



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS  
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**BIANCA DE BARROS BRITO**

**USO DA MANUFATURA ADITIVA NA FABRICAÇÃO DE PROTÓTIPOS PARA  
AUXILIAR NO PLANEJAMENTO CIRÚRGICO**

**PALMAS (TO)  
2022**

BIANCA DE BARROS BRITO

USO DA MANUFATURA ADITIVA NA FABRICAÇÃO DE PROTÓTIPOS PARA  
AUXILIAR NO PLANEJAMENTO CIRÚRGICO

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado à  
Universidade Federal do Tocantins para obtenção  
do título de Bacharel em Ciência da  
Computação, sob a orientação do(a) Prof.(a) Dr.  
Warley Gramacho da Silva.

Orientador: Dr. Warley Gramacho da Silva

PALMAS (TO)  
2022

BIANCA DE BARROS BRITO

USO DA MANUFATURA ADITIVA NA FABRICAÇÃO DE PROTÓTIPOS PARA  
AUXILIAR NO PLANEJAMENTO CIRÚRGICO

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas, Curso de Ciência da Computação foi avaliado para a obtenção do título de Bacharel e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 8 / 7 / 2022

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Warley Gramacho da Silva

---

Prof. Dr. Edeilson Milhomem da Silva

---

Prof. Me. Thiago Magalhães de Brito Rodrigues

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

B862u Brito, Bianca.

Uso da manufatura aditiva na fabricação de protótipos para auxiliar no planejamento cirúrgico. / Bianca Brito. – Palmas, TO, 2022.

40 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Ciências da Computação, 2022.

Orientador: Warley Gramacho da Silva

1. Biomodelo . 2. Impressão 3D . 3. Segmentação de imagens . 4. Simulação Cirúrgica. I. Título

**CDD 004**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

*Aos meus pais, irmã e amigos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, aos meus pais e irmã, por todo amor, apoio e incentivo.

Aos meus amigos, que nesses anos de graduação tornaram os meus dias mais leves, foram meus apoiadores e ajudadores, podendo assegurar que sem eles não chegaria até aqui.

Agradeço ao meu professor e orientador Dr. Warley Gramacho da Silva, pela instrução e paciência no desenvolvimento desse trabalho.

Aos demais professores e todos que de alguma forma contribuíram nessa etapa.

## RESUMO

Nos últimos anos técnicas da Manufatura Aditiva, também conhecida como impressão tridimensional, têm despertado interesse em diversas áreas da ciência por serem utilizadas como facilitadora de processos complexos. Na saúde, a impressão em três dimensões propicia avanços e melhorias, como criação de próteses, medicamentos, modelos anatômicos 3D, ensinamentos acadêmicos na área de anatomia e principalmente o planejamento cirúrgico. A utilização dos biomodelos no planejamento cirúrgico permite que os especialistas avaliem com mais exatidão o local a ser operado e façam a definição de estratégias cirúrgicas mais precisas e que sejam o menos invasivas possíveis, visando a melhor recuperação após a cirurgia, contribuindo em uma melhor qualidade de vida para o paciente. Neste sentido, o objetivo principal deste trabalho é a criação de biomodelos 3D e aplicação da tecnologia de manufatura aditiva na impressão do modelo anatômico para o auxílio no planejamento cirúrgico. Os protótipos foram fabricados a partir de imagens de exames de Tomografia Computadorizada de pacientes com tumor renal tratados por nefrectomia parcial ou radical. A criação dos protótipos é realizada utilizando o software médico InVersalius, os modelos são ajustados no Blender e impressos em uma impressora 3D do tipo FDM. Conclusão: Os modelos anatômicos foram impressos utilizando filamento ABS e a impressora do tipo FDM mostra-se eficaz na impressão de biomodelos.

**Palavra-chave:** Biomodelo. Impressão 3D. Segmentação de imagens. Simulação Cirúrgica.

## **ABSTRACT**

In recent years techniques of Additive Manufacturing, also known as three-dimensional printing, have aroused interest in several areas of science for being used as a facilitator of complex processes. In healthcare, three-dimensional printing provides advances and improvements, such as the creation of prostheses, medicines, 3D anatomical models, academic teaching in the area of anatomy and especially surgical planning. The use of biomodels in surgical planning allows specialists to more accurately assess the site to be operated and define more precise surgical strategies that are as less invasive as possible, aiming at better recovery after surgery, contributing to better quality. of life for the patient. In this sense, the main objective of this work is the creation of 3D biomodels and application of additive manufacturing technology in the printing of the anatomical model to aid in surgical planning. The prototypes were manufactured from images of CT scans of patients with renal tumors treated by partial or radical nephrectomy. The creation of the prototypes is carried out using the InVersalius medical software, the models are adjusted in Blender and printed on an FDM-type 3D printer. Conclusion: The anatomical models were printed using ABS filament and the FDM printer is effective in printing biomodels.

**Keywords:** Biomodel. 3D printing. Image segmentation. Surgical Simulation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Posicionamento do paciente no tomógrafo .....	15
Figura 2 – Algumas nomenclaturas da Manufatura Aditiva .....	16
Figura 3 – Exemplo dos componentes de uma impressora do tipo SLA .....	17
Figura 4 – Diagrama ilustrativo da impressão 3D FDM .....	18
Figura 5 – Componentes de uma impressora do tipo SLS .....	18
Figura 6 – Interface InVesalius .....	22
Figura 7 – Impressora Sethi3D S3 .....	23
Figura 8 – Impressora Sethi3D S4X .....	24
Figura 9 – Fluxograma de etapas da metodologia .....	24
Figura 10 – Fatias axial da máscara 1 do paciente KiTS - 00002 .....	25
Figura 11 – Fatias coronal e axial da máscara 1 do paciente KiTS - 00091 .....	25
Figura 12 – Fatias coronal e axial da máscara 1 do paciente KiTS - 00141 .....	26
Figura 13 – Fatias axial da máscara 2 do paciente KiTS - 00002 .....	26
Figura 14 – Fatias coronal e axial da máscara 2 do paciente KiTS - 00091 .....	26
Figura 15 – Fatias coronal e axial da máscara 2 do paciente KiTS - 00141 .....	27
Figura 16 – Fatias axial da máscara 3 do paciente KiTS - 00002 .....	27
Figura 17 – Fatias coronal e axial da máscara 3 do paciente KiTS - 00091 .....	28
Figura 18 – Fatias coronal e axial da máscara 3 do paciente KiTS - 00141 .....	28
Figura 19 – Superfície 3D do paciente KiTS-00002 criada com base nas máscaras .....	28
Figura 20 – Superfície 3D do paciente KiTS-00091 criada com base nas máscaras .....	29
Figura 21 – Superfície 3D do paciente KiTS-00141 criada com base nas máscaras .....	29
Figura 22 – Objetos 3D ajustados no Blender do paciente KiTS-00002 .....	29
Figura 23 – Objetos 3D ajustados no Blender do paciente KiTS-00091 .....	30
Figura 24 – Objetos 3D ajustados no Blender do paciente KiTS-00141 .....	30
Figura 25 – Vista superior no Blender dos rins do paciente KiTS-00002 após a divisão .....	31
Figura 26 – Vista superior no Blender do rim do paciente KiTS-00091 após a divisão .....	31
Figura 27 – Vista superior no Blender do rim do paciente KiTS-00141 após a divisão .....	31
Figura 28 – Vista superior no Ultimaker Cura dos rins do paciente KiTS-00002 após fatiamento .....	32
Figura 29 – Vista superior no Ultimaker Cura dos tumores do paciente KiTS-00002 após fatiamento .....	32
Figura 30 – Vista superior no Ultimaker Cura do rim do paciente KiTS-00091 após	

fatiamiento .....	33
Figura 31 – Vista superior no Ultimaker Cura do tumor do paciente KiTS-00091 após fatiamiento .....	33
Figura 32 – Vista superior no Ultimaker Cura do rim do paciente KiTS-00141 após fatiamiento .....	33
Figura 33 – Vista superior no Ultimaker Cura dos tumores do paciente KiTS-00141 após fatiamiento .....	34
Figura 34 – Fotos do processo de impressão .....	34
Figura 35 – Modelos físicos dos rins do paciente KiTS-00002 .....	35
Figura 36 – Modelos físicos dos tumores do paciente KiTS-00002 .....	35
Figura 37 – Modelo físico do rim do paciente KiTS-00091 .....	36
Figura 38 – Modelo físico do tumor do paciente KiTS-00091 .....	36

