiva ordem abaixo (Fluxograma 02): InVesalius; Meshlab; Blender.

**Fluxograma 02** - Sequência de utilização dos softwares para tratamento de imagens.

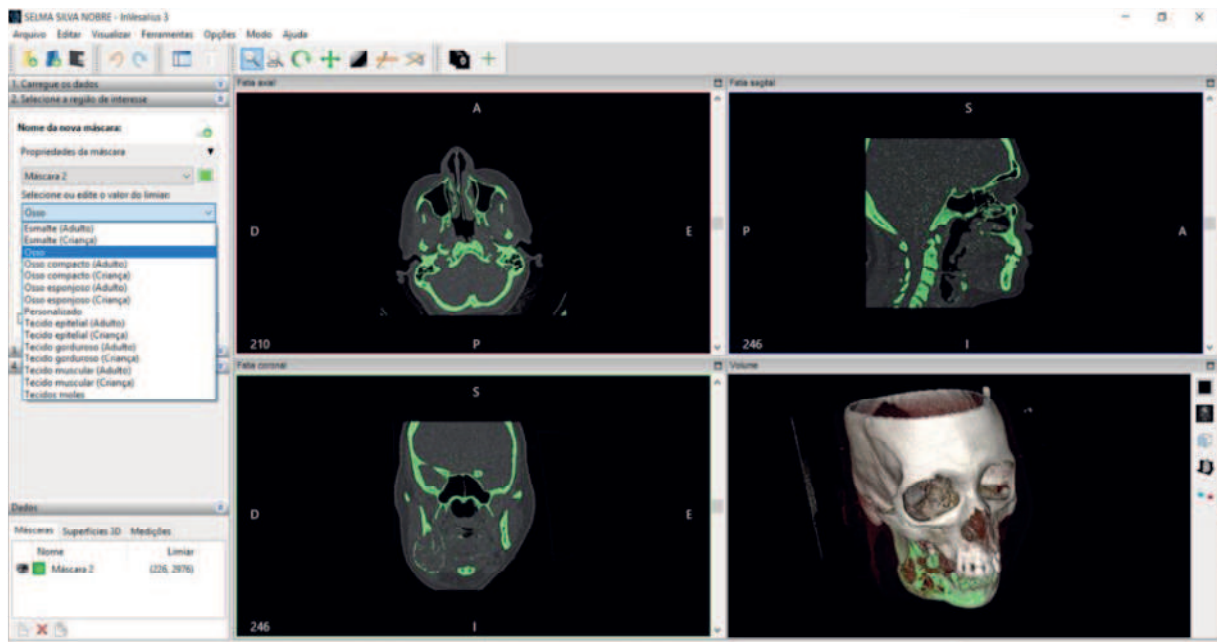


## 8.1 Utilizando o InVesalius

1. Abrir os arquivos no formato DICOM desejado;

- Menu “Arquivo”,
- Opção “Importar DICOM (Ctrl+i)”;
- Selecionar pasta com os arquivos DICOM;
- Visualizar os dados à serem reconstruídos (Nome do paciente, intervalo entre fatias e pré-visualização 2D), pressionar “Importar”;

**Figura 05:** Reconstrução 3D e as vistas axial, sagital e coronal no software InVesalius

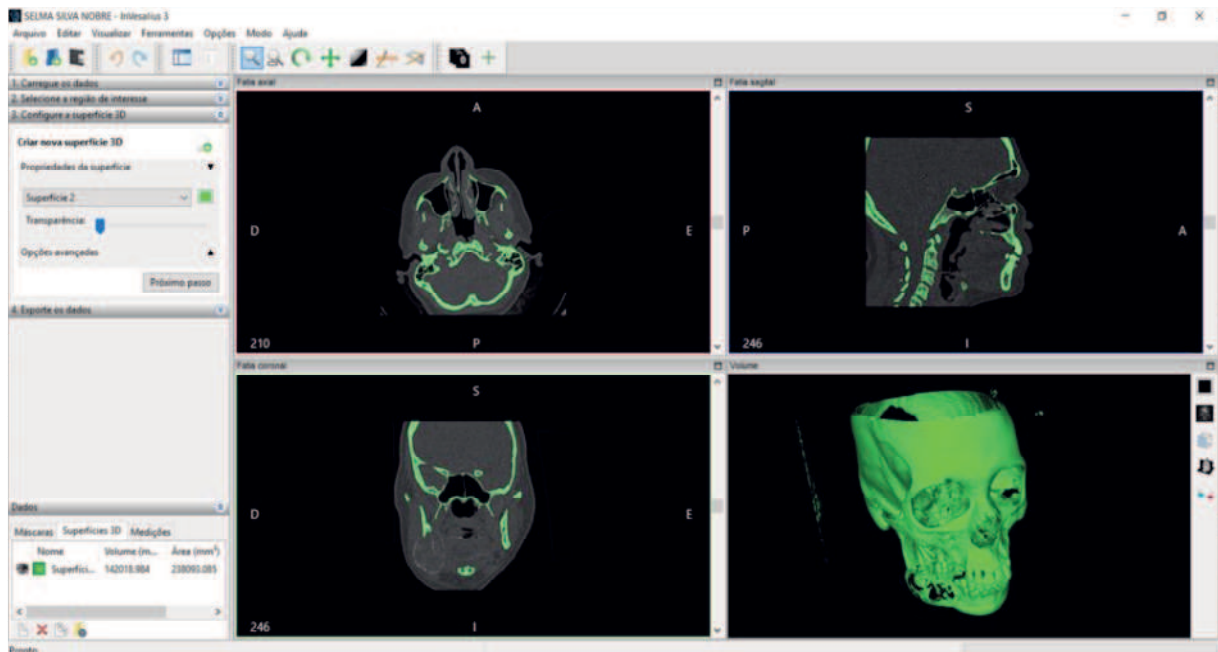


Fonte: Autor da pesquisa

2. Selecionar região de interesse da modelagem e realizar tratamentos iniciais na imagem 2D;

- Selecionar o menu lateral “2. Seleccione a região de interesse”, opção “Selecione ou edite o valor do limiar”, selecionando a opção “Osso compacto (adulto)”. A opção “Personalizado” deverá ser utilizada para melhor ajuste da seleção, para reduzir ao máximo os “ruídos” nas imagens;

