

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE SAÚDE E SERVIÇOS - DASS  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM RADIOLOGIA**

**JAIANA RACHADEL GOULART**

**PRODUÇÃO DE MOLDES DE 28 DENTES  
DE UMA ARCADA HUMANA EM ARQUIVOS STL PARA FINS DE  
IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL**

**FLORIANÓPOLIS, 2019.**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE SAÚDE E SERVIÇOS - DASS  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM RADIOLOGIA**

**JAIANA RACHADEL GOULART**

**PRODUÇÃO DE MOLDES DE 28 DENTES  
DE UMA ARCADA HUMANA EM ARQUIVOS STL PARA FINS DE  
IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Tecnólogo em Radiologia.

Professora Orientadora: Tatiane Sabriela Cagol Camozzato, Dra.

Professor Co-orientador: Marco Antônio Bertoncini Andrade, M.e.

**FLORIANÓPOLIS, 2019.**

Ficha de identificação da obra elaborada pela autora.

Goulart, Jaiana Rachadel

PRODUÇÃO DE MOLDES DE 28 DENTES DE UMA ARCADA HUMANA EM ARQUIVOS STL PARA FINS DE IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL / Jaiana Rachadel Goulart ; orientadora, Tatiane Sabriela Cagol Camozzato, coorientador, Marco Antônio Bertoncini Andrade. – Florianópolis, sc, 2019.

47 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Intituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis, CST em Radiologia. Departamento Acadêmico de Saúde e serviços.

Inclui referências.

1. Anatomia. 2. Impressão tridimensional . 3. Radiobiologia. 4. Radiologia Odontológica. I. Sabriela Cagol Camozzato, Tatiane . II. Antônio Bertoncini Andrade, Marco. III. Intituto Federal de Santa Catarina, CST em Radiologia. IV. Título.

“A persistência é o caminho do êxito”. - Charles Chaplin

**PRODUÇÃO DE MOLDES DE 28 DENTES  
DE UMA ARCADA HUMANA EM ARQUIVOS STL PARA FINS DE IMPRESSÃO  
TRIDIMENSIONAL**

**JAIANA RACHADEL GOULART**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Tecnólogo em Radiologia e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Superior de Tecnologia em Radiologia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 24 de Junho de 2019.

Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Marco Antônio Bertoncini Andrade, M.e.

  
\_\_\_\_\_  
Tatiane Sabriela Cagol Camozzato, Dr.ª

  
\_\_\_\_\_  
Ivânia Macedo Feyli, Technol.

  
\_\_\_\_\_  
Charlene Silva, Esp.

## AGRADECIMENTOS

Agreço do fundo do meu coração aos meus pais que estiveram me dando o suporte e incentivo durante toda a graduação, dando a base forte para desenvolver meu crescimento pessoal e intelectual.

À Ana Carolina que sempre esteve ao meu lado, nos piores e melhores momentos, fazendo com que tudo parecesse mais fácil e leve.

Às amigadas que construí durante os 3 anos e meio de curso que me ensinaram muito sobre a vida e continuam me ensinando. Serei eternamente grata por todos os momentos dentro e fora da faculdade. Guardarei cada um em meu coração.

Sou grata aos professores cujas aulas tive a honra de assistir, pude aprender muito com cada um deles. Sei que o conhecimento adquirido que possibilitou uma formação acadêmica satisfatória não seria possível sem o esforço e dedicação desses professores dedicados a suas profissões.

Ao professor Matheus Savi, que no início deste projeto me incentivou e me deu base para continuar.

À minha orientadora que sempre se mostrou acessível para qualquer tipo de ajuda que pudesse oferecer e me motivou. E também agradeço ao meu coorientador Marco Bertoncini que me ajudou muito na parte prática desta pesquisa, sempre se mostrando pronto pra ajudar. Vocês foram incríveis.

Fica minha gratidão a toda equipe de técnicos, tecnólogos, físicos, enfermagem, médicos, administrativo e serviços gerais do setor de radioterapia do CEPON, onde fiz meu estágio no último semestre desta graduação. A cada momento dentro deste hospital eu pude aprender, não somente a termos técnicos e que usarei para toda minha carreira profissional mas aprendi muito sobre a vida, refleti sobre incontáveis momentos que me tornaram alguém muito melhor do que eu era quando entrei no estágio muitas vezes inspirada em vocês. Do fundo do meu coração obrigada. E um carinho especial aos que de fato me receberam e fizeram de todos os meus dias especiais, gratificantes e engraçados; Maycon, Luciana, Priscila, Marcos, Reginaldo, Adalberto, Ivânia, Gilmar, Vicente, Daniel.

Meus sinceros agradecimentos a cada pessoa que direta ou indiretamente contribuiu para que eu chegasse até aqui. Muito obrigada, de coração.

## RESUMO

A associação das imagens de uma tomografia computadorizada em formato DICOM e a modelagem 3D em um software CAD proporcionam a possibilidade de obter-se peças anatômicas muito similares a real. Intrínseco a esta informação o presente trabalho teve como objetivo confeccionar 28 modelos de dentes separados em dentina e esmalte formando 56 arquivos STL para fins de impressão 3D. A metodologia do trabalho se caracteriza quanto sua natureza como aplicada, quanto sua forma de abordagem é tecnológica, quanto ao seu objetivo geral se encaixa como exploratória e é uma pesquisa bibliográfica quanto aos seus procedimentos técnicos. A separação das estruturas se deu por conta da diferente atenuação que elas causam quando expostas a radiação, visando a impressão com diferentes materiais que possam simular esta diferença. Este trabalho construiu e descreveu uma metodologia de produção dos modelos anatômicos a partir das informações em DICOM. Testes de impressão foram feitos em ABS de diferentes cores sendo impressos 5 dentes para apresentação dos resultados final do presente trabalho, podendo concluir que os modelos feitos no software estão aptos para serem utilizados em diferentes projetos futuros, como por exemplo para produção de modelos antropomórficos e instaurados em projetos que construam um fantoma.

Palavras-chave: Anatomia. Impressão Tridimensional. Radiologia. Radiologia Odontológica.

## **ABSTRACT**

The association of the images of a computerized tomography in DICOM format and the 3D modeling in CAD software provides the possibility of obtaining anatomical parts very similar to real. Intrinsic to this information the present work had the objective to make 28 models of teeth separated in dentin and enamel forming 56 STL files for purposes of 3D printing. The separation of structures was due to the different attenuation they cause when exposed to radiation, aiming at printing with different materials that can simulate this difference. This work constructed and described a methodology for the production of anatomical models from the information in DICOM. And it can also bring a bibliographical review to the basis of all practical research. Printing tests were done in ABS of different colors, with 5 teeth being printed to present the final results of the present study, being able to conclude that the models made in the software are apt to be used in different future projects, for example for the production of anthropomorphic models and established in projects that build a phantom.

Keywords: Anatomy. Printing, Three-Dimensional. Radiology. Dental Radiology.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Anatomia dos dentes .....	13
Figura 2	32 dentes da boca humana; visão vestibular, lingual e oclusal .....	13
Figura 3	Incisivos .....	14
Figura 4	Caninos .....	15
Figura 5	Pré-molares .....	16
Figura 6	Molares .....	17
Figura 7	Componente dos dentes .....	18
Figura 8	Sistema de impressão FFF .....	20
Figura 9	Filamentos para impressão 3D .....	22
Figura 10	Dentes biológicos arcada superior .....	28
Figura 11	Dentes biológicos arcada inferior .....	29
Figura 12	Separação dos dentes de interesse; etapa a. ....	30
Figura 13	Threshold dentina; etapa b . ....	30
Figura 14	Threshold esmalte; etapa c. ....	31
Figura 15	Delineamento da anatomia de interesse com a ferramenta “paint” do slicer 3D. ....	32
Figura 16	Diminuição do smoothing factor; etapa f. ....	33
Figura 17	Exportar STL; etapa g. ....	33
Figura 18	Suavização do dente no Meshmixer .....	34
Figura 19	Impressora de marca GT max 3D, modelo Core H4 .....	34
Figura 20	Pós processamento das peças impressas	36
Figura 21	Dente 22 arquivo STL, estruturas delimitadas; esmalte, dentina e espaço pulpar .....	37
Figura 22	Dente 21 impresso em ABS branco .....	38
Figura 23	Dentes 21, 22, 23, 24 e 26 impressos	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Tridimensional
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
CAD	<i>Computer-aided Desing</i>
DICOM	<i>Digital Imaging and Communications in Medicine</i>
FDM	Fusão e Deposição de Material
ICRP	<i>International Comission on Radiological Protection</i>
ICRU	<i>International Comission os Radiation Units &amp; Measurements</i>
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
PLA	Ácido Polilático
STL	<i>Standard Tessellation Language</i>
SLS	Sinterização Seletiva A Laser
TC	Tomografia Computadorizada
TIJ	Impressão Térmica A Jato De Tinta

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1. Problema de Pesquisa.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2. Justificativa.....</b>	<b>8</b>
<b>1.3. Objetivo geral.....</b>	<b>9</b>
<b>1.4. Objetivos específicos.....</b>	<b>9</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1. Radiologia Odontológica .....</b>	<b>10</b>
2.1.1. Ensino em aula.....	10
2.1.2. Simuladores para Radiologia.....	11
<b>2.2. Anatomia Dos Dentes.....</b>	<b>12</b>
2.2.1. Incisivos .....	13
2.2.2. Caninos .....	14
2.2.3. Pré-Molares.....	15
2.2.4. Molares .....	16
2.2.4.1. Sisos .....	17
<b>2.3. Componentes dos dentes .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4. Modelagem 3D .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5. Impressão 3D .....</b>	<b>19</b>
2.5.1. Fusão e deposição de materiais (FDM) ou Fabricação com Filamento Fundido (FFF) .....	20
<b>2.6. Materiais utilizados em impressão 3D .....</b>	<b>21</b>
2.6.1. Ácido Polilático - PLA .....	22
2.6.2. Acrilonitrila Butadieno Estireno - ABS.....	22
<b>2.7. Aplicação da impressão tridimensional em estudos .....</b>	<b>23</b>
2.7.1. Pesquisa Médica e Odontológica .....	23
2.7.2. Educação Médica e Treinamento .....	24
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1. Métodos Aplicados.....</b>	<b>27</b>
3.1.1. Obtenção de dentes humanos.....	28
3.1.2. Escolha dos dentes .....	29
3.1.3. Aquisição das imagens em formato DICOM .....	29
3.1.4. Criação Do Modelo Digital Em Software.....	29
3.1.5. Suavização do modelo .....	34
3.1.6. Impressão Dos Modelo 3d.....	35
3.1.7. Pós processamento.....	36
<b>3.2. Aspectos éticos ligados à pesquisa.....</b>	<b>37</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>38</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>43</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A impressão 3D (em três dimensões) é uma tecnologia criada por Charles Hull, datada do ano de 1980, desde então tornou-se rapidamente um método rápido e mais econômico para criar protótipos, gerando o desenvolvimento dos mais diversos produtos dentro da indústria. O início da produção se dá com etapa de modelagem da imagem tridimensional que utiliza de um software *computer- aided desing* (CAD). Quando associado com exames de imagem, como Tomografia Computadorizada e Ressonância Magnética, o processo se inicia com a aquisição da imagem em formato *Digital Imaging and Communications in Medicine* (DICOM), podendo reproduzir estruturas anatômicas similares às originais (HOY, 2013). Após o termino da modelagem os modelos são enviados em formato *Standard Tessellation Language* (STL) para a impressora 3D, também chamada de prototipagem rápida, e logo são impressos (WONG, HERNANDEZ, 2012).