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Classificação da Manufatura Aditiva .....	16
--	----

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>13</b>
1.1.1	Objetivo Geral .....	13
1.1.2	Objetivos Específicos .....	13
<b>1.2</b>	<b>Organização do Trabalho</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Tomografia Computadorizada</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Impressão 3D</b> .....	<b>15</b>
<b>2.3</b>	<b>Principais tipos de impressoras 3D.</b> .....	<b>17</b>
2.3.1	Estereolitografia .....	17
2.3.2	Modelagem de Deposição Fundida .....	17
2.3.3	Sinterização Seletiva a Laser .....	18
<b>2.4</b>	<b>Impressão 3D na medicina</b> .....	<b>19</b>
2.4.1	Fabricação de Protótipos e seu uso no Planejamento Cirúrgico .....	19
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>21</b>
<b>3.1</b>	<b>Materiais</b> .....	<b>21</b>
3.1.1	Imagens tomográficas .....	21
3.1.2	InVersalius .....	21
3.1.3	Blender .....	22
3.1.4	Ultimaker cura, Impressora 3D e Filamento .....	23
<b>3.2</b>	<b>Métodos</b> .....	<b>24</b>
3.2.1	Aquisição de Imagens tomográficas .....	24
3.2.2	Formação do modelo 3D .....	25
3.2.3	Ajustes do modelo 3D .....	29
3.2.4	Fatiamento do Objeto e Impressão 3D .....	31
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>35</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>37</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Por um longo período de tempo os produtos foram fabricados em grande parte por artesãos, de maneira que os ajustes da peça eram feitos apenas no final do seu processo de criação, dessa forma os produtos eram similares mas nunca idênticos. Com o passar dos anos, e a necessidade do mercado, protótipos começaram a ser fabricados mas ainda pouco utilizados devido ao seu custo e tempo. A inclusão dos computadores, dispositivos computacionais e principalmente a impressora 3D nos processos de produção, viabilizou a criação de modelos antes que um produto final fosse lançado no mercado, (PALHAIS, 2016).

A Manufatura Aditiva (AM), também conhecida como impressão tridimensional, é um recurso que permite a criação de objetos com base nas dimensões de altura, largura e profundidade, que são fornecidos através de um modelo concebido por um software em um computador. A impressão 3D é um sistema de impressão que ocorre por AM, pois o material usado é adicionado em várias camadas de modo gradual, até que o objeto esteja completo, (MORANDINI; VECHIO, 2020).

Essa tecnologia tem alcançado diversos campos como a engenharia, arquitetura e engenharia aeroespacial (ALMEIDA, 2021), (SOARES; BORTOLUZZI; SOUZA, 2019), (BALZANI, 2017), (SILVA; LOPES; BARROS, 2019). E está conquistando cada vez mais espaço na saúde com destaque na medicina que é uma das áreas que mais alcança benefícios com a possibilidade de criação de biomodelos impressos em 3D, pois já é possível fazer pesquisas experimentais, treinamento cirúrgico, estudos acadêmicos, ademais os protótipos podem ser utilizados em planejamento de cirurgias, (LACERDA et al., 2020), (ARAUJO et al., 2021).

Com o avanço tecnológico as imagens obtidas no exame de Tomografia Computadorizada (TC) são utilizadas pelos médicos para diagnóstico e avaliação do caso de cada paciente, principalmente em casos cirúrgicos, pois a TC proporciona imagens com mais detalhes das estruturas e tecidos. Com o uso delas é possível fazer uma visualização em 2 dimensões do problema, visto de forma real, apenas no momento da execução do procedimento.

A combinação das técnicas de impressão 3D com as imagens obtidas em exames de TC proporciona a reconstrução de modelos tridimensionais que auxiliam médicos no diagnóstico, avaliação, estudo do caso e assegura que os especialistas definam as melhores estratégias a serem utilizadas em cirurgias, com o objetivo de que sejam menos invasivas para o paciente e que a execução do procedimento seja feita com o menor tempo possível.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é o estudo e aprimoramento das técnicas de modelagem e impressão 3D, para a fabricação de protótipos de modelos anatômicos que auxiliem no planejamento cirúrgico.

### **1.1.1 Objetivos Específicos**

1. Obter imagens tomográficas;
2. Gerar modelos tridimensionais de órgãos e tumores;
3. Imprimir na impressora 3D.

## **1.2 Organização do Trabalho**

Este trabalho está dividido em cinco capítulos.

- Capítulo 1: Neste capítulo são abordados conceitos iniciais sobre o uso de exames de tomografia computadorizada, impressão 3D e algumas de suas áreas de aplicação.
- Capítulo 2: No segundo capítulo é realizada a fundamentação teórica, apresentando o funcionamento da tomografia computadorizada e sua função no diagnóstico, um breve histórico das impressoras 3D e seus principais tipos, a aplicação delas na medicina e a fabricação de protótipos em 3D para auxílio no planejamento cirúrgico.
- Capítulo 3: No terceiro capítulo são apresentados os materiais e os métodos executados para a criação, ajustes e impressão de protótipos dos órgãos com os tumores.
- Capítulo 4: No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos.
- Capítulo 5: Por fim, o quinto e último capítulo apresenta a conclusão do trabalho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Tomografia Computadorizada

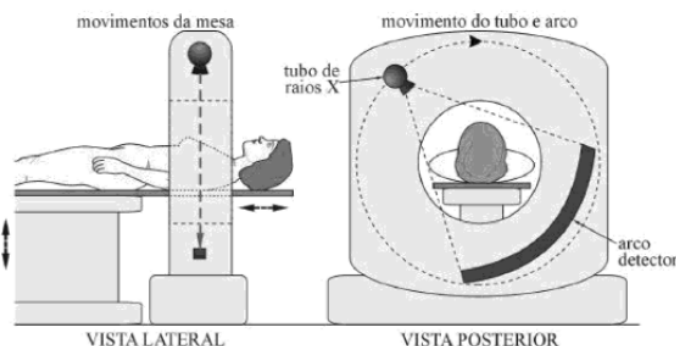
A Tomografia Computadorizada (TC) com função de diagnóstico através de imagens teve o seu início por volta de 1970 e permitiu a realização de diagnósticos que eram tidos como complexos ou até mesmo impossíveis de serem realizados, sendo um marco do início da era da radiologia digital, dado que, imagens passaram a ser adquiridas e estudadas por sistemas computadorizados (MOURAO, 2018).

A TC é um método de diagnóstico por imagem cada dia mais utilizado nas práticas clínicas por não ser um método invasivo para o paciente, por seu detalhamento e qualidade nas imagens, que possibilita a detecção de alterações no organismo humano. As radiografias convencionais permitem a visualização das estruturas do corpo em um só plano, que difere da TC que proporciona a aquisição de cortes ou fatias de imagens do corpo, viabilizando sua visão tridimensional. Comumente o padrão utilizado para essas imagens é o conjunto de regras internacional usado para normalização de imagens médicas, o DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*).