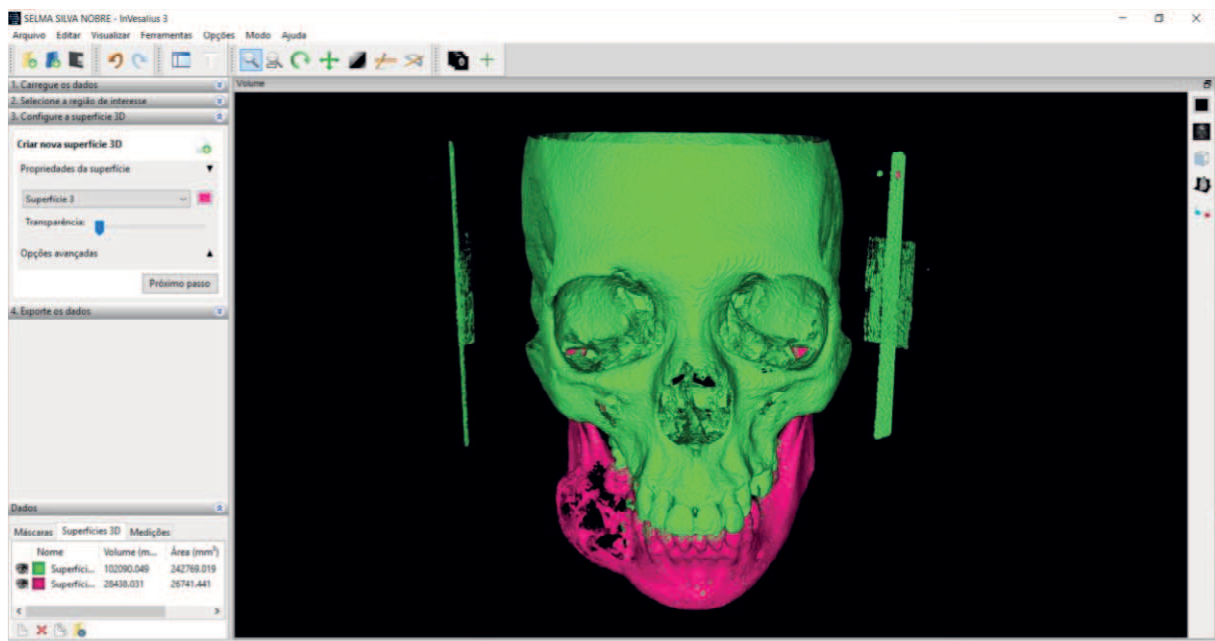
**Figura 06:** Imagem STL da superfície formada através das vistas axial, sagital e coronal.



Fonte: Autor da pesquisa

- Conferir se nas camadas das fatias (nos cortes axial, coronal e sagital), a parte de interesse (mandíbula) está sendo preenchida, de acordo com a cor selecionada na máscara;
  - É necessário apagar manualmente todos os pontos de contato através da “Ferramentas avançadas de edição”, selecionando o tipo, o tamanho ( no mínimo 03) e a operação do pincel, clicando na parte que deseja marcar em cada fatia. Regiões como “cabeças dos côndilos” e oclusal são as regiões que deverão ser eliminados pontos de contato, para ser possível na operação posterior separar mandíbula do resto do crânio;

**Figura 07:** Mandíbula separada do crânio.

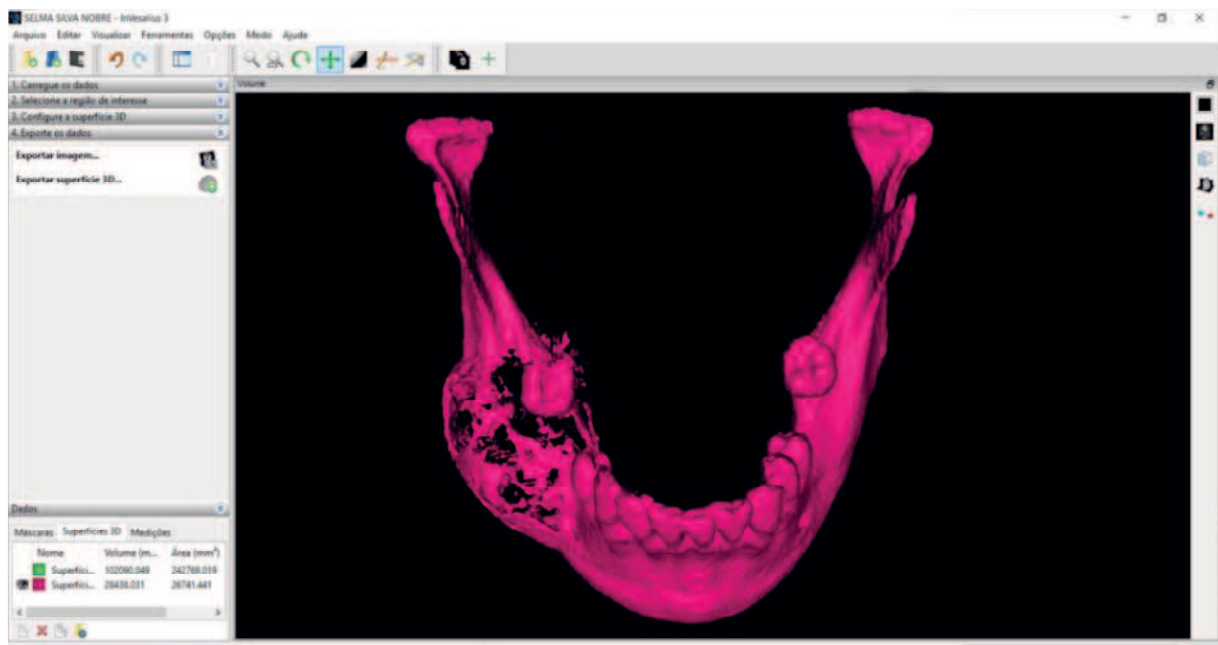


Fonte: Autor da pesquisa

### 3. Separar partes de interesse;

- Após ter separado as regiões de interesse, o botão “Criar superfície ” deverá ser acionado. Deve-se verificar se a superfície gerada na visualização inferior direita, está de acordo com o esperado;
- Selecionar o menu lateral “3 Configure a superfície 3D” e apertar o botão “Separar todas regiões desconexas”, isso irá separar em duas mascaras a mandíbula do crânio.
- A máscara que contém apenas a mandíbula deverá ser selecionada e o menu “4. Exporte os dados”, e clicar em “Exportar superfície 3D...”, salvando o arquivo no formato STL.