A tecnologia logo se expandiu e evoluiu com pesquisas, gerando o desenvolvimento de técnicas que permitiram que elas sejam usadas em diversos segmentos do mercado mundial. Na área da saúde já existe um grande número de pesquisas que envolvem impressão 3D, de forma que já é realizado o desenvolvimento de próteses de baixo custo, peças para auxiliar na preparação cirúrgica, tecidos, modelos anatômicos, entre outras utilidades que vêm otimizando o ensino e a prática da medicina (THOMSON, 2014)

Tendo em vista que na área radiológica existe uma grande importância e necessidade de simuladores anatômicos que representem com acurácia a realidade da anatomia, um melhor controle de qualidade, dosimetria, treinamento e aperfeiçoamento dos profissionais, deve-se difundir ideias que possam futuramente diminuir os custos de uma fantoma.

Com arquivos STL, modelados em softwares específicos a partir de uma imagem em formato DICOM, é possível imprimir tridimensionalmente peças anatômicas com grande similaridade com a realidade, essa tecnologia vem avançando muito e já revolucionou a medicina e muitos outros eixos de mercado. Ainda é preciso fazer pesquisas sobre este tema e com essa motivação exploratória a presente pesquisa será desenvolvida como primeira etapa de um projeto que visa a construção de um fantoma de cabeça completo. Este trabalho busca tornar acessível uma metodologia de modelagem de arquivos originalmente DICOM e exportados para

STL. Tendo como objetivo modelar 28 dentes de uma arcada superior e inferior de uma cavidade oral humana adulta e imprimir tridimensionalmente alguns dos modelos para teste.

### **1.1. Problema de Pesquisa**

Esta pesquisa questiona: de que forma se deve modelar tridimensionalmente dentes com softwares CAD (desenho assistido por computador), gerando arquivos STL?

### **1.2. Justificativa**

Um fantoma pode ser usado para ajudar no cálculo de dose absorvida, dosimetria, calibração de equipamentos, controle de qualidade e treinamento de estudantes e profissionais das técnicas radiológicas, suas funções serão melhor detalhadas no capítulo seguinte. Este trabalho está alinhado com outros trabalhos que juntos visam construir um fantoma antropomórfico de cabeça. Fantomas são equipamentos de elevado custo financeiro e por esse motivo existe uma grande dificuldade para sua obtenção.

A presente pesquisa justifica-se por criar modelos de dentes tridimensionais anatomicamente idênticos ao biológico com o intuito de serem utilizados futuramente no desenvolvimento de um fantoma antropomórfico de cabeça com baixo custo de produção, substituindo a compra da peça pela produção do mesmo.

Existe ainda a possibilidade de utilização das peças em aulas práticas na disciplina de radiologia odontológica com o uso de protótipos anatômicos artificiais para o estudo, dando ao estudante mais segurança quando for realizar exames radiológicos em um paciente real. Com esses recursos, será possível uma melhor fixação do conteúdo, colocando em prática o estudo anatômico e técnico radiológico que é dado em sala de aula, pois botando em prática o ensino teórico é quando realmente se fixa o conteúdo.

Portanto quando os arquivos STL é o primeiro passo para a construção de um simulador antropomórfico que será utilizado em pesquisa, educação e extensão.

### **1.3. Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho consiste em modelar tridimensionalmente 28 dentes humanos de forma a montar uma arcada superior e uma inferior dentária permanente completa, gerando arquivos STL para fins de impressão 3D.

### **1.4. Objetivos específicos**

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- a) adquirir uma tomografia computadorizada em formato DICOM de alta resolução de uma arcada dentária completa de dentes biológicos;
- b) modelar em 3D os 28 dentes a partir da imagem DICOM adquirida;
- c) separar dentina e esmalte na modelagem, obtendo-se 56 arquivos em formato STL.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

Neste capítulo será apresentado abordagens teóricas que foram relevantes para a elaboração da presente pesquisa, afim de discorrer sobre o conhecimento necessário para por em prática os objetivos da pesquisa. Faz um estudo das áreas de conhecimento que envolve a produção de dentes por uma impressora 3D, como a anatomia dos dentes, produções já existentes com impressão 3D e o impacto em todo o mercado internacional que essa tecnologia já está causando.

### **2.1. Radiologia Odontológica**

O conjunto de dentes desempenham as funções de mastigação, sustentação e proteção dos tecidos moles adjacentes, auxiliam na articulação de palavras e são um importante fator na estética da face (MADEIRA, 2005). Conforme Nanci (2017) os dentes são órgãos calcificados que quando saudáveis contribuem para a manutenção da saúde, porém quando não se apresentam saudáveis podem prejudicar a homeostase corporal.

A radiologia odontológica e imaginologia são ferramentas essenciais para o diagnóstico, planejamento e acompanhamento do tratamento das doenças bucais. Dr. Otto Walkhoff fez a primeira radiografia dental, em sua própria boca com um tempo de exposição de 25 minutos (ALVARES; TAVANO, 2000). Com o passar dos anos a evolução dos equipamentos permitiu um maior conhecimento, em nível anatômico e funcional, das estruturas do organismo humano. A busca pela melhoria da resolução de imagem permitiu a criação de aparelhos e métodos cada vez mais sofisticados, como a Tomografia Computadorizada (TC) (COSTA, 2007). O desenvolvimento da informática tem possibilitado grandes mudanças na área da saúde, em especial com a radiologia digital, que contribui com melhoria na qualidade das imagens, redução da dose de raios X e também a preservação do meio ambiente (SANNOMIYA, 2009).

#### **2.1.1. Ensino em aula**

A radiologia odontológica é uma área que está em constante desenvolvimento, tanto nas novas técnicas de imagem para diagnóstico quanto pelo seu vínculo com os sistemas digitais (SANTOS, 2016). A Associação Brasileira de

Radiologia Odontológica (ABRO) definiu os objetivos que se entende como adequados para o ensino de radiologia na graduação de odontologia. O ensino deve ser integrado com ao ensino de patologia e semiologia, resultando em uma educação multi, trans e interdisciplinar. O aluno deve também saber as indicações corretas para cada exame, identificar erros na técnica e saber corrigir, saber interpretar essas imagens e dominar os princípios da prática radiológica: ética, biossegurança e radioproteção (SCHRANK, 2014).

### 2.1.2. Simuladores para Radiologia

Após a descoberta dos raios X, tornou-se necessário um controle entre os fatores empregados para a obtenção da radiografia, as informações contidas nela e a quantidade de radiação recebida pelo paciente. Porém o princípio da justificação impede testes diretamente em seres humanos e para serem realizados se faz necessário um fantoma. Um simulador de cavidade oral pode ser utilizado na estimativa da dose absorvida em pacientes durante a realização do exame radiográfico odontológico, para a obtenção de parâmetro do aparelho de raios X e assim melhorar a qualidade de imagem e também reduzir a dose de radiação no paciente (MOURA NETO, 2009). Além disso, os simuladores permitem o treinamento de estudantes de radiologia e também profissionais da área a treinarem exames sem a exposição de pacientes reais.

Nos centros de radiodiagnóstico são utilizados estes simuladores de tecidos (ou *phantoms*, fantasmas), definidos pela *International Commission on Radiation Units & Measurements* - Comissão Internacional de Unidades e Medidas de Radiação (ICRU) 48 e *International Commission on Radiological Protection* – Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) 26 de 1977 como estruturas que contenham um ou mais tecidos equivalentes, ou seja, qualquer material que simula um corpo ou tecido com suas respectivas propriedades químicas e físicas apresentando propriedades de atenuação próximas à do tecido simulado (ICRP, 1977).

Esses fantasmas apresentam como principal propósito a simulação da interação do feixe com o paciente, objetiva a avaliação da atenuação da radiação e o estudo qualitativo (a definição e o contraste da imagem radiográfica) e quantitativo (caracterização dos achados radiológicos) do desempenho da imagem. (BARUFAUDI,



2016). Em vista disto o fantoma para radiografia dentária tem como um dos objetivos preparar estudantes para a radiologia clínica também auxilia no desenvolvimento desses aluno dentro da área acadêmica com o estudo da anatomia, da dosimetria e da análise qualitativa de imagens radiológicas.

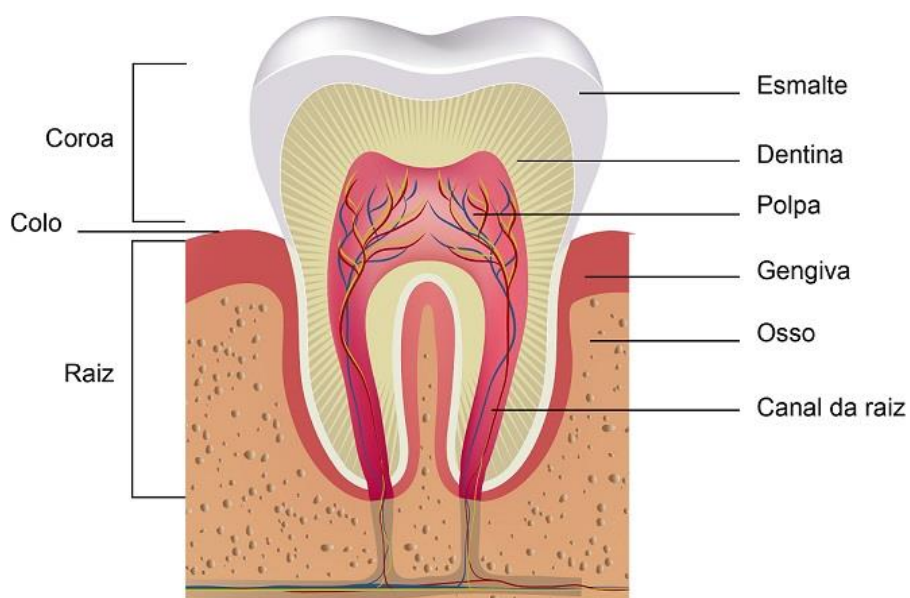
## **2.2. Anatomia Dos Dentes**

Os dentes são órgãos do corpo humano de consistência dura, cuja a principal função é a trituração de alimentos pela mastigação, mas também auxiliam na articulação das palavras e têm um papel importante na estética facial. Cada unidade fixa-se nos ossos por meio de fibras colágenas que constituem o ligamento alvéolo-dental ou ligamento periodontal. O homem é um animal difiodonte, ou seja, que troca de dente apenas uma vez, desta forma temos 20 dentes decíduos e 32 permanentes, dos quais 12 são molares, 8 pré-molares, 4 caninos e 8 incisivos (MADEIRA, 2005).

O dente possui uma parte visível e funcional na mastigação que constitui a coroa que permanece acima dos ossos de suporte e da gengiva. A fixação dos dentes com o osso alveolar se dá por meio da raiz, que está alojada nos alvéolos da mandíbula e da maxila. A raiz do dente tem um maior comprimento que a coroa e também sofre as maiores variações morfológicas, a raiz também varia conforme o tipo de dente, podendo ser única, dupla ou tripla (LUZ; SGROTT, 2003).

Quanto a sua parte estrutural, o dente tem o esmalte, que é a camada externa da superfície do dente, este constitui o tecido mais duro e mineralizado do corpo humano, sendo uma estrutura translúcida. A camada situada abaixo do esmalte é a dentina, este é um tecido vivo mineralizado muito menos resistente que o esmalte, e no seu interior possui tecido nervoso responsável pela condução de estímulos sensoriais. Já na parte central do dente temos o tecido mole chamado de polpa, onde se encontram nervos, os vasos sanguíneos que alimentam todas as estruturas, odontoblastos, que são as células formadoras dos tecidos dentários e células do tecido conjuntivo e conjuntivo frouxo (CHIEGO, 2013). A Figura 1 mostra todas as partes anatômicas faladas anteriormente.