A máquina utilizada para a realização do exame é o tomógrafo que possui três partes, sendo uma delas o *gantry*, em que se localizam os detectores de radiação e os tubos de raio-X, outro componente dele é a mesa de exame onde é colocado o paciente deitado para a realização do exame. A última parte é o computador, para onde as informações computacionais adquiridas no *gantry* são enviadas, e é realizada a reconstrução da imagem tomográfica. O exame é efetuado por um operador ou técnico, que fica fora da sala, na qual se encontra a máquina e utiliza o computador para acompanhar o procedimento (GARIB et al., 2007).

A formação das imagens de TC é composta por três etapas sendo elas a aquisição, reconstrução e a apresentação final da imagem. A fase da aquisição acontece quando o paciente é colocado na mesa de exame e posicionado de maneira adequada no *gantry*, o tubo emite a radiação enquanto se movimenta ao redor do paciente, que é atravessado por essa radiação e os detectores que estão localizados do lado oposto ao tubo recebem a projeção do que está em determinado ângulo. A reconstrução acontece quando os sinais digitais são enviados ao computador que reconstrói as fatias. A apresentação da imagem é executada com base nas informações processadas pelo computador, os dados são convertidos em uma imagem em tons de cinza que varia entre o branco e preto. (TORRES, 2012). A Figura 1 a seguir exemplifica o posicionamento do paciente no aparelho.

**Figura 1 - Posicionamento do paciente no tomógrafo**



Fonte: (MOURAO, 2018)

As imagens de TC são recursos determinantes e decisivos na etapa de diagnósticos clínicos de patologias. Por vezes tumores são descobertos em exames de TC até de maneira acidental e precoce, o que possibilita que seja feito um planejamento pelo médico especialista de tratamentos específicos ou até em casos cirúrgicos, onde são possíveis visualizar e definir estratégias com base nas imagens obtidas. As imagens obtidas no exame estão cada dia mais sendo utilizadas para a impressão 3D de biomodelos inovadores e precisos, dessa forma as impressoras 3D que avançam cada dia mais em tecnologia, beneficiam a medicina e a saúde em geral.

Na seção a seguir são apresentados conceitos sobre impressão 3D e seus principais tipos de impressoras.

## 2.2 Impressão 3D

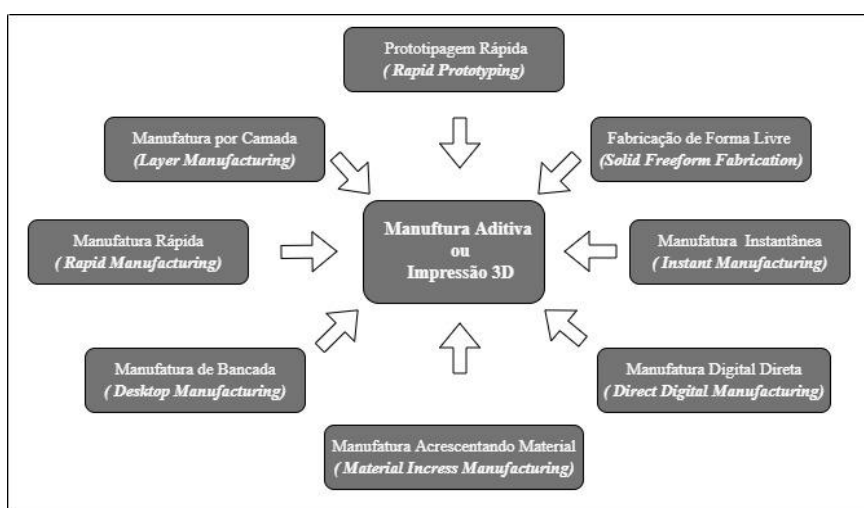
A impressora 3D começou a ser desenvolvida por Charles Hull por volta de 1984 e a patente foi obtida por volta de 1986, quando também fundou a empresa *3D Systems*, uma das líderes na categoria de impressoras 3D. Em cerca de 1990, Scott Crump por meio da empresa *Stratasys* patenteou a primeira impressora FDM (*Fused Deposition Modeling*), desde então a impressão 3D tem sido utilizada na fabricação de protótipos e tem sido aplicada em diferentes áreas (GROSS et al., 2014).

A Manufatura Aditiva é uma tecnologia que permite a impressão de objetos tridimensionais a partir de um modelo digital. A concepção do modelo digital tridimensional pode ser feita de formas variadas, como *scanner* 3D, imagens médicas em softwares e equipamentos com ferramentas capazes de gerar o modelo em três dimensões ou através de um software de modelagem 3D como Blender, CAD (*Computer Aided Design*), entre outros. Após a criação dessa peça ela deve ser exportada no formato STL (*Standard Triangle Language*), que possibilita a divisão das camadas, e enviada a um software de fatiamento como o Ultimaker Cura ou Simplify, onde são definidas as configurações de impressão e

criados suportes para a peça se necessário, por fim, a última etapa ocorre na impressora 3D e no pós-processamento onde são removidos os suportes e os excessos da peça.

No que diz respeito a sua nomenclatura, Volpato et al. (2017) diz que o processo foi chamado durante um grande período, de prototipagem rápida, pois inicialmente era utilizado para criação de protótipos físicos de vários tipos, de forma rápida e sem muitas exigências, mas com a evolução das técnicas, começaram a ser utilizados também na criação de objetos e de produtos finais, por esse motivo se caracteriza como Manufatura Aditiva para as áreas acadêmicas e indústria, contudo popularmente é chamada de impressão 3D por alguns usuários e empresas. Fora as nomenclaturas citadas anteriormente, a Figura 2 apresenta outras terminologias da AM.

**Figura 2 - Algumas nomenclaturas da Manufatura Aditiva**



Fonte: Adaptado de (VOLPATO et al., 2017)

Uma das melhores formas de classificar a prototipagem rápida são: líquido, sólido e pó. Dentre essas opções estão classificadas os três principais tipos de impressoras existentes no mercado atual, conforme especificado a seguir na Tabela 1.

**Tabela 1 - Classificação da Manufatura Aditiva**

Manufatura Aditiva	
Classificação	Exemplos
Líquido	Estereolitografia (SLA)
Sólido	Modelagem de Deposição Fundida (FDM)
Pó	Sinterização Seletiva a Laser (SLS)

Os principais tipos de impressoras 3D e o funcionamento delas são abordados na

seção 2.3.

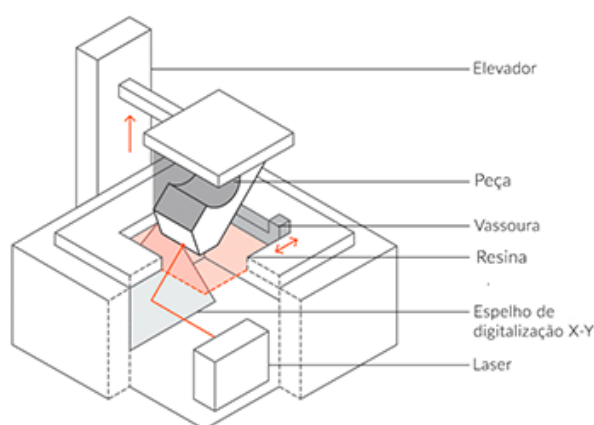
## 2.3 Principais tipos de impressoras 3D

### 2.3.1 Estereolitografia

A impressora por Estereolitografia (SLA) foi a primeira técnica de AM a ser comercializada, sua impressão acontece por meio do processamento digital de luz. O primeiro modelo era chamado de SLA-1 e foi comercializado pela 3D Systems.