**Figura 08:** Mandíbula completamente separada do crânio e de ruídos da imagem.



Fonte: Autor da pesquisa

### 8.1.2 Utilizando o Blender

1. Carregar arquivo gerado no software InVesalius;

Clicar no botão “File”, localizado no menu abaixo da barra de tarefas, ir até a opção “Import”, e selecionar o formato do arquivo desejado (no caso, o \*.stl);

Localizar o local onde o arquivo encontra-se salvo, e ao clicar no arquivo, selecionar a opção “ImportSTL”;

2. Selecionar o comando que contemple o; Entrar no “Edit Mode” (modo de edição), pressionando a tecla “TAB”;

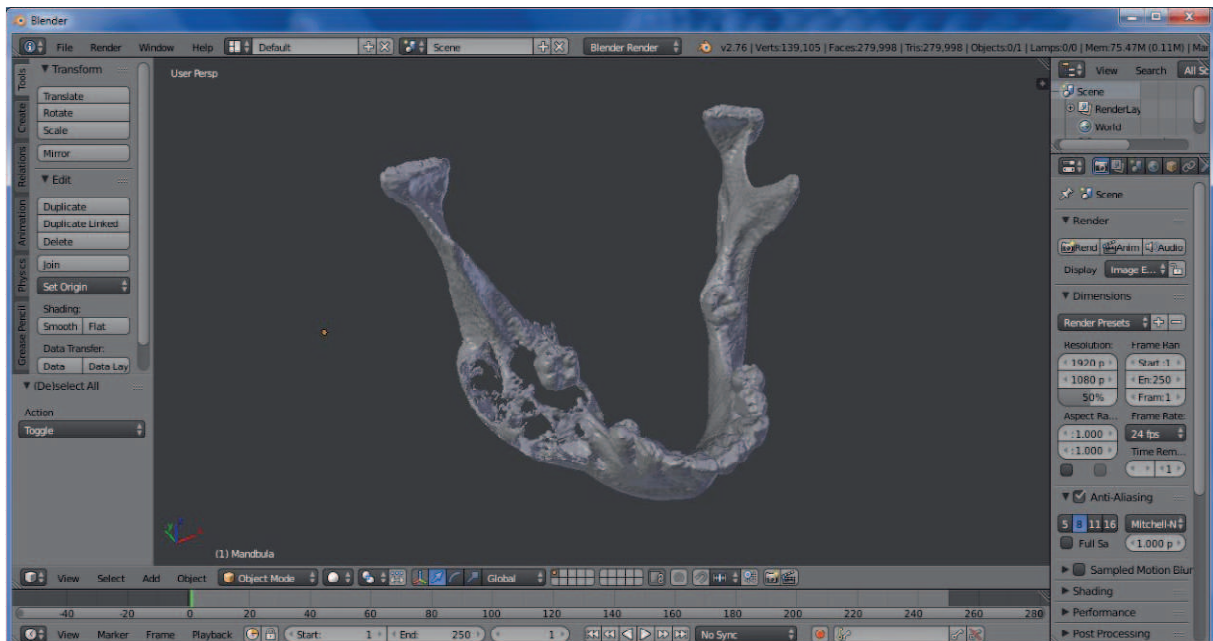
Selecionar tudo, pressionando a tecla “A”;

Selecionar por partes pré-separadas pressionando a tecla “L”;

Posicionar o ponteiro do mouse no local o qual deseja separar, e pressionar a tecla “P” (função “Separate”), selecionando assim a opção “Selection”;



**Figura 09:** Imagem da mandíbula no software Blender.



Fonte: Autor da pesquisa

### 3. Selecionar os comandos;

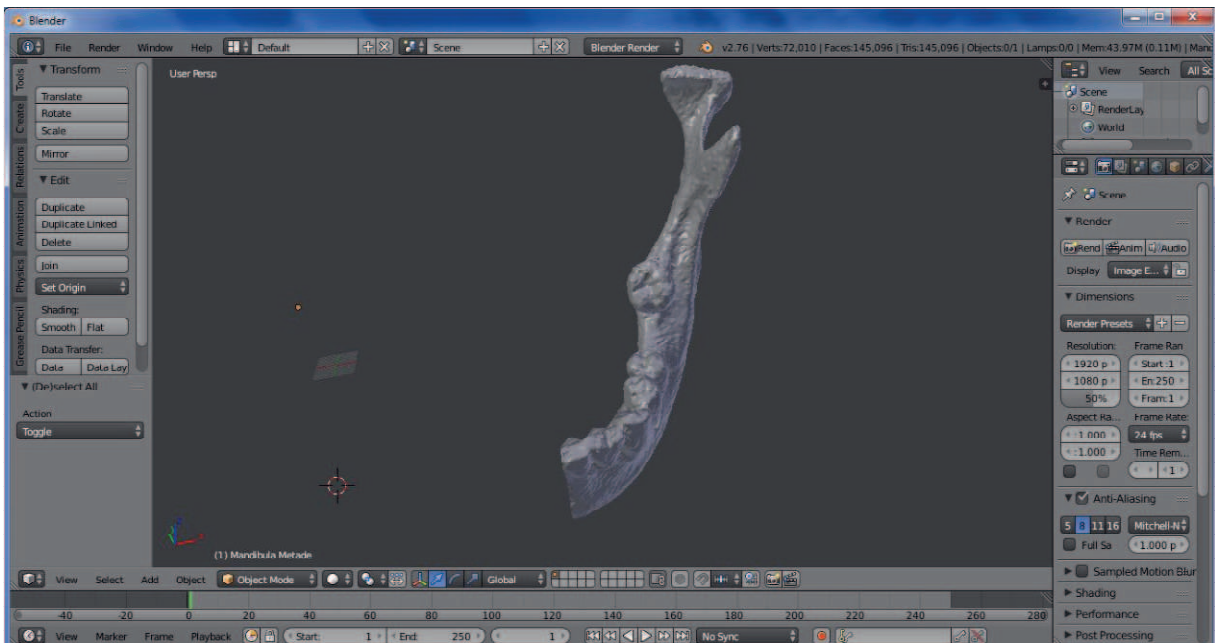
Para movimentar o modelo, posiciona-se o ponteiro do mouse acima do modelo o qual deseja-se mover, pressionando a tecla “G”;