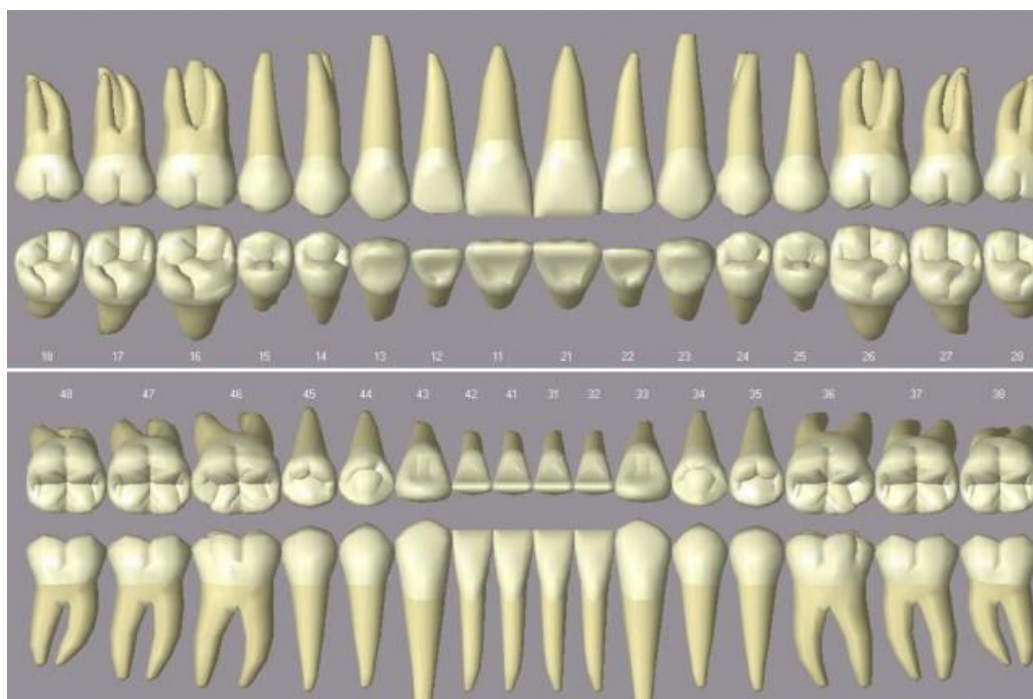
**Figura 1 - Anatomia dos dentes.**



Fonte: Generatepress, 2019

A Figura 2 mostra todos os dentes em visão vestibular e lingual.

**Figura 2: 32 dentes da boca humana em visão vestibular, lingual e oclusal.**



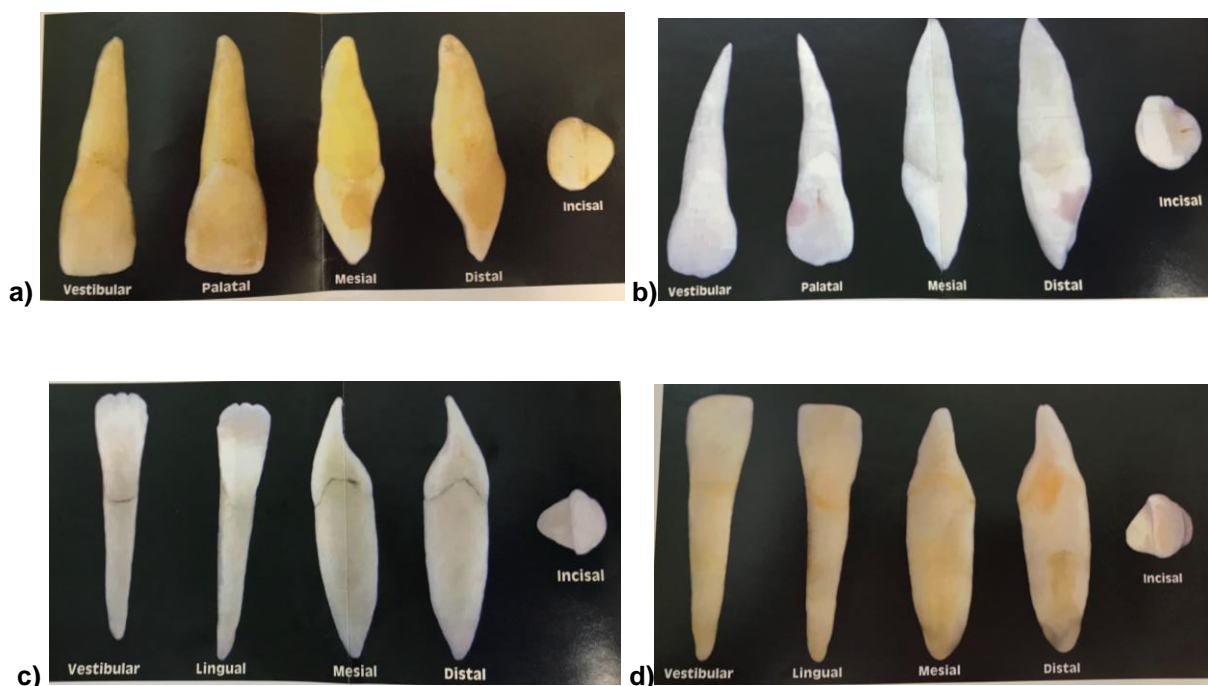
Fonte: Sparks, 2013

### 2.2.1. Incisivos

Os incisivos são os dentes frontais afiados projetados anatomicamente

para cortar alimentos, com formato de cinzel. O ser humano possui 8 incisivos no total, 4 superiores e 4 inferiores, 2 destes são centrais e 2 são laterais (LUZ; SGROTT, 2003). São dentes importantes também para a estética facial e nas articulações de palavras para emissão de sons línguo e labiodentais (MADEIRA, 2005). Os incisivos centrais possuem uma coroa mais volumosa que a do incisivo lateral, este possui uma única raiz cônica, curta e grossa, retilínea e também mais volumosa que os laterais (LUZ; SGROTT, 2003). A Figura 3 mostra todos os incisivos.

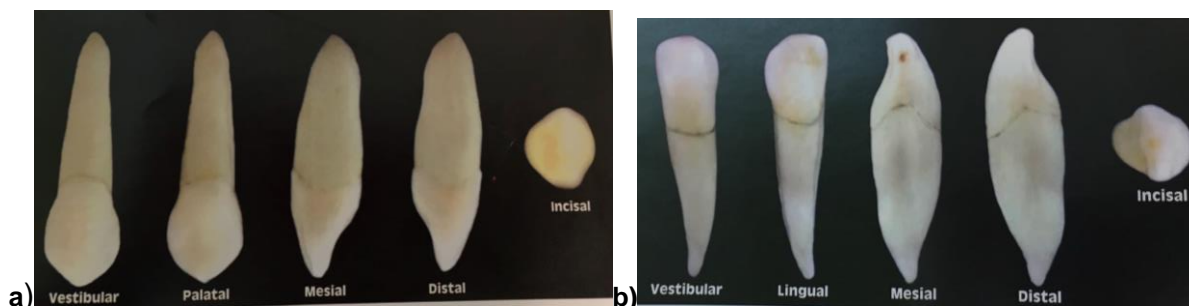
**Figura 3: Incisivos; a) central superior; b) lateral superior; c) central inferior; d) lateral inferior**



Fonte: LUZ; SGROTT, 2003.

### 2.2.2. Caninos

O ser humano possui 4 caninos, 2 inferiores e 2 superiores, estes dentes possuem uma ponta agudas (cúspides) projetada para rasgar os alimentos. O canino superior é o mais longo dos dentes, com uma coroa do mesmo comprimento que o incisivo central superior, porém com uma raiz bem mais longa; sua coroa apresenta um contorno pentagonal (LUZ; SGROTT, 2003). O canino inferior, comparado com o superior, tem a coroa mais longa e estreita (MADEIRA, 2005). A Figura 4 demonstra os caninos superiores e inferiores.

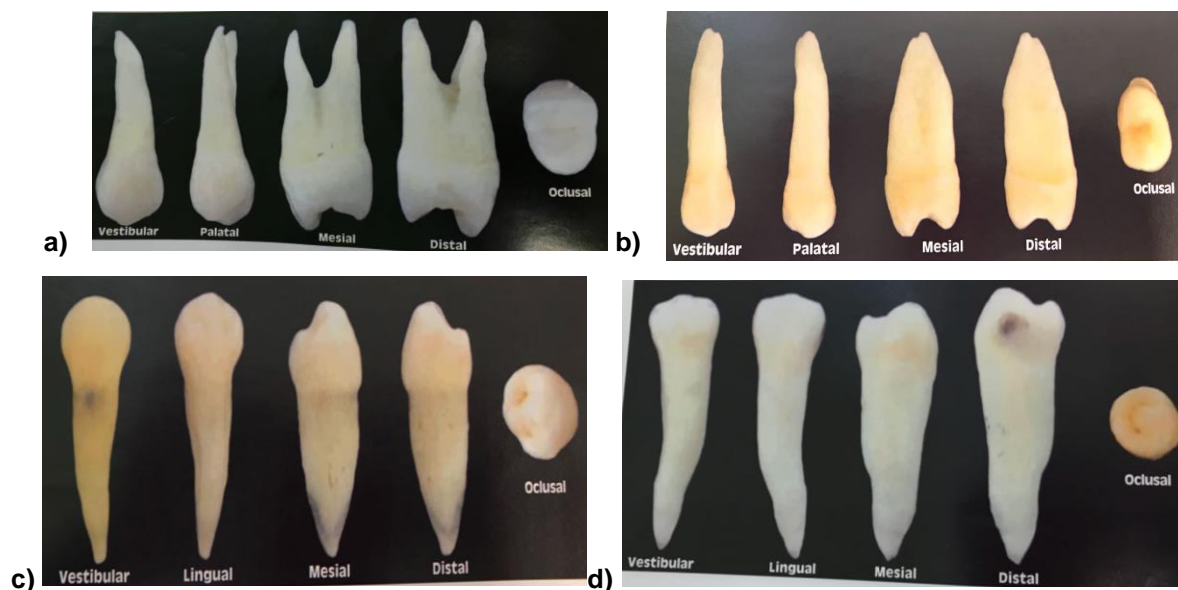
**Figura 4: Caninos: a) Superior; b) Inferior**

Fonte: LUZ; SGROTT, 2003.

### 2.2.3. Pré-Molares

A boca humana tem 8 dentes pré-molares, este tipo de dente apresenta duas cúspides na sua superfície configurado para esmagar os alimentos. O primeiro pré-molar superior geralmente possui duas raízes cônicas de inclinação distal, sendo uma vestibular maior e outra lingual, menor. O segundo pré-molar superior, em 90% dos casos, tem uma raiz única e achatada médio-distalmente. O comprimento de ambos os pré-molares superiores se equivale (MADEIRA, 2005). Os pré-molares inferiores possuem apenas uma raiz cônica e oval em secção transversal. E em relação à coroa, os 4 primeiros pré-molares são mais volumosos que os 4 segundos pré-molares, tanto superiores quanto inferiores (LUZ; SGROTT, 2003). A Figura 5 mostra os pré-molares.