Segundo Coelho, Araujo e Thire (2018), a estereolitografia é um tipo de impressão 3D que faz a utilização de resina líquida como sua matéria-prima, e usa uma radiação ultravioleta (UV) que se projeta na camada bidimensional no formato da imagem, atingindo a resina e fazendo a cura ou secagem, tornando cada camada sólida. A Figura 3 a seguir ilustra os componentes existentes em uma impressora do tipo SLA.

**Figura 3 - Exemplo dos componentes de uma impressora do tipo SLA**



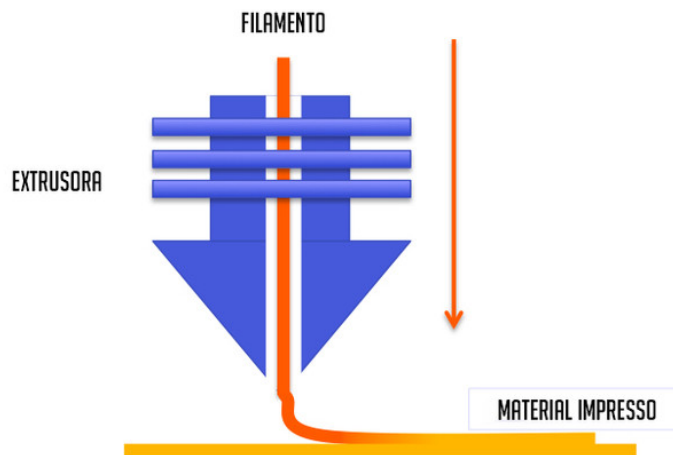
Fonte: 3DLAB soluções em impressão 3D

A impressão em uma impressora SLA possui um nível de precisão e detalhamento elevado, e por esse motivo é utilizada principalmente em peças que tenham mais detalhes, entretanto após a impressão do objeto é necessário que ele seja limpo com uma solução específica e que passe por um processo de pós-cura, geralmente em um câmara de luz UV ou em forno elétrico com a temperatura controlada (FERNANDES; AHRENS; PIRES, 2000).

### 2.3.2 Modelagem de Deposição Fundida

A modelagem de deposição fundida (FDM) foi criada por Scott Crump da *Stratasys*, é um dos modelos de Manufatura Aditiva mais usados, acontece pela extrusão de material termoplástico aquecido no formato pré definido, camada a camada. Uma das principais vantagens encontrada na FDM é a variedade de materiais que podem ser utilizados como o ABS (Acrilonitrila butadieno estireno), vidro, poliestireno, metal, entre outros (GROSS et al., 2014). A Figura 4 ilustra o diagrama de uma impressão 3D FDM.

**Figura 4 - Diagrama ilustrativo da impressão 3D FDM**



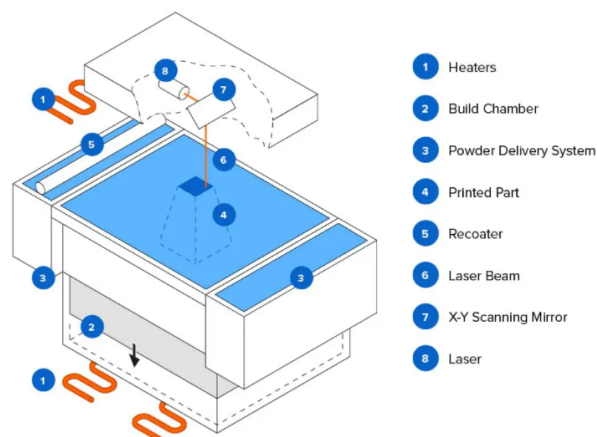
Fonte: EngiPrinters

A FDM é o mais simples tipo de impressora 3D, sua impressão inicia com um filamento que é comprimido na extremidade que está aquecida, esse plástico é depositado na plataforma de impressão na forma do objeto desejado, a camada inicial é a camada base do objeto, as próximas são depositadas exatamente em cima da primeira, até que o objeto esteja completamente finalizado ver (GRIFFREY, 2014) para mais informações.

### 2.3.3 Sinterização Seletiva a Laser

A Sinterização Seletiva a Laser (SLS) foi desenvolvida por Carl Deckard, faz utilização de material em pó depositado na área de impressão em um recipiente, o pó é aquecido até uma temperatura que esteja abaixo da temperatura de fusão, um laser sinteriza o pó nos pontos exatos definidos no arquivo de maneira a fundir as partículas de pó e assim criar uma camada sólida, o processo se repete até que o objeto final seja formado em formato tridimensional ver (SALCEDO; MOLINER, 2006) para mais informações. A Figura 5 ilustra os componentes de uma impressora 3D do tipo SLS.

**Figura 5 - Componentes de uma impressora do tipo SLS**



Fonte: Formlabs

Além disso, a impressora SLS é utilizada para impressão de medicamentos orais, pois produz objetos de maior resolução, sem a degradação dos materiais devido a precisão do laser, (FINA et al., 2017).

## **2.4 Impressão 3D na medicina**

A impressão 3D se destaca na medicina e possibilita diversos avanços, pois é utilizada para fabricação de próteses (COUTINHO, 2018), medicamentos (YU et al., 2008), fabricação de protótipos que tem auxiliado no planejamento cirúrgico (BASSO et al., 2021), estudos acadêmicos, entre outros.

A medicina é uma das áreas que mais alcança benefícios com a aplicação da AM, pois com ela aumenta a facilidade de procedimentos cirúrgicos de diagnósticos, e próteses, de maneira personalizada de acordo com cada caso e paciente. Apesar da sua popularidade ainda são encontrados desafios na disponibilidade dessas técnicas de impressão 3D no Brasil, pois são poucos os hospitais e consultórios que possuem esses equipamentos (MATOZINHOS et al., 2017).

Bucco (2016) destaca algumas das primeiras e principais conquistas da Manufatura Aditiva na medicina, em 1999 foi implantado em humanos o primeiro órgão impresso pelo Instituto *Wake Forest* de Medicina Regenerativa, em 2002 um rim foi projetado em Três dimensões completamente funcional, em 2008 foi impressa uma prótese de uma perna, em 2009 foi utilizada uma bioimpressora para a impressão de células e vasos sanguíneos.

Os biomodelos fabricados com as técnicas da manufatura aditiva e a aplicação deles no planejamento de cirurgias são explorados na seção 2.4.1 a seguir.

### **2.4.1 Fabricação de Protótipos e seu uso no Planejamento Cirúrgico**

Os protótipos são fabricados com base nas técnicas de modelagem tridimensional e da manufatura aditiva, com a construção camada a camada. Esses modelos anatômicos são criados com o uso das imagens médicas geralmente no formato DICOM, obtidas em exames de Tomografias computadorizadas, Ressonância magnética e em alguns casos, apesar de serem menos frequentes, o Ultrassom. O Protótipo também pode ser criado diretamente em software de modelagem tridimensional desde que o criador tenha habilidades suficientes para isso.

A criação do modelo anatômico é feita em um programa específico para imagens médicas, é importante ressaltar que quanto maior for a qualidade das imagens, maior será a precisão do objeto criado, além disso, se for notado algum ruído na imagem é importante que seja retirado antes do processo de segmentação no software médico escolhido.

O processo de segmentação pode ser considerado a etapa de maior importância na

fabricação de protótipos, pois é onde se delimita a área anatômica, estruturas e tecidos, que serão considerados para a fabricação do modelo anatômico (EIJNATTEN et al., 2018). Deve-se fazer uma limpeza no processo de criação da superfície eliminando estruturas, tecidos ou áreas que não serão utilizadas no protótipo, evitando que haja inadequações ou distorções no modelo 3D final.