Para rotacionar o objeto, deve-se posicionar o ponteiro do mouse no local o qual deseja rotacionar, e pressionar a tecla “R” (função “Rotate”), e seguidamente, pressionar X, Y ou Z, de acordo com o eixo o qual deseja que o objeto seja rotacionado.

### 4. Recortar itens de seleção;

Para recortar a região desejada, pressionar a tecla “Shift” e seleciona a hemiarcada onde está a lesão, e pressionar a tecla “X + delete”;

**Figura10:** Corte realizado na metade da mandíbula onde estava localizada a lesão.



Fonte: Autor da pesquisa

##### 5. Espelhar itens de seleção;

Para espelhar, seleciona-se o objeto e verifica-se se o objeto está em no “Edit Mode” (modo de edição); Selecionar todo o modelo teclando “A”;

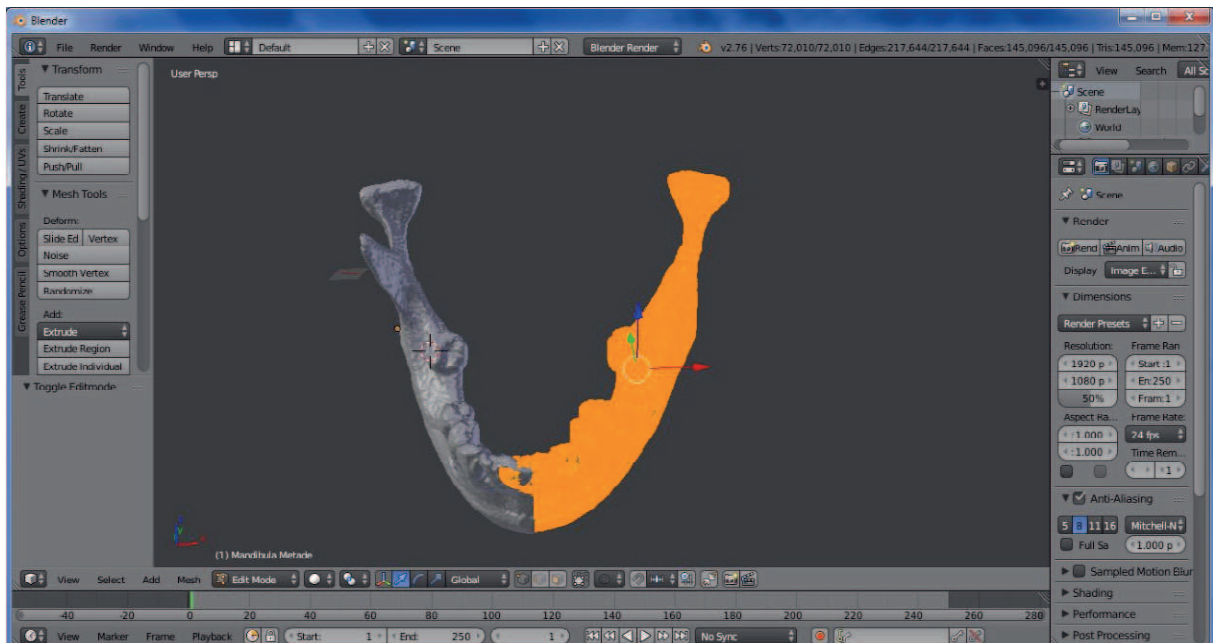
Para duplicar, pressionar a tecla “Shift+D”, mova o objeto novo criado colocando na posição desejada e finalize pressionando a tecla “ESC”;

É importante que a opção “Pivot Point” esteja selecionada na opção “3D Cursor”, para pode posicionar o cursor 3D no vertice da parte central do modelo, utilizando o recurso “Snap/ Cursor to selected”:

Depois ir à opção “Mesh” e selecionar a opção “ Mirror/Y Global”(Ctrl M) para realizar o espelhamento no eixo Y;



**Figura 11:** Seleção da imagem para ser espelhada e seu espalhamento.



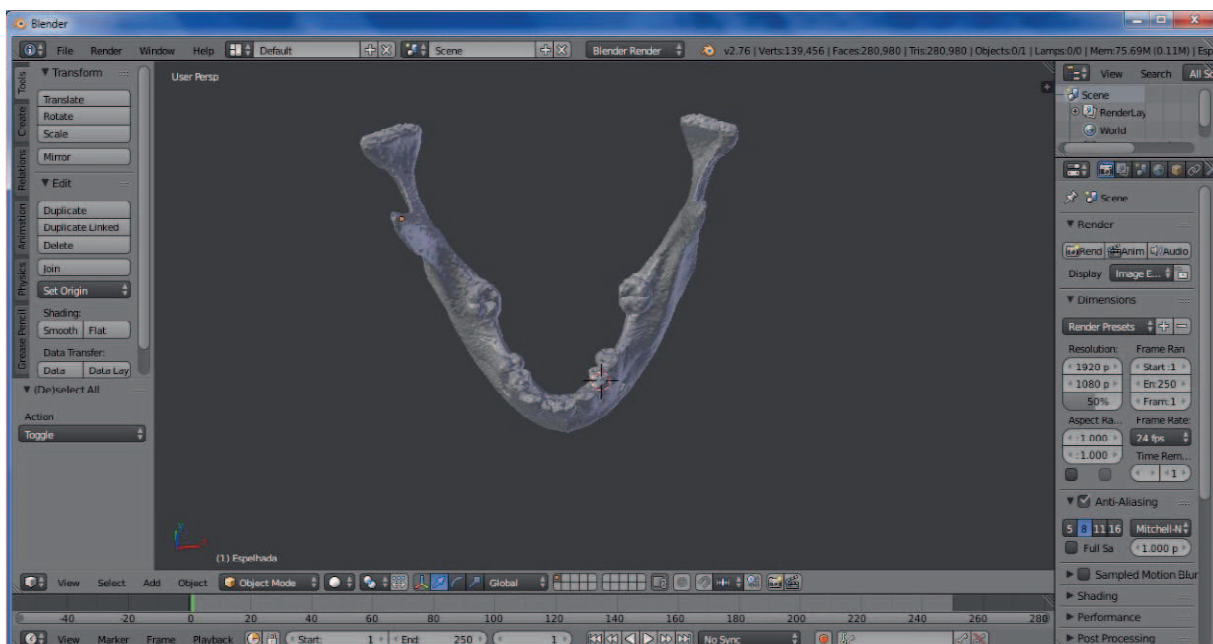
6. Salvar arquivo no formato STL;