**Figura 5: Pré-Molares: a) Primeiro pré-molar superior; b) Segundo pré-molar superior; c) Primeiro pré-molar inferior; d) Segundo pré-molar inferior.**

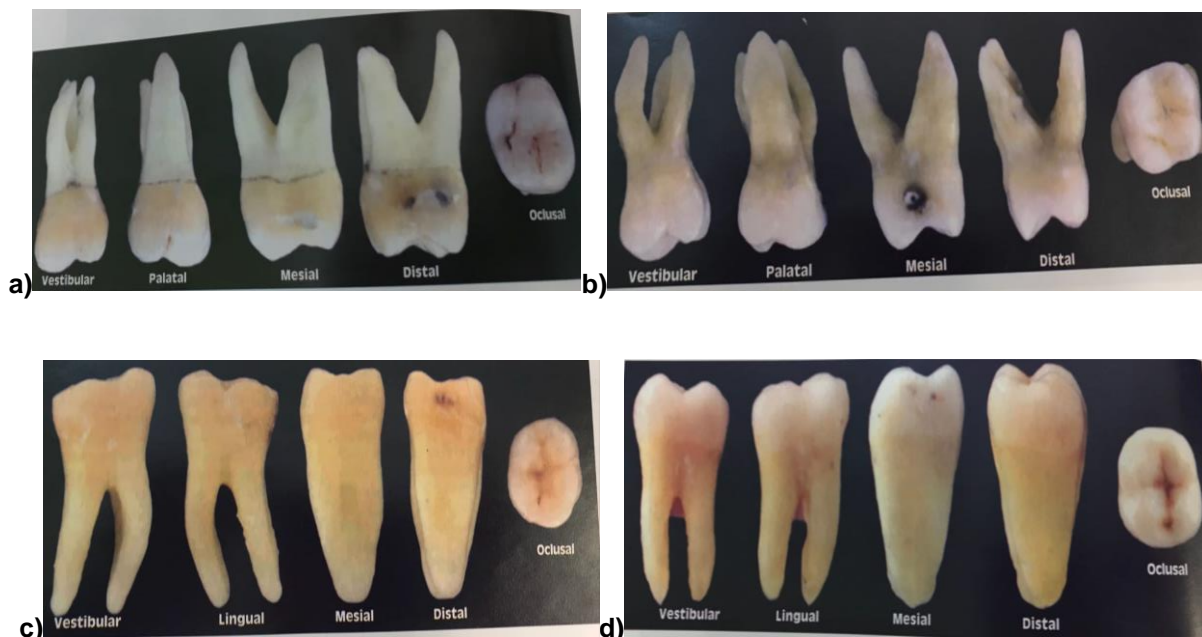


**Fonte: LUZ; SGROTT, 2003, p. 38-40.**

#### 2.2.4. Molares

Com 4 molares no arco inferior e 4 molares no arco superior, a boca humana totaliza 8 molares, que são essenciais para a mastigação, com a função de triturar os alimentos, sendo os dentes mais robustos (LUZ; SGROTT, 2003). Segundo o autor Madeira (2005), a coroa do primeiro molar é da mesma altura da coroa dos pré-molares do mesmo arco, porém é duas vezes mais larga. O primeiro e o segundo molar superiores possuem três raízes e os molares inferiores têm apenas duas raízes (LUZ; SGROTT, 2003). A Figura 6 demonstra os molares presentes na boca humana.

**Figura 6: Molares; a) Primeiro molar superior; b) Segundo molar superior; c) Primeiro molar inferior; d) Segundo molar inferior**



Fonte: LUZ; SGROTT, 2003, p. 40- 41.

#### 2.2.4.1. Sisos

Os dentes do siso são os últimos dentes a nascerem e os motivos alegados para sua remoção incluem o risco de impaction, de cáries, problemas periodontais, pericoronite. Estes são conhecidos também como terceiros molares, num total de quatro dentes, dois superiores e dois inferiores (LUZ; SGROTT, 2003). Nesta pesquisa não foram modelados modelos de sisos pois no empréstimo do dente os sisos não estavam inclusos, então desta forma não foram feitas imagens consequentemente não teve modelo.

### 2.3. Componentes dos dentes

O dente é revestido externamente em sua coroa pelo esmalte, que é um tecido bastante mineralizado e resistente, sendo o tecido mais duro do organismo humano, e é uma estrutura translúcida (LUZ; SGROTT, 2003). Logo abaixo do esmalte temos a dentina que é, talvez, o tecido dental mais importante, fazendo parte da coroa e da raiz do dente. Este tecido é formado por uma matriz calcificada com uma consistência firme, porém inferior ao esmalte, no seu interior é possível observar os

odontoblastos, células formadoras de tecido dentinário, dentro dos canalículos dentinários. Revestindo a parte radicular da dentina existe a camada osteóide chamada de cemento, esta camada possui alguns microns de espessura e é um componente do periodonto. No cemento há a inserção de inúmeras fibras colágenas que constituem a parte ligamentar do periodonto (LUZ; SGROTT, 2003).

A cavidade do dente, coronal e radicular, que contém o único tecido mole do dente, é a polpa dental. Esta estrutura é composta por tecido mesenquimal e possui um grande potencial de formar dentina durante toda a vida do dente. Anatomicamente este tecido se caracteriza por sua composição que se constitui de odontoblastos, células do conjuntivo, tecido conjuntivo frouxo, vasos e nervos (CHIEGO, 2013).

Na Figura 7 estão representados as componentes dos dentes.

**Figura 7 – Componente dos dentes.**



Fonte: Só Biologia, 2018.

## 2.4. Modelagem 3D

A modelagem 3D é uma técnica que tem como objetivo criar objetos digitais tridimensionais utilizando softwares de computador. Essa tecnologia vem se desenvolvendo na área médica desde os anos 80, possibilitando a partir de cortes tomográficos criar objetos tridimensionais. Em conjunto com a impressão 3D, este processo resulta em um objeto físico a partir de modelos digitais (HOY, 2013).

O processo de produção se inicia com o modelo 3D da peça no software de desenho assistido por computador, do inglês *Computer Aided Design* (CAD), onde é fatiado eletronicamente (NETO, 2014). Em geral os softwares de CAD oferecem a opção de salvar os arquivos em diferentes formatos, porém o mais comumente

utilizado é o formato *Standard Tessellation Language* (STL), apresentando-se como um formato compatível com grande maioria das impressoras 3D disponíveis no mercado internacional (DUARTE, 2016).

No caso de estruturas anatômicas primeiro é escolhido um exame de uma tomografia computadorizada em que se obtêm as imagens em DICOM e então é utilizado um software para a modelagem 3D, no caso do estudo presente foi utilizado o “3D *Slicer*” que se encontra disponível na internet gratuitamente. O modelo gerado é enviado para estação de impressão onde então a fabricação do modelo acontece de fato.

## 2.5. Impressão 3D

A impressão tridimensional (3-D) foi inventada e introduzida por Charles Hull em 1986, e no seu início se deu na indústria de automobilismo e engenharia, hoje o método é estudado e aplicado em vários ramos do mercado internacional (ANH-VU DO; KHORSAND, 2015). No Brasil, na área da saúde, o que já existe é a produção de instrumentos de planejamento cirúrgico, o que ajuda o cirurgião no êxito de procedimentos muito minuciosos, melhorando o prognóstico do paciente (KWOK, 2018).

Essa tecnologia envolve um processo de modelagem digital de um objeto que irá gerar uma peça física. A prototipagem rápida, mais conhecida como “impressão 3D”, é um processo de fabricação através do acréscimo de material em forma de camadas plana (NETTO, 2015). As três tecnologias de impressão 3D mais utilizadas em aplicações médicas são: sinterização seletiva a laser (SLS), impressão térmica a jato de tinta (TIJ) e modelagem por deposição de material fundido (FDM) ou fabricação com filamento fundido (FFF) (VENTOLA, 2014).

Ventola (2014, p. 711) ainda descreve características de cada tipo:

A impressão a jato de tinta é uma técnica de "sem contato" que usa tecnologia térmica, eletromagnética ou piezoelétrica para depositar minúsculas gotículas de "tinta" (tinta real ou outros materiais) em um substrato de acordo com as instruções digitais.

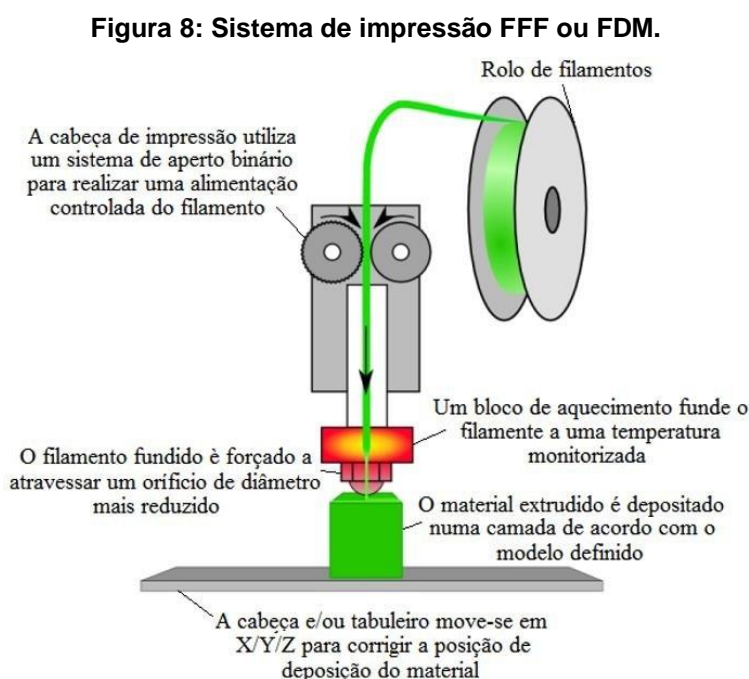
Uma impressora SLS usa material em pó como substrato para imprimir novos objetos. Um laser desenha a forma do objeto no pó, fundindo-o. Então uma nova camada de pó é depositada e o processo se repete, construindo cada camada, uma por uma, para formar o objeto.

As impressoras FDM são muito mais comuns e baratas do que o tipo SLS. Uma impressora FDM usa um cabeçote de impressão semelhante a uma



impressora a jato de tinta. No entanto, em vez de tinta, as esferas de plástico aquecido são liberadas do cabeçote de impressão à medida que se movem, construindo o objeto em camadas finas. (VENTOLA, 2014, p. 711)

A interação de diversas tecnologias acessórias mais recentes permite a diversidade de sistemas de prototipagem rápida que existem atualmente no mercado (AHRENS, 2007). A Figura 8 demonstra o sistema de impressão FDM/FFF e detalha seu funcionamento.



Fonte: Rui Moreira, 2016.

É possível realizar a mistura de materiais com o filamento plástico que alimenta a impressora, tornando possível desta forma fazer modelos impressos com materiais que simulem a interação da radiação com o tecido biológico humano. Isto faz com que a área da radiologia cresça exponencialmente junto com a tecnologia de impressão tridimensional (HAMEDANI et al., 2017).

### 2.5.1. Fusão e deposição de materiais (FDM) ou Fabricação com Filamento Fundido (FFF)

A tecnologia *Fused Deposition Modeling* (FDM) foi inventada nos anos 80 por Scott Crump, logo depois uma tecnologia perto de ser idêntica foi criada e chamada de Fusão e Deposição de Material ou Fabricação com Filamento Fundido

(FFF), ela é umas das tecnologias mais comuns de impressão 3D utilizados na área médica (VENTOLA, 2014). Seu funcionamento se dá com a movimentação do cabeçote de extrusão nos eixos X-Y sobre uma mesa de construção, depositando material de acordo com a geometria modelada da peça e recebendo o material plástico na forma de um fio que é aquecido até o ponto de se tornar semilíquido ou pastoso. Já a plataforma de impressão se desloca verticalmente no eixo Z (AHN et al., 2002)

Esta tecnologia necessita da criação de suporte para que seja possível a construção de regiões que não estejam conectadas ao corpo da peça em algum estágio do processo. Os principais parâmetros possíveis de serem controlados nesse processo são: a espessura da camada, temperatura da extrusora, temperatura da cama, velocidade, resfriamento, entre outros parâmetros (3D FILA, 2018).

## **2.6. Materiais utilizados em impressão 3D**

Com a existência de variados tipos de tecnologia para a impressão 3D os materiais utilizados para a produção dos protótipos também estão disponíveis em uma gama alta de variedades. As propriedades dos materiais que serão utilizados devem ser específico para cada aplicação. O filamento é o material base usado nos objetos impressos pela tecnologia de prototipagem rápida por meio da modelagem de deposição fundida (VENTOLA, 2014).

Segundo Yusuf (2016), o filamento é geralmente um termoplástico que alimenta uma cabeça de impressão e é aquecido ao ponto de fusão para uma extrusão através de um bico pequeno. Os filamentos são comumente encontrados em bobinas de largura de 1.75 mm e 3 mm de diâmetro em formato de rolo (Figura 9) (YUSUF, 2016). Os plásticos mais utilizados em produções são o ácido polilático (PLA) e o Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) (ROHRINGER, 2018). Ambos serão descritos nos próximos itens.

A Figura 9 demonstra os frolos de filamentos.