Após a Criação do objeto 3D no software médico, ele pode ser exportado em STL e enviado para um programa de modelagem 3D para que sejam feitos ajustes de textura, na malha do objeto, correções de imperfeições ou pode ser encaminhado diretamente para um software de fatiamento que faz as adequações de impressão. O modelo 3D fatiado é encaminhado a impressão em uma impressora 3D.

A fabricação do protótipo, para que seja realizada a simulação e o planejamento cirúrgico são eficazes pois possibilitam o entendimento das estruturas anatômicas, tamanhos, espessuras, texturas e identificação de anatomias de casos complexos. A utilização desses biomodelos em procedimentos pré operatórios é cada vez mais comum em casos de fraturas (STECK et al., 2007), cirurgias em tumores renais (WAKE et al., 2017) e (MERCADER et al., 2019).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização desse trabalho foram realizadas pesquisas na literatura nos idiomas português, espanhol e principalmente inglês, nas bases de dados PubMed, Scielo, Medline e Google Scholar, sendo os trabalhos relacionados a Tomografia Computadorizada, Impressão 3D, Manufatura Aditiva, prototipagem rápida, simulação cirúrgica e planejamento cirúrgico.

#### 3.1 Materiais

Os materiais utilizados para a fabricação dos protótipos são:

- Imagens tomográficas (domínio público);
- InVersalius;
- Blender;
- Ultimaker Cura;
- Filamento ABS;
- Impressora 3D.

##### 3.1.1 Imagens tomográficas

As imagens tomográficas no formato DICOM utilizadas foram adquiridas no TCIA (*The Cancer Imaging Archive*), uma base de dados de código aberto que hospeda uma grande quantidade de coleções organizadas de imagens, criada pelo NCI com a Universidade de Washington em *Saint Louis*, feito para apoiar pesquisas, desenvolvimento e iniciativas educacionais que utilizam imagens médicas avançadas do câncer (CLARK et al., 2013). As imagens serão usadas no InVersalius, a seção 3.1.2 explica o conceito e o funcionamento do software.

##### 3.1.2 InVersalius

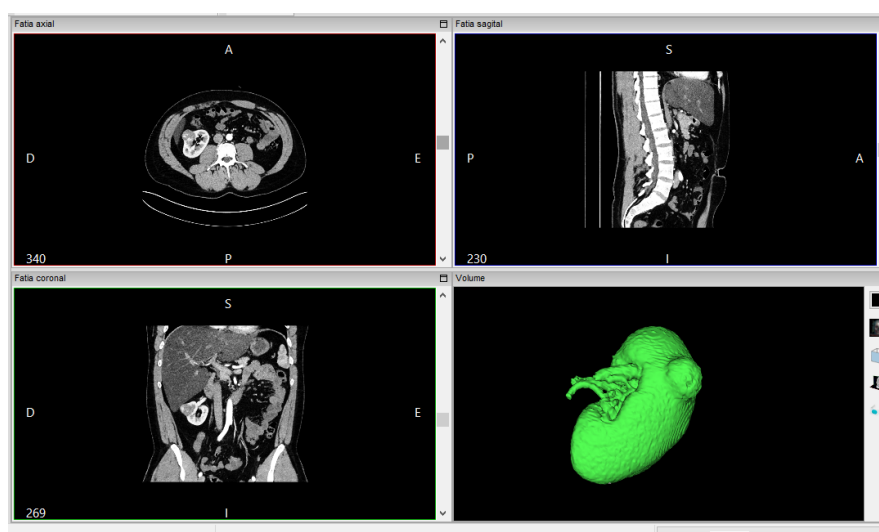
O InVersalius foi utilizado para a manipulação das segmentações de imagens obtidas, além disso para a formação dos protótipos e modelos iniciais com a possibilidade que o software oferece para a criação de superfícies 3D e a realização de alguns ajustes e operações com máscaras que depois podem ser exportados no formato obj.

O InVersalius é um software disponível para Windows, Linux e Mac OS X. É direcionado para a área médica, visto que possibilita a reconstrução de imagens médicas sejam de tomografia computadorizada ou de ressonância magnética, O software é feito na linguagem de programação Python e permite que o usuário visualize o modelo tridimensional gerado a partir dessas imagens, com a possibilidade de segmentá-lo e observá-lo de variados ângulos, além disso é possível que o usuário do software reconstrua partes danificadas do modelo em que está trabalhando.

Amorim et al. (2011) diz que o InVersalius começou a ser desenvolvido por volta de

2001 pelo CTI (Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer), é um software livre e de código aberto, pois permite que seus usuários contribuam para seu desenvolvimento e melhoramento. No momento atual o software está em sua terceira versão. InVersalius possui recursos como segmentação de imagens, geração de superfície 3D com base na segmentação, visualização volumétrica onde a visualização tridimensional é mais realista, ferramentas de medidas linear e angular, além de uma comunidade de usuários. A interface do software InVersalius com superfície 3D gerada pode ser observada na Figura 6 a seguir.

**Figura 6 - Interface InVersalius**



Fonte: Autoria própria

Com a utilização do software médico para criação de superfícies 3D de acordo com a qualidade das imagens surge a possibilidade de que ruídos sejam gerados no modelo, a correção deles pode ser realizada no Blender, a seção a 3.1.3 fala a respeito do uso desse software de modelagem.

### 3.1.3 Blender

O blender é um software gratuito e código aberto, disponível para Windows, Linux e Mac OS X, foi desenvolvido pela Blender Foundation, uma organização independente de benefício público. É um instrumento digital que possui diversos recursos de criação de conteúdos tridimensionais, além disso possibilita a animação e renderização dessas criações.

O blender é um programa desenvolvido para geração de materiais de três dimensões, oferecendo uma grande variedade de recursos para isso, alguns deles são animação, criação, renderização, edição de vídeos entre outras possibilidades, além disso possui uma grande variedade de formatos para exportação, materiais realistas, ferramentas para simulações, entre outras. É um software multiplataforma, desenvolvido nas linguagens de programação Python, C e C++ (PEREIRA; LOURENÇO; BERGAMASCHI, 2018).

As peças feitas no Blender comumente são exportadas no formato stl, para que passem por um processo de fatiamento no Ultimaker Cura e só depois são enviadas para impressão, a seção a 3.1.4 trata do funcionamento desse software de fatiamento e apresenta as impressoras e os filamentos utilizados para a impressão 3D dos protótipos.

#### 2.3.4 Ultimaker cura, Impressora 3D e Filamento

O Ultimaker cura é um software de interface simples e intuitiva, possui código aberto, e é principalmente usado com a função de fazer o fatiamento do objeto 3D em camadas, além de possuir variadas ferramentas que possibilitam que sejam feitos os ajustes de impressão, como por exemplo definir a qualidade, porcentagem de preenchimento da peça a ser impressa, assim como altura da camada e a velocidade de impressão, entre outros. O arquivo gerado pelo Cura é o G-Code, código que pode ser entendido pela impressora.

O G-Code obtido será passado para a impressora e serão usados o filamento Acrilonitrila butadieno estireno (ABS) para impressão.

Os equipamentos de AM utilizados para a realização da impressão dos protótipos, pertencem ao Laboratório de Tecnologias 3D (LABTEC) da Universidade Federal do Tocantins, sendo eles, as impressoras FDM, desenvolvidas e fabricadas pela Sethi3D, nos modelos Sethi3D S3 ilustrada na Figura 7, Sethi3D S4X com Simplify3D apresentada na Figura 8.