Clicar no botão “File”, localizado no menu abaixo da barra de tarefas, ir até a opção “Export”, e selecionar o formato do arquivo desejado (no caso do trabalho atual, o \*.stl);

Selecionar a pasta de destino e o nome do arquivo.

**Crtl T = Triangular as faces**

**Figura 12:** Imagem original e espelhada unidas em um só sólido.



Fonte: Autor da pesquisa

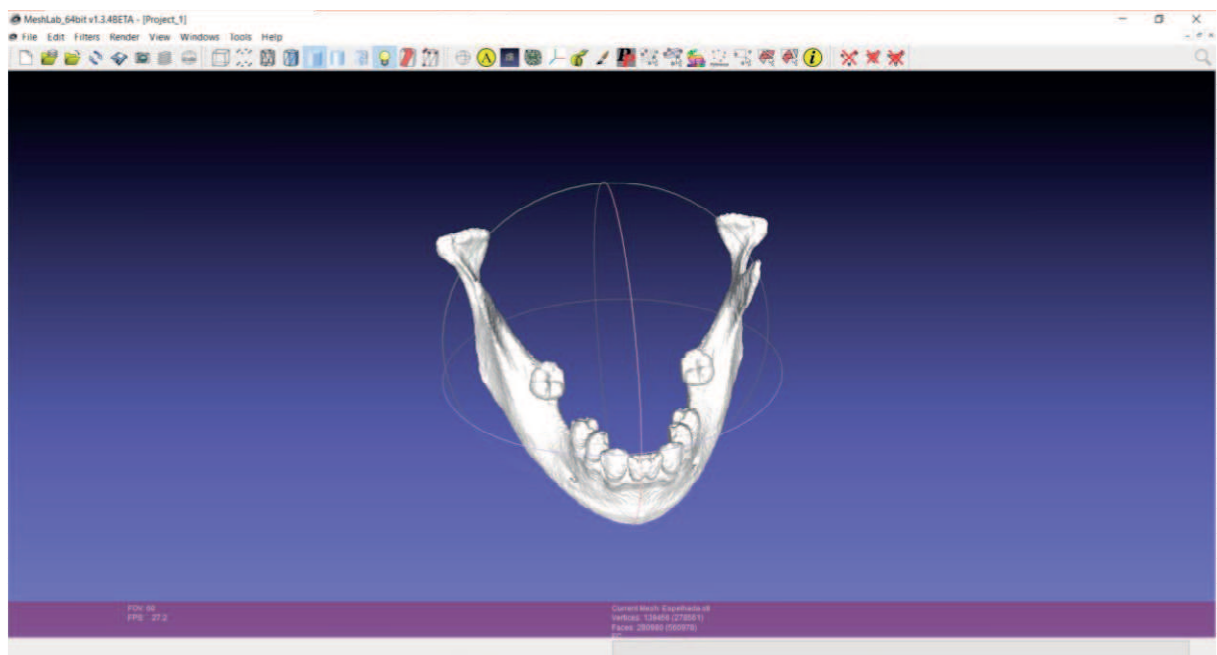
### 8.3 Utilizando o MeshLab

1. Carregar arquivo gerado no software Blender;

Clicar no botão “File”, localizado no menu abaixo da barra de tarefas, ir até a opção “Import Mesh”;

Localizar o local o qual o arquivo encontra-se salvo, e ao clicar no arquivo, selecionar a opção “Abrir”;

**Figura 13:** Imagem da mandíbula espelhada no software MeshLab.



Fonte: Autor da pesquisa

2. Selecionar o comandos;

Para movimentar o modelo, posiciona-se o ponteiro do mouse acima do modelo o qual deseje-se mover;

3. Filters; Smoothing, Faring and Deformation> Laplacioan Smooth

Aciona o item “Preview” e colocar 1 (um) na opção “ Smoothing Steps” e apertar “Apply”.