**Figura 9: Filamentos para impressão 3D**

Fonte: YUSUF, 2016

#### 2.6.1. Ácido Polilático - PLA

No domínio da impressão 3D em casa, o ácido polilático (PLA) é o mais utilizado seguido pelo ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) (ROHRINGER, 2018). O PLA tem temperatura de impressão menor que o ABS e não deforma tão facilmente, não sendo necessária uma cama de aquecimento, embora ajude no processo de produção. É um termoplástico biodegradável, feito a partir de recursos renováveis, como amido de milho ou cana de açúcar. Este material está disponível em uma gama ampla de cores e existem variedades que adicionam fibras para dar aparência de madeira ou metal. Suas desvantagens são: ele se apresenta menos durável do que o ABS e é mais suscetível a apresentar danos ao ser exposto ao calor, porém é um material com um preço acessível. O filamento pode variar quanto ao seu comprimento e seu diâmetro e é disponibilizado em forma de rolo (YUSUF, 2016).

#### 2.6.2. Acrilonitrila Butadieno Estireno - ABS

Seguido do PLA, o segundo filamento mais utilizado atualmente é o acrilonitrilo-butadieno-estireno, usualmente conhecido como ABS. Ele é prontamente acessível, forte, leve e tem disponível uma grande gama de cores (YUSUF, 2016). Segundo (ROHRINGER, 2018), quanto às suas propriedades, este material se

apresenta moderadamente superior ao PLA, possui alta durabilidade e suporta altas temperaturas e tensões. Sua desvantagem é a tendência de deformação durante o resfriamento e a exposição a vapores intensos, sendo necessário imprimir com uma cama de aquecimento e em um espaço bem ventilado.

Este material possui maior dificuldade de impressão do que o PLA, porém suas características gerais o tornam um bom filamento para fins gerais (YUSUF, 2016). Para o presente trabalho foi escolhido este material no filamento para a impressão dos modelos.

## **2.7. Aplicação da impressão tridimensional em estudos**

Desde sua criação, a prototipagem rápida vem sendo estudada em diversas áreas, dentre elas a área médica. Ela vem contribuindo no planejamento de cirurgias delicadas e também para a fabricação de próteses. Já existe a impressão de osso, pele e até órgãos completos, demonstrando o potencial desta tecnologia para a prática da medicina na próxima década (HOY, 2013).

### **2.7.1. Pesquisa Médica e Odontológica**

A partir de 1986 a tecnologia de impressão tridimensional foi atingindo inúmeras áreas e com isso muitas pesquisas foram sendo feitas e as técnicas foram sendo aprimoradas, revolucionando muitos desses segmentos. Segundo Morrison (2015), na área da saúde, a impressão 3D foi inicialmente aplicada para a fabricação de próteses auditivas, próteses de amputados e aparelhos dentários portáteis. Até o momento os usos médicos foram confinados a estruturas estáticas, porém atualmente essa tecnologia possui um potencial ainda inexplorado para fornecer dispositivos que se adaptam ao crescimento e ou a mudanças do tecido, os biomateriais 3D imprimíveis criam este potencial.

Salmi (2013) diz que as aplicações médicas para os produtos gerados na impressão 3D estão crescendo exponencialmente, agindo de forma eficaz em procedimentos cirúrgicos e na odontologia. Porém ainda existem avanços a serem feitos que levarão tempo para serem concluídos, por conta de desafios científicos e regulatórios (VENTOLA, 2014)

### 2.7.2. Educação Médica e Treinamento

Os modelos tridimensionais estão revolucionando também a área da educação, com a impressão de peças que tornam desde aulas mais dinâmicas até as que auxiliam um cirurgião na preparação e planejamento de um procedimento minucioso (ROMERO, 2015). Segundo Govsa (2017), as peças funcionam como ferramenta essencial de consultório para cirurgias vasculares, auxiliando os cirurgiões no pré-operatório, e ensinam também o paciente e os estagiários cirúrgicos simulando o procedimento a ser seguido. Objetos tridimensionais também auxiliam estudantes da área da saúde a compreender melhor várias estruturas, sua anatomia e fisiologia. Silveira (2013, p. 2) afirma que “a correspondência entre imagens bidimensionais e tridimensionais é uma aptidão relevante para a comunicação e o aprendizado desta etapa da embriologia humana”, mas este raciocínio pode ser levado para outras áreas da área da biologia.

Na área da radiologia, a produção pela prototipagem rápida de fantomas que representam a interação da radiação ionizante com a matéria, tem uma grande perspectiva para o futuro, com pesquisas sendo feitas incluindo o presente estudo que caminham juntos para a montagem de um fantoma (ZHANG, 2018). Além de baratear o produto que hoje é encontrado quase exclusivamente em mercado internacional, torna mais fácil o acesso e aumenta o número de pesquisas dosimétricas.

### 3 METODOLOGIA

Esta é uma pesquisa científica que tem como objetivo a modelagem tridimensional de 28 dentes permanentes, com o auxílio de softwares de c Barros e Lehfeld (1990) descrevem o que é pesquisa:

É a exploração, é a inquirição, é o procedimento sistemático e intensivo, que tem por objetivo descobrir e interpretar os fatos que estão inseridos em uma determinada realidade. A pesquisa é definida como uma forma de estudo de um objeto. Este estudo é sistemático e realizado com a finalidade de incorporar os resultados obtidos em expressões comunicáveis e comprovadas aos níveis do conhecimento obtido (BARROS; LEHFELD, 1990, p. 14).

Quanto à sua natureza, este estudo se caracteriza como uma pesquisa aplicada, que, segundo Gil (2009, p 35), “Objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais”.

Esta pesquisa também pode ser classificada como de caráter exploratório pois tem como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias (GIL, 2009).

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, a fase exploratória da pesquisa se encaixa como uma pesquisa bibliográfica, porém os resultados da pesquisa não é uma revisão literária. Segundo o autor Fonseca (2002) é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de *web sites*.

Esta presente pesquisa se define de cunho tecnológico, caracterizada por utilizar a tecnologia como base para a solução prática de problemas.

#### 3.1. Métodos Aplicados

Esse trabalho foi executado em duas fases: estudo teórico e prático. O estudo teórico consistiu em uma pesquisa bibliográfica em busca de documentos em sua grande maioria *web sites* mediante termos indexados e também livros de anatomia Para a elaboração do referencial teórico, artigos foram pesquisados nas bases de dados Scielo, Scopus, LILACS e Google Acadêmico, livros também foram consultados. Os termos em português indexados para a seleção de artigos foram;

Dentes, Bioimpressão, Impressão tridimensional, Modelos Anatômicos e Radiologia. Somente o termo “*Radiology*” foi indexado na língua inglesa.

E a fase prática está disposto em ordem cronológica de acontecimentos nos próximos itens a serem apresentados, tendo como objetivo fazer os moldes dos 28 dentes em arquivos STL. Para a verificação da eficácia dos moldes foi necessária a impressão de 5 modelos.

### 3.1.1. Obtenção de dentes humanos

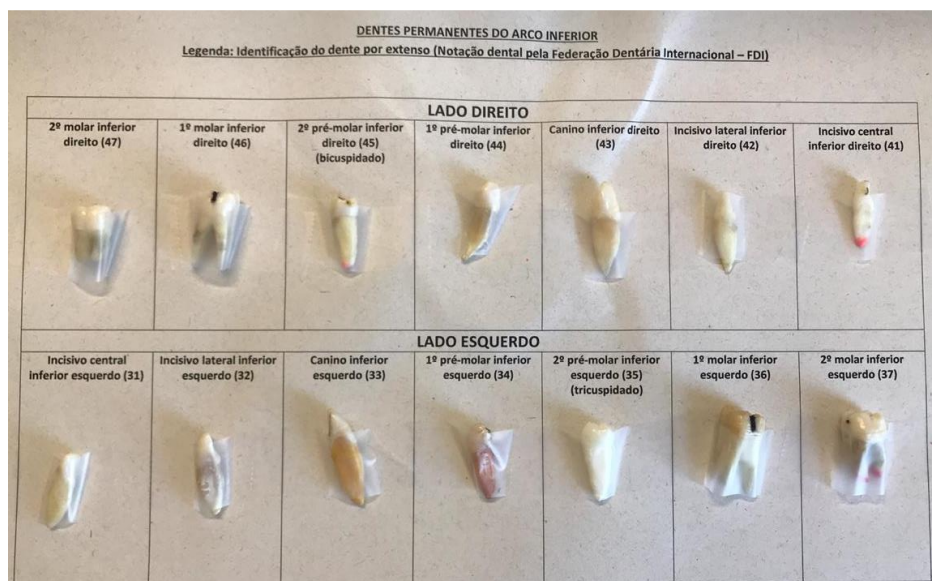
A obtenção dos dentes humanos para a posterior aquisição das imagens foi mediante a uma parceria com a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) resultando no empréstimo de uma arcada superior e uma inferior de um corpo humano. Pode-se observar as duas arcadas nas Figuras 10 e 11.

**Figura 10 – Dentes biológicos arcada superior.**



Fonte: dados da pesquisa, 2019.

**Figura 11 – Dentes biológicos arcada inferior.**



Fonte: dados da pesquisa, 2019.

### 3.1.2. Escolha dos dentes

Neste trabalho, foram modelados tridimensionalmente 28 dentes de uma arcada inferior e uma superior, com o objetivo de posteriormente encaixar essas arcadas em uma mandíbula e nas maxilas para formar um fantoma clínico para radiologia.

### 3.1.3. Aquisição das imagens em formato DICOM

Primeiramente foi realizado o exame dos dentes biológicos no Hospital Infantil Joana de Gusmão (HIJG) em um tomógrafo Philips, modelo Brilliance CT de 6 canais. Os parâmetros de aquisição das imagens que foram utilizados foram: espessura de corte de 0.75 mm e tensão de pico de 90 kVp.

Em seguida foram obtidos os dados brutos do exame com a gravação das imagens em formato DICOM via telemedicina.

### 3.1.4. Criação Do Modelo Digital Em Software

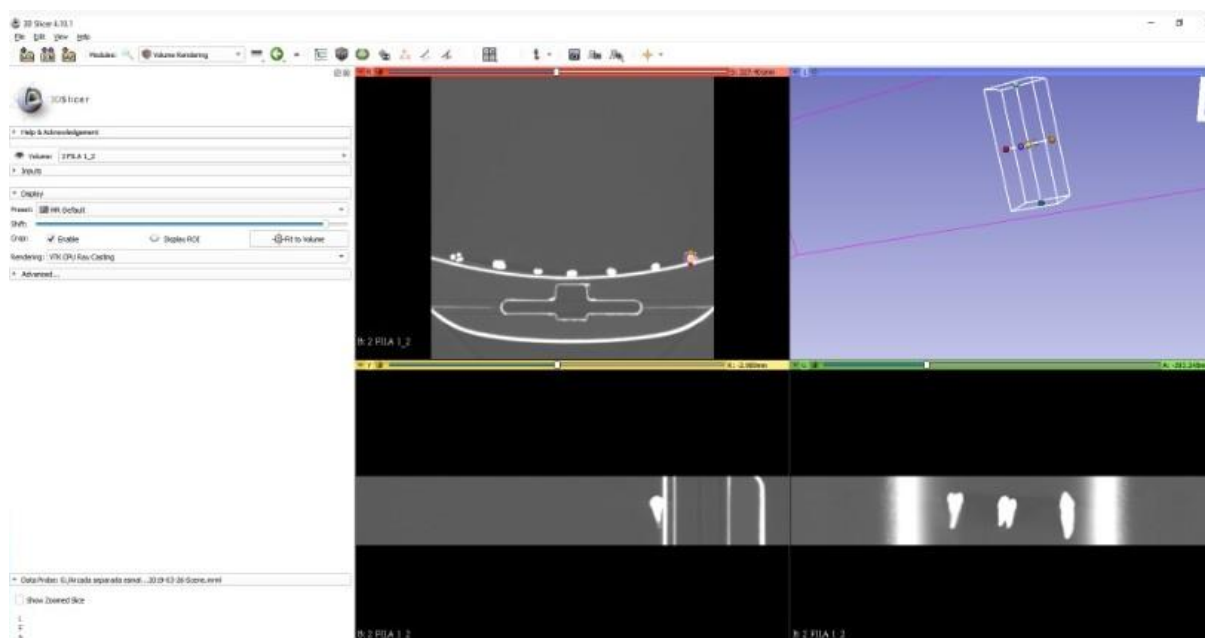


Após serem escolhidas as imagens DICOM que foram utilizadas na pesquisa, iniciou-se o processo de modelagem 3D. Esta etapa foi feita em um *software* de Desenho Assistido por Computador (DAC ou CAD - do inglês: *computer aided design*), o 3D Slicer, que se encontra gratuitamente na internet. Este software exporta os arquivos em formato STL, ou seja, formato padrão para arquivos tridimensionais, proporcionando desta maneira a possibilidade de modelagem dos objetos estudados.