**Figura 7 - Impressora Sethi3D S3**



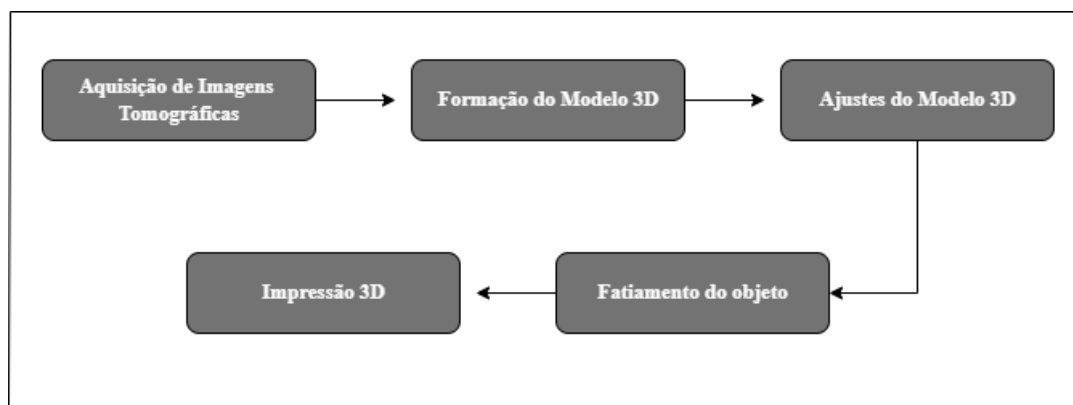
Fonte: Sethi3D

**Figura 8 - Impressora Sethi3D S4X**

Fonte: Sethi3D

### 3.2 Métodos

A metodologia do presente trabalho seguirá os passos de execução apresentados no fluxograma da Figura 9.

**Figura 9 - Fluxograma de etapas da metodologia**

Fonte: Autoria própria

#### 3.2.1 Aquisição de Imagens tomográficas

A base de imagens utilizada é chamada Data from C4KC-KiTS e está localizada no TCIA, nela contém imagens médicas de exames de tomografia computadorizada coletadas durante o atendimento de rotina de 210 pacientes com câncer renal que foram tratados por nefrectomia parcial ou radical (HELLER et al., 2019). Dentre os 210 pacientes foram analisadas as imagens DICOM dos exames e de acordo com a qualidade das imagens em cores e visualização mais clara dos tumores, foram escolhidos três pacientes para a geração dos protótipos:

- KiTS-00002 contém 969 imagens de um paciente do sexo masculino com 73 anos de idade;
- KiTS-00002 contém 969 imagens de um paciente do sexo masculino com 73 anos de idade;
- KiTS-00002 contém 969 imagens de um paciente do sexo masculino com 73 anos de idade;

### 3.2.2 Formação do modelo 3D

Para a formação dos modelos 3D no InVersalius são indispensáveis a criação de máscaras, pois são elas que permitem a seleção das áreas anatômicas que serão utilizadas para criação dos modelos tridimensionais. A seleção das máscaras pode ser realizada de forma automática através do limiar de cinza ou como no caso desse trabalho selecionadas de forma manual utilizando as ferramentas de watershed que possui as opções de seleção do objeto, fundo e a apagar.

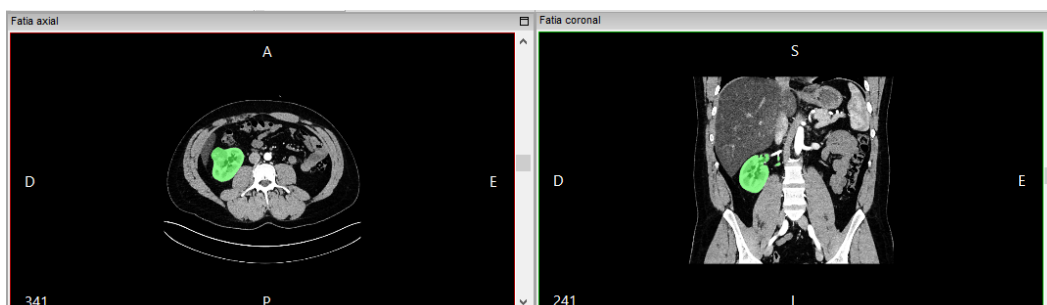
A primeira máscara foi criada com a seleção completa do rim onde está localizado o tumor, como mostrado nas Figuras 10, 11 e 12.

**Figura 10 - Fatias axial da máscara 1 do paciente KiTS - 00002.**



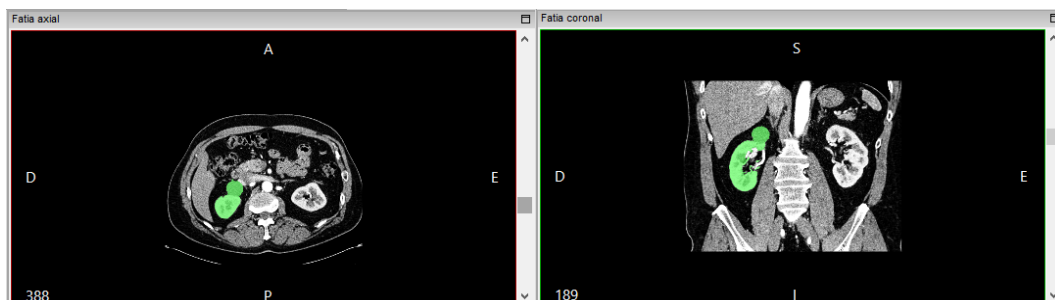
Fonte: Autoria própria

**Figura 11 - Fatias coronal e axial da máscara 1 do paciente KiTS - 00091.**



Fonte: Autoria própria

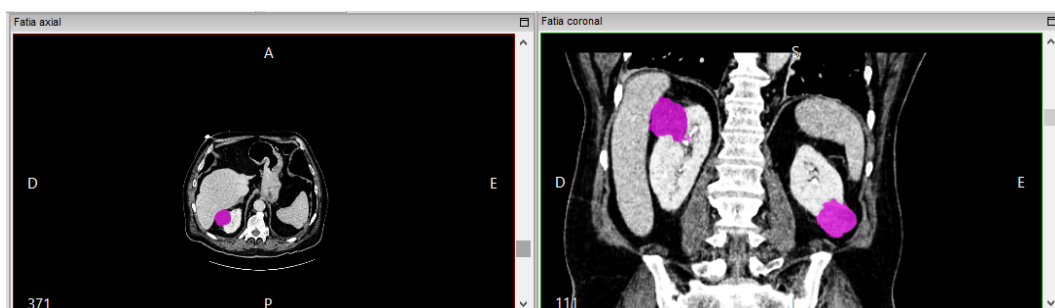
**Figura 12 - Fatias coronal e axial da máscara 1 do paciente KiTS - 00141.**



Fonte: Autoria própria

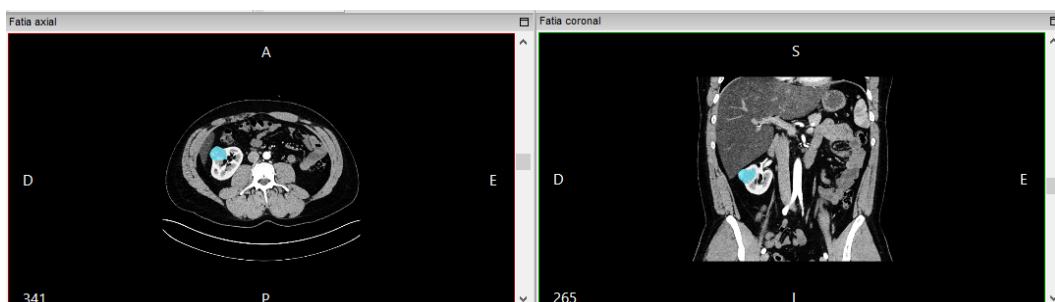
Na segunda máscara são selecionados apenas os tumores, deixando o órgão como fundo, como mostrado nas Figuras 13, 14 e 15.