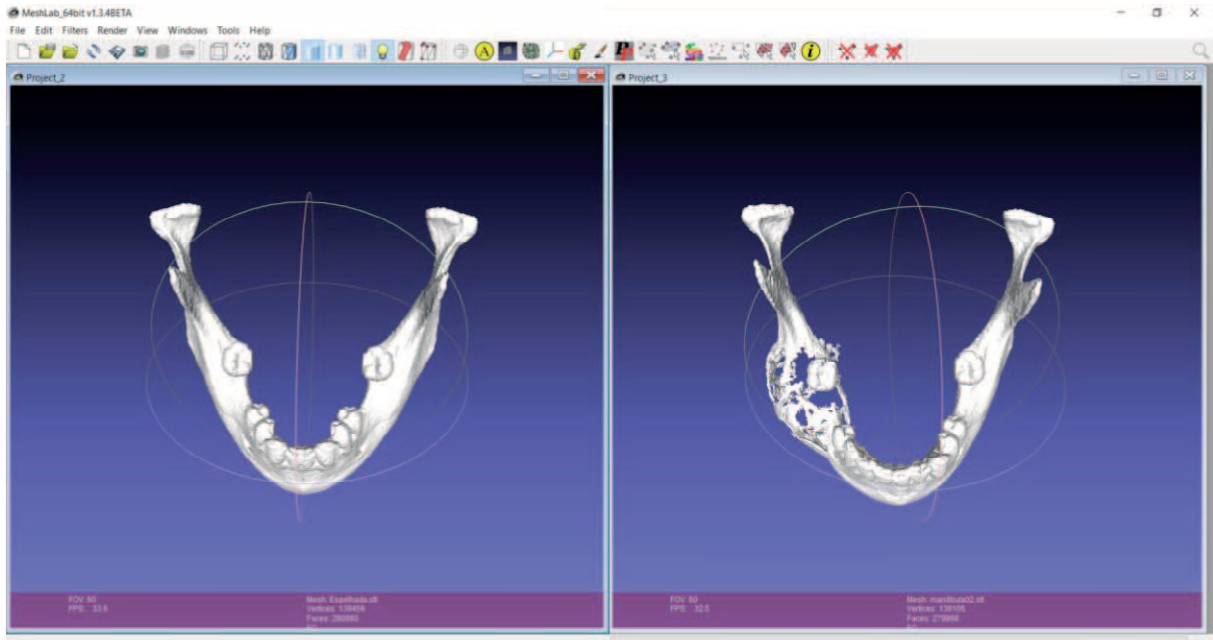
4. Salvar arquivo no formato STL;

Clicar no botão “File”, localizado no menu abaixo da barra de tarefas, ir até a opção “Export Mesh As”, e selecionar o formato do arquivo desejado (no caso, o \*.stl);

Selecionar a pasta de destino e o nome do arquivo.

A finaliza apertando “ok”

**Figura 14:** Mostrando a imagem espelhada da mandíbula (lado esquerdo) e a imagem da mandíbula original.



Fonte: Autor da pesquisa

## 9 Resultados e Discussão

O desenvolvimento de um protocolo de software livre para modelagem cirúrgica 3D explicando todos os passos necessários para modelagem cirúrgica completa é um fator motivador para este trabalho. A aspiração de desenvolver uma solução de maneira livre, rápida e flexível que possa ser usada por qualquer profissional mesmo nos casos mais complexos.

Primeiramente em neste estudo, buscou-se desenvolver um protocolo de tratamento de imagens utilizadas na manufatura aditiva na Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial de fácil execução, não necessitando grandes habilidades com os softwares selecionados.

Nosso protocolo foi desenvolvido de acordo com cada função objetivo de cada software: InVesalius é um visualizador para Imagens de formato DICOM (Imagem e Comunicações Digitais em Medicina) que tem a função de exportar esses arquivos em formato de esterolitografia (STL) arquivo. O Blender foi usado para modelagem e manipulação cirúrgica 3D do objeto. Já o Meshlab é usado para simplificar e alinhar malhas derivadas dos arquivos STL e repara as malhas do objeto 3D antes de qualquer processo de impressão 3D.

A seleção dos softwares foi fundamentada na disponibilidade de licença (softwares de licença livre), compatibilidade com Sistema Operacional Windows 7 (64 bits) e executáveis em computadores desktop. Foram analisados softwares CAD e de reconstrução de imagens. O hardware disponível foi à configuração básica dos computadores disponíveis do LABTEC3D/NUTES/UEPB, computador desktop com a seguinte configuração: Processador Intel® Xeon® CPU 2.13Ghz, 6Gb de Memória RAM e disco rígido com capacidade de 1TB.

A modelagem cirúrgica 3D de estruturas faciais, como no exemplo apresentado neste trabalho de uma reconstrução mandibular, é um processo importante para a viabilidade de impressão biomodelos que visa melhorar a gestão dos procedimentos cirúrgicos, com objetivo de reduzir as iatrogenias, aumentar conforto ao paciente e a diminuição de retrabalho.

O protocolo proposto foi a primeira tentativa de descrever os passos básicos para o tratamento de imagens 3D utilizando-se de softwares livres. Este trabalho torna-se mais relevante, pois as aplicações tecnológicas de impressão 3D estão sendo cada vez mais aplicadas na CTBMF.

Entretanto, para um melhor desempenho com a utilização dos softwares livres apresentados neste estudo, observou-se que é necessário um conhecimento e habilidade básicos para a obtenção de melhores resultados no tratamento de imagens, estando diretamente associado com a experiência do cirurgião com o procedimento cirúrgico.

Segundo Mondonesi et al. (2017), a tecnologia do planejamento virtual com o auxílio da impressão 3D, vem substituindo o planejamento manual com grande rapidez, por se mostrar mais confiável e minimizar falhas durante o transoperatório, visto que pequenos detalhes que podem passar despercebidos pelo método tradicional de planejamento e com isso gera transtornos no resultado da cirurgia e, conseqüentemente, ao paciente.

A tecnologia com o uso da MA, proporcionou a introdução de uma metodologia de fabricação de guias cirúrgicas através do CAD/CAM que é diferente da prática clínica convencional. O CAD/CAM é um sistema capaz de reproduzir objetos do meio virtual para o meio real através da impressão 3D de alta definição, para reduzir distorções ou incompatibilidade com a estrutura óssea ou dentária, produzindo então guias mais fiéis, compatíveis com o que foi definido no meio virtual.

A modificação do plano bidimensional (2D) para imagens 3D, proporcionou aos cirurgiões e conseqüentemente aos pacientes informações mais precisas, nas quais não poderiam ser obtidas a partir dos métodos tradicionais. Os programas de softwares permitem ao cirurgião interagir com as imagens 3D e todos os dados podem ser armazenados no computador, o que facilita o gerenciamento de dados.