Os passos seguidos para a criação do modelo no slicer 3D foram os listados abaixo;

- a) Separação um dente dos restantes no arquivo: foi necessário separá-los individualmente para que a modelagem fosse feita mais minuciosamente. (Figura 12);

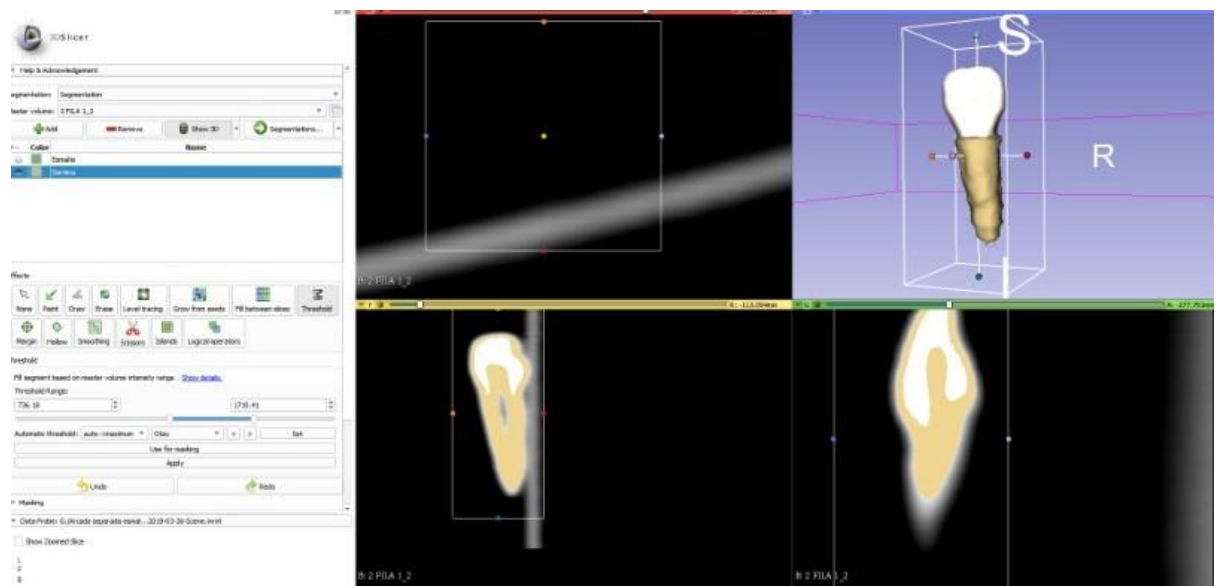
**Figura 12 - Separação dos dentes de interesse. Etapa a.**



Fonte – Dados da pesquisa, 2019.

- b) Aplicação do Threshold da dentina: essa ferramenta permite delimitar os tons de HU que correspondem a anatomia desejada. (Figura 13);

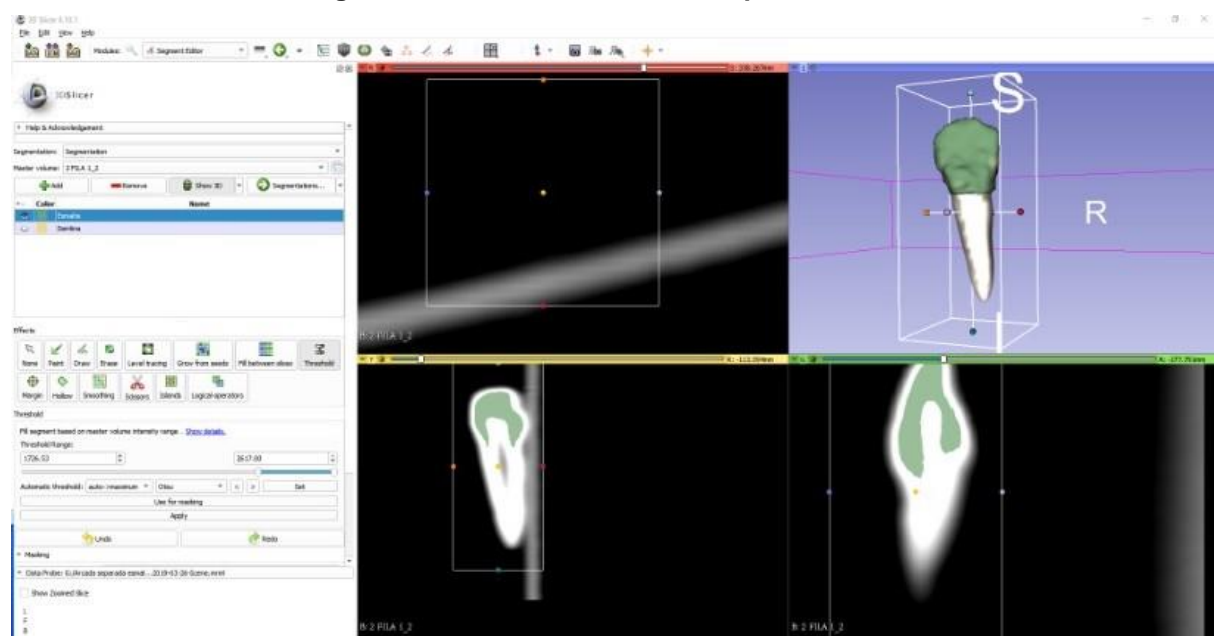
Figura 13- Threshold dentina. Etapa b.



Fonte – Dados da pesquisa, 2019.

- c) Aplicação do Threshold da esmalte: essa ferramenta permite delimitar os tons de HU que correspondem a anatomia desejada. (Figura 14);

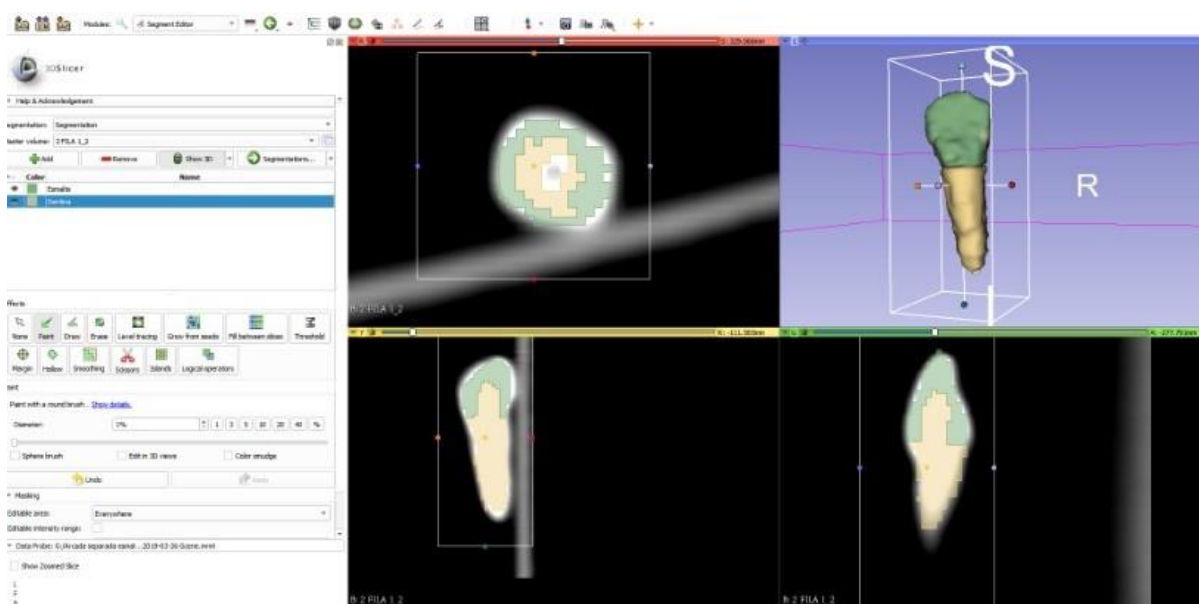
Figura 14 - Threshold esmalte. Etapa c.



Fonte – Dados da pesquisa, 2019.

- d) Criação do modelo 3D: utilizando a ferramenta make model;
- e) Aperfeiçoamento do dente: é feito corte por corte dos eixos sagital, coronal e axial, foram revisados para que os pixels ficassem apenas na região de interesse separando dentina, esmalte e espaço pulpar. (Figura 15);

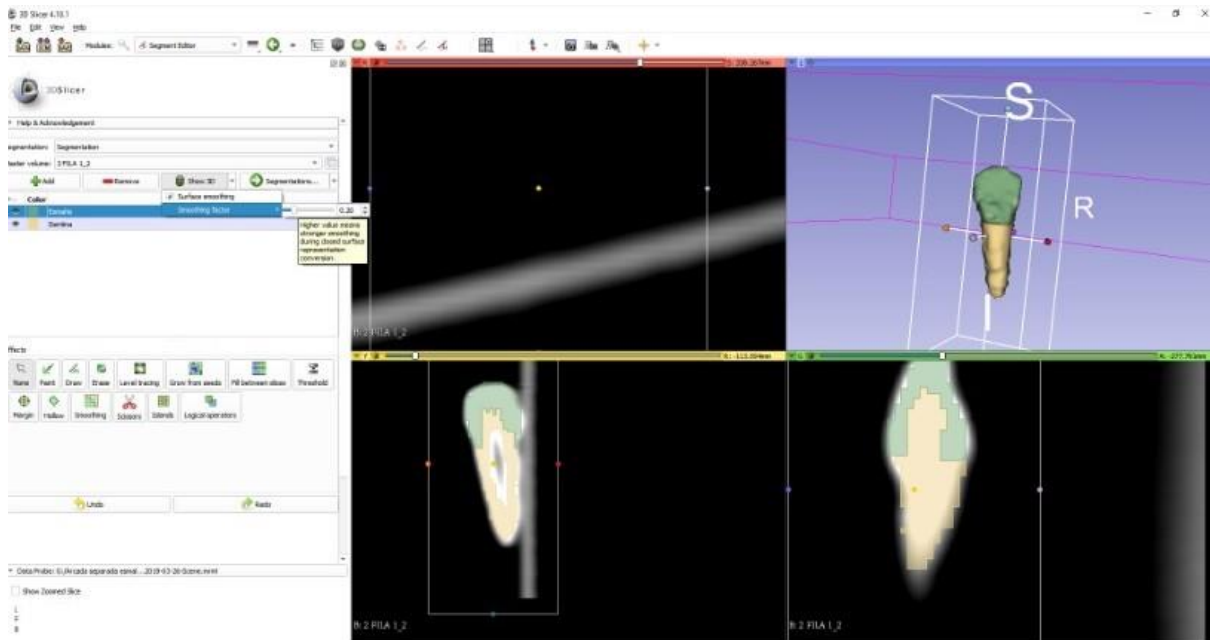
**Figura 15 - Delineamento da anatomia de interesse com a ferramenta “paint” do slicer 3D.**



Fonte – Dados da pesquisa, 2019.