**Figura 13 - Fatias axial da máscara 2 do paciente KiTS - 00002.**



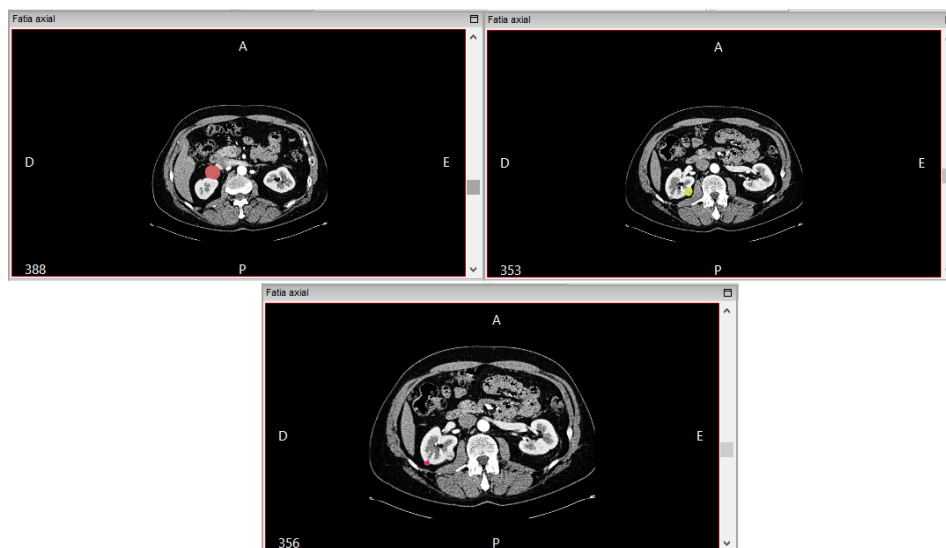
Fonte: Autoria própria

**Figura 14 - Fatias coronal e axial da máscara 2 do paciente KiTS - 00141.**



Fonte: Autoria própria

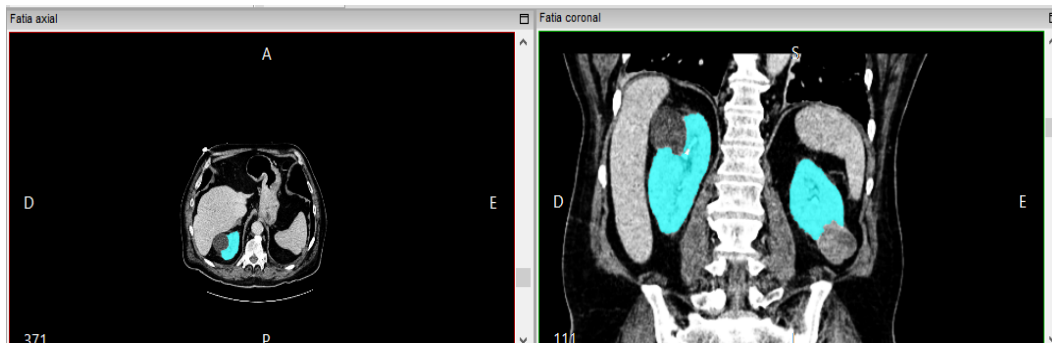
**Figura 15 - Fatias coronal e axial da máscara 2 do paciente KiTS - 00141.**



Fonte: Autoria própria

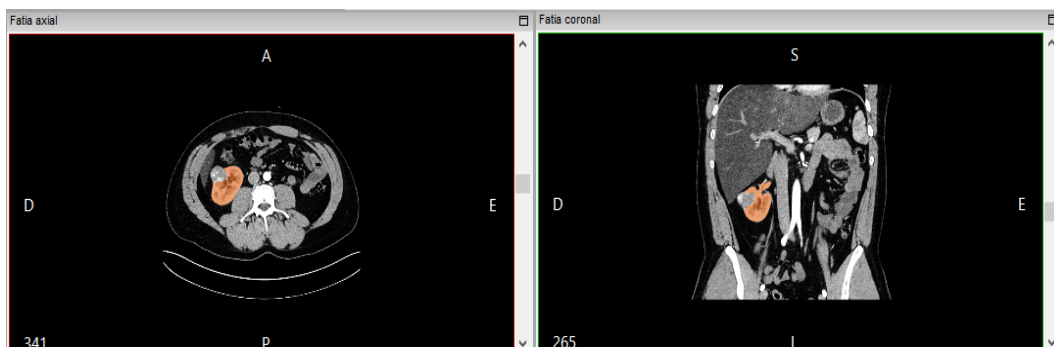
Após a criação das máscaras apenas com o tumor e com o rim completo foi realizada a operação booleana de diferença entre as duas máscaras, criando assim uma nova que contenha o rim com o espaço do tumor vazio como mostrado nas Figuras 16, 17 e 18.

**Figura 16 -Fatias axial da máscara 3 do paciente KiTS - 00002.**



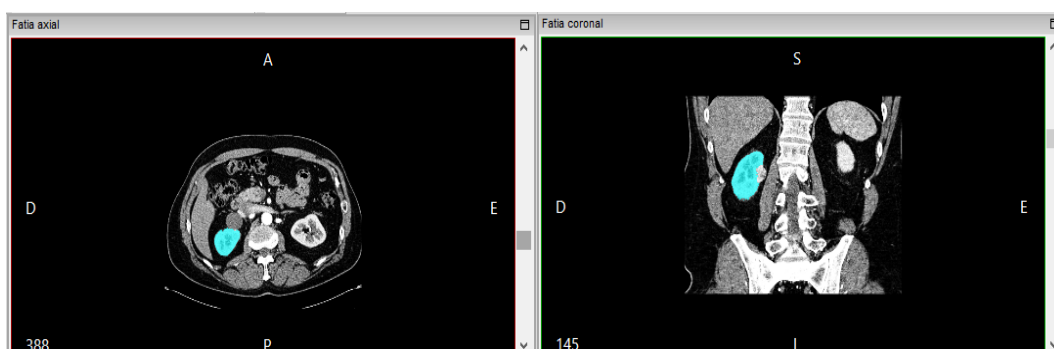
Fonte: Autoria própria

**Figura 17 - Fatias coronal e axial da máscara 3 do paciente KiTS - 00091.**



Fonte: Autoria própria

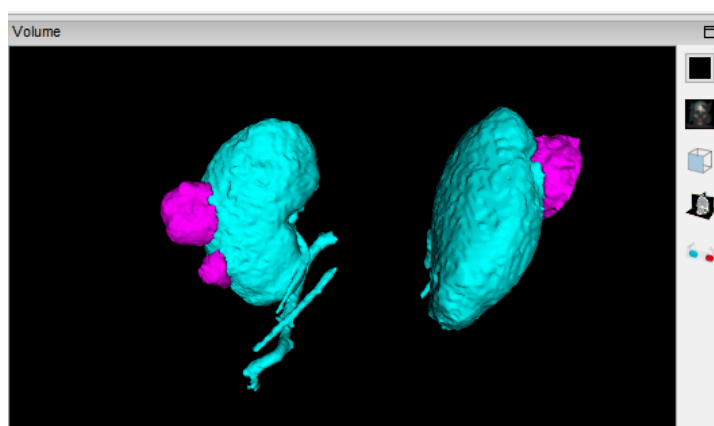
**Figura 18 - Fatias coronal e axial da máscara 3 do paciente KiTS - 00141.**