Todas as informações pré-operatória podem ser compartilhadas, rapidamente e facilmente usando a Internet. Embora os estudos tenham sido realizados sobre uma série de programas de software, nem todos estes podem armazenar dados do paciente em um só lugar e proporcionar o acesso a imagens que servem para planejamento virtual da cirurgia, com a previsão de resultados pós-operatórios e construção de guias cirúrgicas que utilizam a tecnologia CAD/CAM. Com a aquisição da tomografia computadorizada pode-se realizar o planejamento da cirurgia de forma muito precisa, porém, não é possível obter imagens fiéis dos dentes dos pacientes o que seria péssimo se pensar que precisa-se de um excelente chaveamento de dentes após a cirurgia. Para contornar isso usou-se o escaneamento dos modelos obtidos do paciente através de moldagem e aquisição dos modelos de gesso. (GATENO, 2007).

Entretanto, a TC muitas vezes não fornece imagens precisas suficientes da estrutura dentária do paciente, de modo que os modelos de gesso não podem ser escaneados para sua visualização 3D, através dos mesmos softwares já relatados neste estudo. Esses modelos podem ser tratados da mesma maneira das imagens de TC, fazendo com que, após esse tratamento, os modelos são sobrepostos na imagem obtida pela TC, reproduzindo a estrutura dentária em alta fidelidade.(BÓRIO, 2017).

Usando essas imagens em 3D, é possível realizar osteotomias, reposicionar as estruturas ósseas osteotomizadas, controlar a intercuspidação, controlar interferências entre estruturas ósseas osteotomizadas na região da base do crânio, e simular o pós-operatório, resultados em tecidos duros e moles em 3D na tela do computador.

Além de todo esse controle da cirurgia virtual, após conclusão do planejamento, pode-se confeccionar os guias cirúrgicos que serão responsáveis por transportar todo o resultado obtido de forma virtual para o paciente.

## 10 Conclusão

A criação de um protocolo passo a passo simplificado como recurso acessível aos profissionais da saúde para a personalização de biomodelos na área da Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial, para o tratamento e modelagem 3D de imagens, permite que os cirurgiões possam realizar seus próprios planejamentos cirúrgicos. Podemos deslumbrar que em um futuro próximo, novos softwares permitirão aos profissionais da saúde realizar tratamento e modelagem cirúrgica de maneira mais rápida, fácil e de custo mais baixo. Apesar das vantagens da tecnologia de softwares livres esses nunca poderão substituir o julgamento clínico ou habilidade técnica do cirurgião para a obtenção de resultados satisfatórios. O benefício da Manufatura Aditiva na confecção biomodelos já é cada vez mais difundido na área da saúde, entretanto, o planejamento cirúrgico exige do cirurgião um treinamento e conhecimento mínimos de modelagem softwares livres existentes no mercado.



## 11 REFERÊNCIAS

AHRENS, C. H. et al. **Prototipagem Rápida - Tecnologias e Aplicações**. 1ª. ed. São Paulo: Blucher, 2007.

BARISON, M. B. **Definições e figuras relativas ao estudo de Malhas Planas Poligonais em Desenho Geométrico**. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, p. 1. 2005.

BARROS, Ana Waleska Pessoa et al. Steps for biomodel acquisition through additive manufacturing for health. **RGO-Revista Gaúcha de Odontologia**, v. 64, n. 4, p. 442-446, 2016.

BEKEY, G.; KHOSHNEVIS, B. **Automated Construction Using Contour Crafting: Applications on Earth and Beyond. International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 19th (ISARC)**. Proceedings. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology. 2002. p. 489-494.

BENASSAROU, M. et al. **CREATING 3D-PRINTABLE STL MODELS FROM DICOM DATA: ARE ALL THE SOFTWARE SOLUTIONS EQUIVALENT. Bone Joint J**, v. 99, n. SUPP 2, p. 40-40, 2017.

BICALHO, C. D. S.; DONEDA, C. **Tomografia Computadorizada**. CENTRO NACIONAL DE APRENDIZAGEM – CENAP. Cascavel, p. 18. 2010.

BJERKLIN, K.; ERICSON, S. **How a computerized tomography examination changed the treatment plans of 80 children with retained and ectopically positioned maxillary canines**. The Angle Orthodontist, v. 76, p. 43-51, Janeiro 2006.

BLENDER. Blender. Blender 2.76 - blender.org - **Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software**, 2015. Disponível em: <<https://www.blender.org/features/276/>>. Acesso em: 24 Fevereiro 2017.

BOBOULOS, A. **CAD - CAM & Rapid Prototyping Application Evaluation**. 1ª. ed. Frederiksberg: Ventus Publishing, 2010.

BÓRIO, José A.; DEL SANTO, Marinho; JACOB, Helder B. ODONTOLOGIA DIGITAL contemporânea–scanners intraorais digitais. **Ortho Sci., Orthod. sci. pract**, v. 10, n. 39, p. 355-362, 2017.

BURNS, M. **Perspectives on stereolithography** – automated fabrication in the 19th, 20th and 21st centuries. Key note address conference and annual meeting march, 31 1992.  
Chua, C. K., Leong, K. F. and Lim, C.S., 2010, *Rapid Prototyping: Principles and Applications* (3rd edition), World Scientific Publishing Company, January, 540p.

CIGNONI, P. et al. **MeshLab and Arc3D: Photo-Reconstruction and Processing 3D Meshes**. EPOCH Conference on Open Digital Cultural Heritage Systems, Roma, 25-26 Fevereiro 2008. 61-66.

CIGNONI, P.; CORSINI, M.; RANZUGLIA, G. MeshLab: An Open-Source 3D Mesh Processing System. **European Research Consortium for Informatics and Mathematics**, Nice, v. 73, p. 47-48, Abril 2008.

COSTA, André Luiz Ferreira; YASUDA, Clarissa Lin; NAHÁS-SCOCATE, Ana Carla Raphaelli. Utilização de softwares livres para visualização e análise de imagens 3D na Odontologia. **Revista da Associação Paulista de Cirurgões Dentistas**, v. 70, n. 2, p. 151-155, 2016.

COSTA, Lucas Rodrigues et al. **Uso de software livre para disseminação e análise de dados abertos governamentais**. 2017.

DUTRA, Dasaiev Monteiro et al. Aplicabilidade da prototipagem rápida na odontologia – uma revisão de literatura. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**, v. 16, n. 1, p. 89-95, 2017.