- f) Aplicação do efeito “smoothie” para 0.20. (Figura 16);

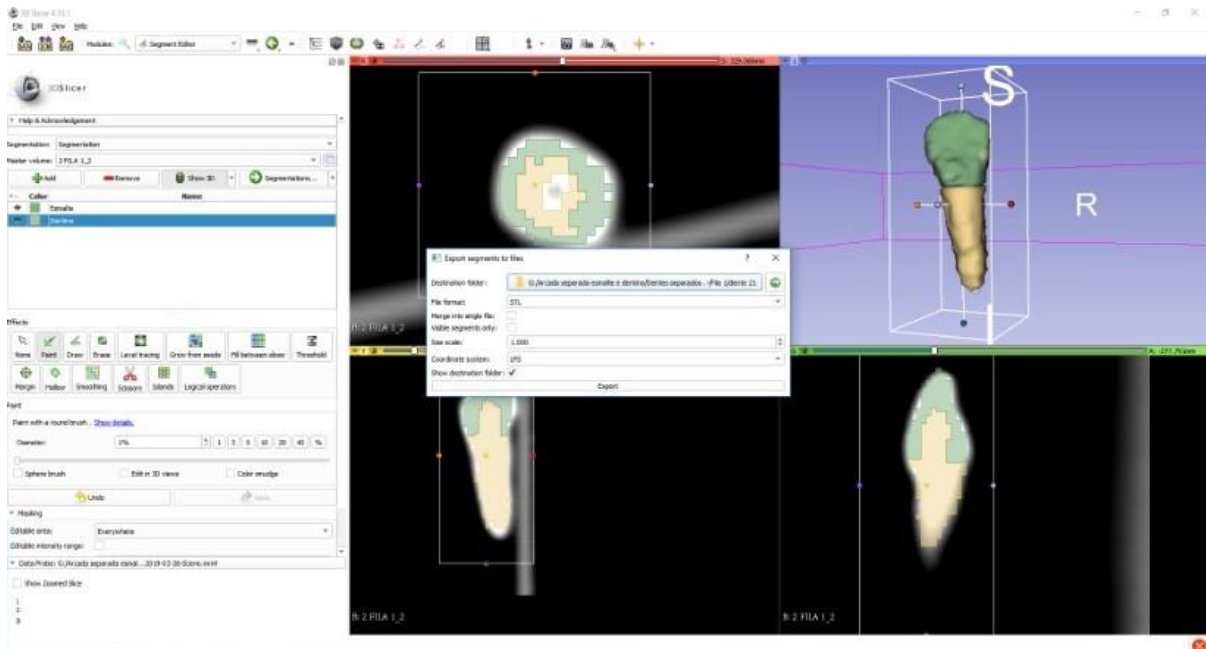
Figura 16 - Diminuição do smoothing factor. Etapa f.



Fonte – Dados da pesquisa, 2019.

g) Exportação dos segmentos separadamente em STL. (Figura 17).

Figura 17 - Exportar STL. Etapa g.

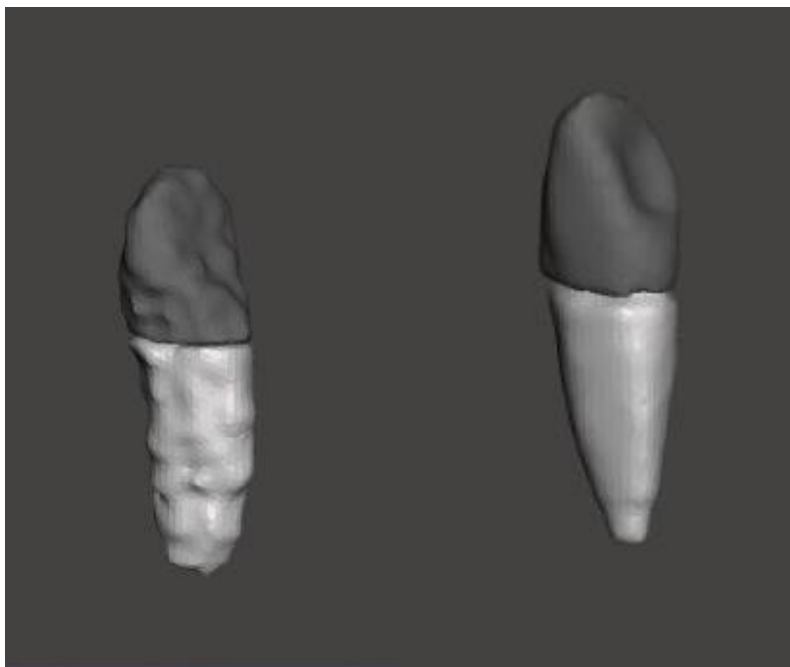


Fonte – Dados da pesquisa, 2019.

### 3.1.5. Suavização do modelo

Logo após essas etapas, os dois modelos, dentina e esmalte, do mesmo dente foram importados para o software Meshmixer. Nesse programa foi suavizado o dente na sua superfície foi aplicado o filtro “*ShrinkSmooth*”, finalizando o pós processamento digital do modelo e tornando-o com qualidade apta para impressão tridimensional como pode ser observado na Figura 18.

Figura 18 – Suavização do dente no Meshmixer.

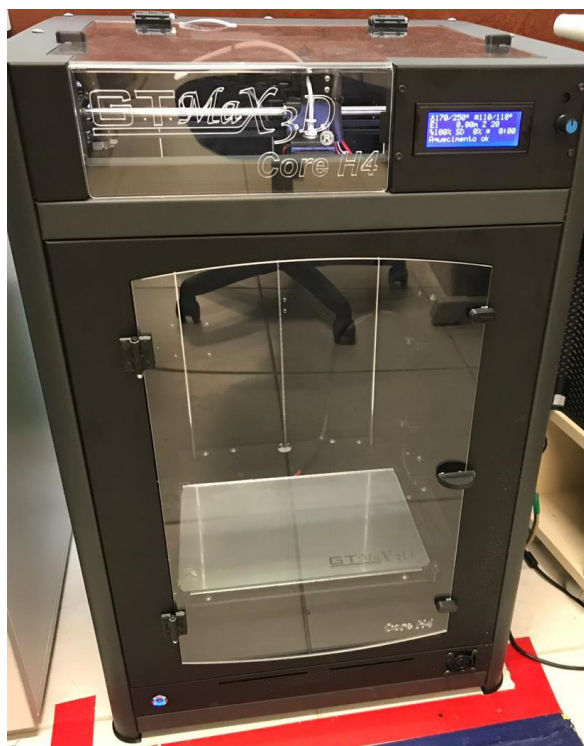


Fonte – Dados da pesquisa, 2019.

#### 3.1.6. Impressão Dos Modelo 3d

Foi feita a impressão de 5 dentes com filamento ABS em uma impressora 3D de marca GT max 3D, modelo Core H4, pertencente ao Grupo de Pesquisa em Proteção Radiológica do IFSC, com método de impressão FFF. Esta impressora está demonstrada na Figura 19.

Figura 19 - Impressora 3D de marca GT max 3D, modelo Core H4.



Fonte: Dados da pesquisa , 2019.

O software utilizado para impressão é o Simplify 3D, onde foram colocadas configurações de impressão para o ABS.

Foram impressos 5 protótipos com o objetivo de fazer a verificação da eficácia dos moldes produzidos, com filamento de ABS de cores diferentes que apenas de diferenciam por seus fornecedores.

### 3.1.7. Pós processamento

Posteriormente a impressão as peças foram submetidas a um pós processamento que visou tirar as imperfeições causadas no processo de impressão. Primeiramente elas foram lixadas e depois colocadas sob o vapor de acetona em um pote fechado para sua superfície ficar mais homogênea. Como ilustra a Figura 20.

Figura 20 – Pós processamento das peças impressas.



Fonte: Dados da pesquisa , 2019.

### **3.2. Aspectos éticos ligados à pesquisa**

Esta pesquisa não envolveu nenhum teste em humanos ou animais, não envolveu divulgação de nenhum nome ou prontuário de paciente, por esses motivos esta pesquisa categoriza-se como isenta de aprovação por parte de um comitê de ética.



#### 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

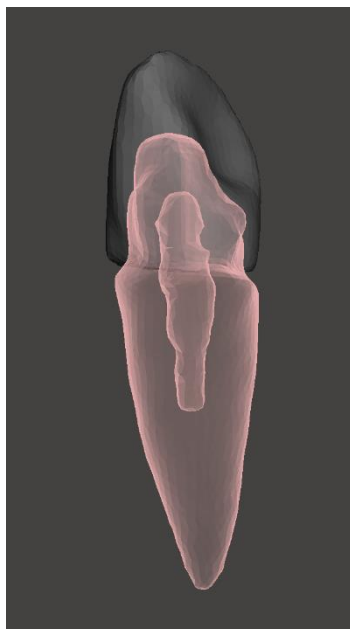
A união de imagens radiológicas de Tomografia Computadorizada e tecnologias de softwares de modelagem e suavização tridimensional permitiram a criação de 28 modelos dentários, formando uma arcada dentária adulta. Totalizaram-se 56 arquivos em formato STL, 28 dentinas e 28 esmaltes, tornando possível a impressão dessas duas componentes dentárias em diferentes materiais que possam simular cada uma delas similarmente ao tecido seu biológico.

Ciobota afirma que o formato STL (stereolithography) é um formato de arquivo nativo para software CAD criados por sistemas 3D. Também chamado de Standard Tessellation Language este é um formato suportado por muitos pacotes de softwares, e é amplamente utilizado para prototipagem rápida e fabricação assistida por computador (CIOBOTA, 2012). Nenhum outro formato foi tão bem aceito e então adotado para os sistemas CAD (BROWN, 2014).

Gerke et al. (2019) realizou um estudo analisando três softwares gratuitos de converção do formato DICOM para STL sendo o mais completo e preciso foi o 3D *slicer* que foi o programa utilizado no presente estudo na etapa de modelagem das peças.

Na Figura 21 podemos ver o arquivo STL no programa “*meshmixer*” com a separação da dentina, do esmalte do espaço pulpar.

**Figura 21 – Dente 22 arquivo STL, estruturas delimitadas; esmalte, dentina e espaço pulpar.**



**Fonte: Dados da pesquisa, 2019.**

Assim como foi no dente 22 foram feitos em todos os outros 28 dentes a separação da dentina, esmalte e do canal pulpar. Por apresentarem diferentes densidades portanto atenuarem diferentemente a radiação causando diferenças nos tons de HU da imagens de tomografia, o que torna possível esta divisão.

A tecnologia de impressão por deposição fundida já foi utilizada anteriormente por Ehler et al. (2014) e Bache et al. (2015) e esses autores concluíram que pode ocorrer uma deformação durante o processo de produção. Por conta disso foram impressas algumas peças antes de que se obtivesse o resultado esperado dos dentes resultantes.

Foram impressos tridimensionalmente os dentes 21, 22, 23, 24 e 26 para fins de testes. Na Figura 22 é demonstrado o dente 21 impresso. Não mostrou-se necessário impressões de todos os arquivos produzidos.

**Figura 22 – Dente 21 impresso em ABS branco.**



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Na Figura 23 podemos observar todos os dentes que foram impressos.

Figura 23 – Dente 21, 22, 23, 24 e 26 impressos.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

O autor Fuquan Zhang (2018) ao fazer um estudo para produção de um fantoma antropomórfico relata que a principal limitação para a produção de um fantoma de alta complexidade em uma impressora 3D se restringe ao tamanho deste fantoma. Então esse autor ressalta a necessidade de se dividir este processo em partes para depois ser colado formando o fantoma. Corroborando com essa informação o presente estudo busca ser uma parte de um processo que resultará em um fantoma antropomórfico de cabeça.

Já o estudo feito por Jea Won Park et al. (2017) conseguiu criar um fantoma antropomórfico de cabeça contruído com uma impressora 3D utilizando a TC de um

paciente, puderam concluir que o phantom pode ser utilizado para verificação dosimétrica antes do tratamento radioterápico completo, como o IMRT e VMAT.

É de fato inquestionável a necessidade de fantomas em inúmeras áreas da radiologia, como para controle de qualidade e dosimetria.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho desenvolveu uma metodologia para a criação de modelos 3D a partir de informações DICOM, respondendo a pergunta que gerou a produção desta pesquisa que foi “de que forma se deve modelar tridimensionalmente dentes com softwares CAD (desenho assistido por computador), gerando arquivos STL?”

Os arquivos STL podem ser utilizados para se fazer a impressão tridimensional utilizando dois filamentos que simulem a interação da radiação da dentina e do esmalte para então estes dentes comporem a arcada dentária de um fantoma antropomórfico de cabeça. Fica de sugestão para trabalhos futuros a modelagem de outras estruturas da cabeça para que se unam e formem um fantoma antropomórfico de cabeça. Sendo uma alternativa de menor custo para adquirir um simulador. Outra sugestão para um próximo trabalho unir um filamento com as densidades equivalentes da dentina e do esmalte com os 56 arquivos criados neste trabalho e imprimir dentes que atenuem igualmente ao tecido biológico, com fins de testes.

## REFERÊNCIAS

- AHRENS, T.; Mollona, M. **Organizational control as cultural practice – A shop floor ethnography of a Sheffield steel mill.** *Accounting, Organizations and Society*, 32(4-5), 305- 331. (2007)
- ALVARES, Luiz Casati; TAVANO, Orivaldo. **Curso de radiologia em odontologia.** 4 ed. São Paulo: Livraria Santos, 2000
- BACHE, Steven T. et al, **INVESTIGATING THE ACCURACY OF MICROSTEREOTACTIC-BODY-RADIOTHERAPY UTILIZING ANATOMICALLY ACCURATE 3D PRINTED RODENT-MORPHIC DOSIMETERS.** [s. L.]: *Medical Physics*, v. 42, n. 2, fev. 2015.
- BARROS, A. J. P.; LEHFELD, A. S. **Projeto de pesquisa: propostas metodológicas.** 8. ed. Petrópolis: Vozes, 1990
- BARUFALDI, Bruno. **Caracterização do Processo de Aquisição da Imagem Digital e Avaliação da Dose de Radiação em Equipamentos Mamográficos por intermédio de Sistema Computadorizado de Gerenciamento e Ratreamento de Dados.** 2016. 131 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo (usp), São Carlos, 2016.
- BROWN, A.C.; DE BEER, D.; CONRADIE, P.. Development of a Stereolithography (STL) input and Computer Numerical Control (CNC) output algorithm for an entry-level 3-D printer. **S. Afr. J. Ind. Eng.**, Pretoria , v. 25, n. 2, p. 39-47, Aug. 2014 . Available from <[http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-78902014000200005&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-78902014000200005&lng=en&nrm=iso)>. access on 12 June 2019.
- BOLNER, Roberta Cristiane Nadal Ciapparini. **Contextualização Histórica da Radiologia Odontológica.** 2011. 33 f. Monografia (Especialização) - Curso de Curso de Radiologia Odontológica e Imaginologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/48925>>. Acesso em: 04 out. 2018.
- CHIEGO, Daniel J. **Essentials of Oral Histology and Embryology: A Clinical Approach.** Michigan: Elsevier, 2013.
- COSTA, Paulo R. G. **Avaliação com radiografia panorâmica e tomografia computadorizada cone beam de implantes instalados em mandíbula posterior.** 2007.
- DENTES, Só Biologia. **Virtuous Tecnologia da Informação**, 2018. Disponível em <https://www.sobiologia.com.br/conteudos/Corpo/digestao2.php>. Acesso em 18 out. 2018.
- DUARTE, Lucas C. **Impressão 3D: uma alternativa para fabricação de dispositivos analíticos miniaturizados.** 2016. 104 f. Dissertação (Mestre em

Química) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/6890/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Lucas%20da%20Costa%20Duarte%20-%202016.pdf>. Acesso em: 08 set. 2018.

Ehler, Eric D et al. **PATIENT SPECIFIC 3D PRINTED PHANTOM FOR IMRT QUALITY ASSURANCE**. [s. L.]: Physics In Medicine & Biology, v. 59, n. 19, 10 set. 2014.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GENERATEPRESS (Brasil). **Dentes: Anatomia dentária**. 2019. Disponível em: <<https://www.anatomiaemfoco.com.br/sistema-digestivo-anatomia/dentes-siso/>>. Acesso em: 29 mar. 2019.

GERKE, Bárbara Aline et al . **Análisis Descriptivo y Cualitativo de Tres Software Gratuitos Usados para la Conversión de Formato DICOM para STL**. Int. J. Odontostomat., Temuco , v. 13, n. 1, p. 103-111, março 2019 . Disponível em <[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-381X2019000100103&lng=es&nrm=iso](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-381X2019000100103&lng=es&nrm=iso)>. accedido en 12 jun. 2019. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-381X2019000100103>.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. - 4. ed. - São Paulo: Atlas, 2002

GOVSA, Figen et al. **Building 3D anatomical model of coiling of the internal carotid artery derived from CT angiographic data**. European Archives Of Otorhinolaryngology, [s.l.], v. 274, n. 2, p.1097-1102, 26 out. 2018.

HAMEDANI, Borhan Alhosseini et al. Three-dimensional printing CT-derived objects with controllable radiopacity. **Journal Of Applied Clinical Medical Physics**, [s.l.], v. 19, n. 2, p.317-328, 7 dez. 2017. Disponível em:<<https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/acm2.12278>>. Acesso em: 28 set. 2017.

HOY, Matthew B. **3D Printing: Making Things at the Library**. Medical Reference Services Quarterly, Estados Unidos, [s.l.], v. 32, n. 1, p.93-99, jan. 2013.DOI: 10.1080/02763869.2013.749139

Park, Jae Won & Oh, Se An & Woon Yea, Ji & Kang, Min Kyu. (2017). **Fabrication of malleable three-dimensional-printed customized bolus using three-dimensional scanner**. PLoS ONE. 12. 10.1371/journal.pone.0177562.

THOMSON, Iain. **Dutch doctors replace woman's skull with 3D-printed plastic copy: Modern tech solves brain ache**. 2014. Acesso em: 02/03/2019. Disponível em: <[https://www.theregister.co.uk/2014/03/29/dutch\\_doctors\\_replace\\_womans\\_skull\\_wiht\\_3dprinted\\_plastic\\_copy/](https://www.theregister.co.uk/2014/03/29/dutch_doctors_replace_womans_skull_wiht_3dprinted_plastic_copy/)>. Acesso em: 29 mar. 2019.

ICRP, 1977. Recommendations of the ICRP. **ICRP Publication 26**. Ann. ICRP 1.

International Commission on Radiation Units and measurements (ICRU). **Phantoms and Computational Models in Therapy, Diagnosis and Protection**. ICRU-48, 1992

KWOK, Jackson K. S. et al. **Multi-dimensional printing in thoracic surgery: current and future applications**. Journal Of Thoracic Disease. Hong Kong, China, v. 10, n. 6, p. 756-763, abr. 2018.

LUZ, Hercílio P; SGROTT, Emerson A. **Anatomia da cabeça e do pescoço**. São Paulo: Santos, 2003.

MADEIRA, Miguel. C. **Anatomia do dente**. 4.ed. São Paulo: Sarvier, 2005.

MARCONI, Marina A.; LAKATOS, Eva M. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 1993.

MORRISON, R. J. et al. **Mitigation of tracheobronchomalacia with 3D-printed personalized medical devices in pediatric patients**. Science Translational Medicine, [s.l.], v. 7, n. 285, p.285ra64-285ra64, 29 abr. 2015.

NANCI, Antonio. **Ten Cate's Oral Histology: development, structure, and function**. Canadá: Elsevier Health Sciences, 2017.

NETO, F. N.; SANTOS, A. M ; BATISTA, E. V. . **Desenvolvimento de um simulador de cabeça para estimativas de doses de exposição em pacientes expostos por aparelhos de raios X odontológicos**. In: International Nuclear Atlantic Conference - INAC, 2009, Rio de Janeiro. International Nuclear Atlantic Conference - INAC, 2009.

ROMERO, Aguiar PHP. - **Impressão em Três Dimensões – Aplicações em Neurocirurgia**. Jornal Brasileiro de Neurocirurgia 26 (3): 195 - 202, 2015.

ROHRINGER, Sean. **25 Best Types of 3D Printer Filament: Guide & Comparison Charts**. 2017. Disponível em: <<https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/>>. Acesso em: 02 set. 2017.

ROHRINGER, Sean. **3D Printer Filament Guide 2018: 25 Types for Every Need**. 2018. Disponível em: <<https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/>>. Acesso em: 02 set. 2018.

SANTOS NETO, Arizon dos. **O que é a impressão 3D?** 2017. Disponível em: <<http://blog.wishbox.net.br/2017/02/23/o-que-e-impressao-3d/>>. Acesso em: 27 set. 2017

SALMI, M. **Medical applications of additive manufacturing in surgery and dental care**. 2013. 85 p. Doctoral Dissertation – Department of Engineering Design and Production – Aalto University, Helsinki, 2013.



SANNOMIYA, E. K. **Qual a diferença entre uma radiografia convencional e uma radiografia digital?** Revista clínica de ortodontia dental press. maringá, v.8, n 5 out./nov 2009.

SANTOS, Caroline P. et al . **Estratégias criativas no processo ensino-aprendizagem da Radiologia Odontológica.** Rev. ABENO, Londrina , v. 16, n. 4, dez. 2016 . Disponível em <[http://revodonto.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1679-59542016000400005&lng=pt&nrm=iso](http://revodonto.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-59542016000400005&lng=pt&nrm=iso)>. acessos em 22 out. 2018.

SCHRANK, A. Z. **O ensino de radiologia odontológica: uma revisão de literatura.** 2014. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Odontologia) - Faculdade de Odontologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: &lt;<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/132225>&gt;. Acesso em: 8 set. 2018.

SPARKS, Jordan. **Anatomia dos dentes.** 2013. Disponível em: <[http://www.nuepe.ufpr.br/blog/?page\\_id=4524](http://www.nuepe.ufpr.br/blog/?page_id=4524)>. Acesso em: 01 out. 2018.

SILVEIRA, Sheila Recepte; IDERIHA, Nilce Marzola. **Uso de modelo tridimensional de argila no ensino-aprendizagem de Embriologia Humana.** rev. Mirabilia Medicinae, 2013.

UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL. (ULBRA) **Cursos Superiores de Tecnologia em Gestão Metodologia para projetos tecnológicos.** 2017. Disponível em: <<http://www.ulbra.br/upload/803bdcdabc8e55f1a32f848c48de3e7.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2017.

VENTOLA, C. Lee. **Medical applications for 3D printing: current and projected uses.** Pharmacy and Therapeutics, v 39, n. 10, p. 704 – 711, 2014 Disponível em: &lt;<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4189697/>&gt;. Acesso em: 4 set. 2018.

WONG, Kaufui V.; HERNANDEZ, Aldo. **A Review of Additive Manufacturing.** Isrn Mechanical Engineering, [s.l.], v. 2012, p.1-10, 2012.

XIMENES , Raimundo M. **Desenvolvimento De Objeto Simulador Da Cabeça Para Dosimetria Em Tomografia Computadorizada.** Universidade Federal de Sergipe, 2012.

YUSUF, Bulent. **14 Most Important 3D Printing Terms: (Glossary of Terminology).** 2016. Disponível em: <<https://all3dp.com/3d-printing-terms-terminology-glossary/>>. Acesso em: 10 set. 2017.

ZHANG, F., ZHANG, H., ZHAO, H., HE, Z., SHI, L., HE, Y., JU, N., RONG, Y., QIU, J.. **Design and fabrication of a personalized anthropomorphic phantom using 3D printing and tissue equivalent materials.** Quantitative Imaging in Medicine and Surgery, North America, 9, ago. 2018. Disponível em: <<http://qims.amegroups.com/article/view/20807>>. Acesso em: 1 Jun. 2019.

3D FILA (Belo Horizonte - Mg Brasil). **Otimizando a impressora 3D com melhores parâmetros de Infill e Shell.** 2018. Disponível em: <<https://3dfila.com.br/otimizando-a-impressora-3d-com-melhores-parametros-de-infill-e-shell/>>. Acesso em: 25 fev. 2019