FELIX, Warley Ferreira et al. Correções em leituras de volumes e densidades determinados em tomografia computadorizada. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 5, n. 1, 2017.

FOGGIATTO, J.A. **O uso da prototipagem rápida na área médico odontológica**. *Tecnol. Humanismo, Curitiba*, v.20, n.30, p.60- 68, 2006.

GATENO, Jaime et al. Clinical feasibility of computer-aided surgical simulation (CASS) in the treatment of complex cranio-maxillofacial deformities. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, v. 65, n. 4, p. 728-734, 2007.

Gibson, I., Rosen, D.W. and Stucker, B., 2010, *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*, Springer, 459p.



GREGOLIN, R. F. **Modelagem tridimensional da região da articulação temporomandibular a partir de tomografia computadorizada visando o projeto, estudo e análise de prótese personalizada.** 2017. 103f . Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) Universidade Estadual Paulista, São Paulo.

JACOBS, P. F. **Rapid Prototyping & Manufacturing: Fundamentals of StereoLithography.** 1ª. ed. Dearborn: Society of Manufacturing Engineers, 1992.

JUNQUEIRA AMORIM, P. H. et al. **InVesalius: Software Livre de Imagens Médicas.** XXXI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, XI WIM Workshop de Informática Médica, 2011, 2011. 1735-1740.

LEITÃO, D. K. **Entre primitivos e malhas poligonais: modos de fazer, saber e aprender no mundo virtual Second Life.** Horizontes Antropológicos, Porto Alegre, v. XVIII, n. 38, Julho - Dezembro 2012. ISSN ISSN 0104-7183.

LIMA, J. F. S. **Solução de Tecnologia para Planejamento e Tratamento Ortodôntico de Dentes Inclusos.** 2016. 97 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia em Saúde) Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2017.

MODONESI, Lucas Berlatto et al. Cirurgia ortognática: assimetria facial e a limitação do planejamento manual com articulador semi-ajustável Acon (ASA)-correção com planejamento virtual (3D). **Salusvita**, v. 36, n. 1, p. 77-89, 2017.

MORAWSKI, Rafael et al. Utilização de prototipagens em cirurgia e traumatologia bucomaxilofacial: relato de casos. **Revista da Faculdade de Odontologia-UPF**, v. 21, n. 3, 2017.

MORETTO, E. G., COTO, N. P., LOPES, R., DIAS, R., & ZUFFO. **Elaboração de Próteses Auriculares Individualizadas por Meio de Manufatura Auxiliada por Computador.** In: XXXVI CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. Anais... Porto Alegre. 2016.

NETO, Guerra et al. **Tecnologia 3D na saúde: uma visão sobre Órteses e Próteses, Tecnologias Assistivas e Modelagem 3D.** 2018.

NETO, I. C. P.; SOARES, E. C. S.; ESSES, D. F. S.; COSTA, F. W. G.; TÁCIO PINHEIRO BEZERRA, T. P. **The knowledge of the Lay Public and Health Professionals about the Oral and Maxillofacial Surgery in Fortaleza City.** Rev. Cir. Traumatol. Buco-Maxilo-Fac., Camaragibe v.11, n.2, p. 63-74, abr./jun. 2011. ISSN 1808-5210

PATINI, R.; ARRICA, M.; DI STASIO, E.; GALLENZI, P.; CORDARO, M. **The use of magnetic resonance imaging in the evaluation of upper airway structures in paediatric obstructive sleep apnoea syndrome: a systematic review and meta-analysis.** *Dentomaxillofac Radiol* 2016; 45: 20160136.

PITTSCHIELER, E.; FOLTIN, A.; FALKNSAMMER, F.; FIGL, M.; DOZ, P.; BIRKFELLNER, W.; JONKE, E.; BANTLEON, H-P. **Comparison of Skeletal and Dental Reference Planes with the Hamulus-Incivise-Papila Plane: A Pilot Study on 3D Reconstructed Tomographies of the Skull.** *The International Journal of Prosthodontics.* 2016

Portal do Software Público Brasileiro. [acessado em 5 de junho de 2017]. Disponível em: <http://www.softwarepublico.gov.br/>

RODRIGUES, Vinícius Picanço et al. Manufatura aditiva: estado da arte e framework de aplicações. **Revista GEPROS**, v. 12, n. 3, p. 1, 2017.

S. PIANYKH, O. **Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) - A Practical Introduction and Survival Guide.** 2ª. ed. Boston: Springer, 2012.

SANTOS, Ananda Amaral et al. **Contribuição da tomografia computadorizada de feixe cônico no plano de tratamento das lesões ósseas da região bucomaxilofacial.** 2017.

SCHAAFS, L.A.; LENK, J.; HAMM, B.; NIEHUES, S.M. **Reducing the dose of CT of the paranasal sinuses: potential of an iterative reconstruction algorithm.** *Dentomaxillofac Radiol* 2016; 45: 20160127.

SIMAL, C. J. R. **Medicina Nuclear.** 1ª. ed. Belo Horizonte: Folium, v. I, 2012. ISBN ISSN: 978-85-88361-56-0.

SOARES, Livia Prates et al. Indicações da tomografia computadorizada no diagnóstico das fraturas naso-órbito-etmoidais. **Archives of Oral Research**, v. 1, n. 1, 2017.

VOLPATO, N., AHRENS, C. H., FERREIRA, C. V., PETRUSH, G., CARVALHO, J., SANTOS, J. R. L., SILVA, J. V. L. **Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações.** São Paulo: Edgard Blücher, 2007.

WANZELER, Ana Márcia Viana. **Análise dos softwares gratuitos para tomografia computadorizada de feixe cônico de interesse aos cirurgiões-dentistas.** *Revistas*, v. 72, n. 1/2, p. 51, 2016.

ZHOU, Z.; LI, P.; REN, J.; GUO, J.; YONGQING HUANG; TIAN, W.; TANG, W. **Virtual facial reconstruction based on accurate registration and fusion of 3D facial and MSCT scans** *Virtuelle Gesichtsrekonstruktion auf der Grundlage genauer Registrierung und Fusion von 3-D- und MSCT-Scans.* *J Orofac Orthop* (2016) 77:104–111