Fonte: Autoria própria

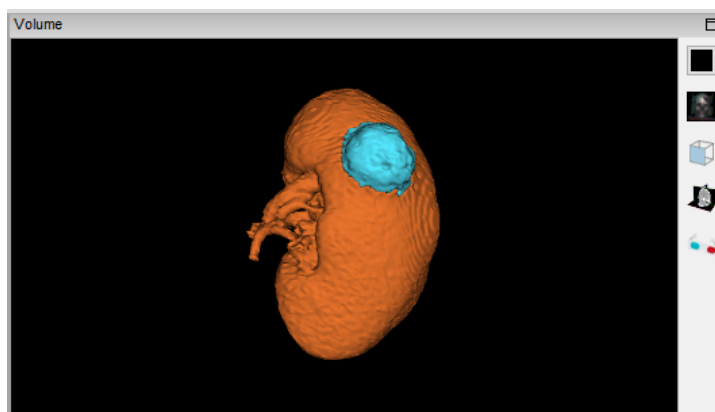
Assim que o processo de seleção seja finalizado e todas as máscaras estejam concluídas, as superfícies 3D são criadas como mostrado nas Figuras 19, 20 e 21.

**Figura 19 - Superfícies 3D do paciente KiTS-00002 criada com base nas máscaras.**



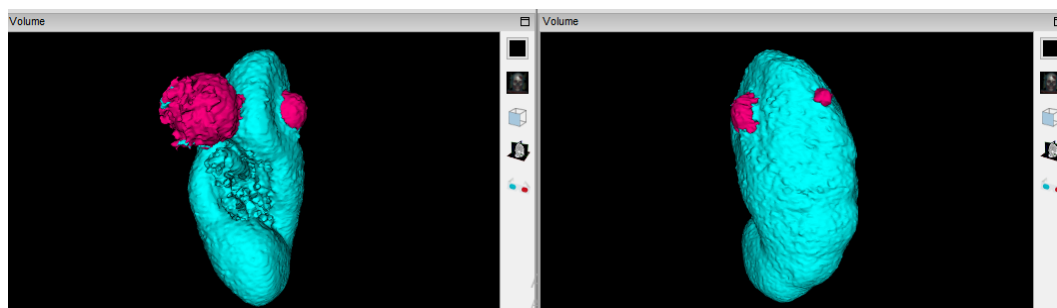
Fonte: Autoria própria

**Figura 20 - Superfície 3D do paciente KiTS-00091 criada com base nas máscaras**



Fonte: Autoria própria

**Figura 21 - Superfície 3D do paciente KiTS-00141 criada com base nas máscaras.**

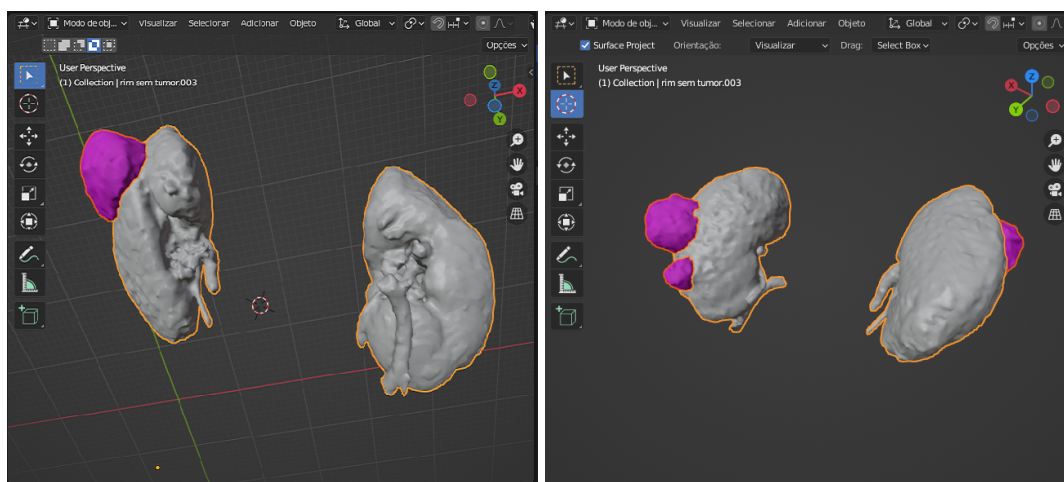


Fonte: Autoria própria

### 3.2.3 Ajustes do modelo 3D

O Blender foi utilizado para fazer os ajustes e correções na malha, textura e correção de imperfeições no objeto gerado no software InVesalius. Nos ajustes dos objetos 3D aplicou-se o modificador *decimate* com o intuito da redução das faces do objeto e em modo de escultura a ferramenta *smooth* para suavização, como mostrado nas Figuras 22, 23 e 24.

**Figura 22 - Objetos 3D ajustados no Blender do paciente KiTS-00002**

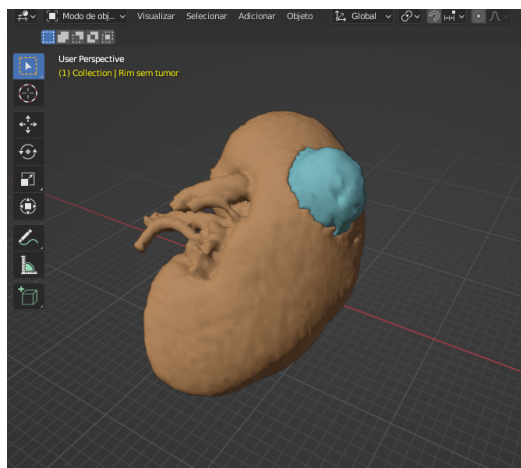


(a) Vista frontal dos objetos 3D

(b) Vista posterior dos objetos 3D

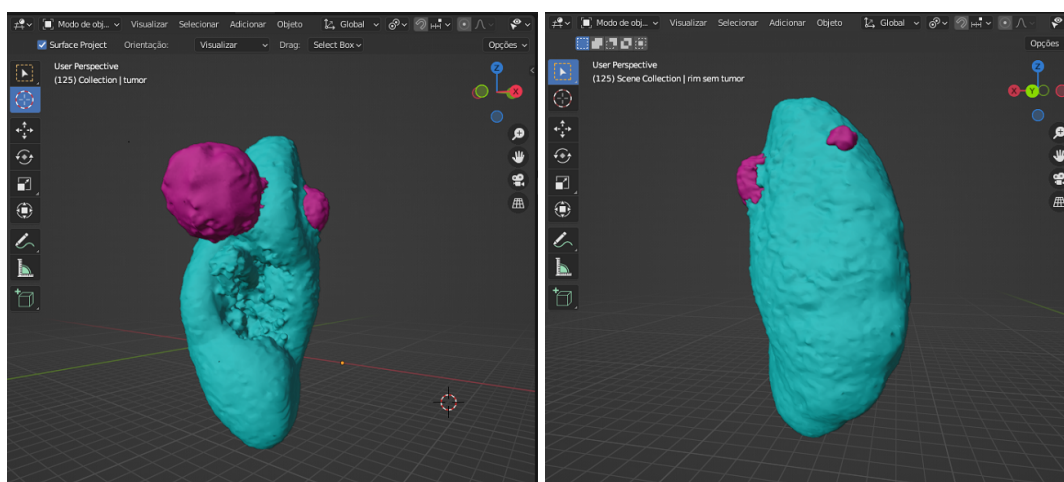
Fonte: Autoria própria

**Figura 23 – Objetos 3D ajustados no Blender do paciente KiTS-00091**



Fonte: Autoria própria

**Figura 24 - Objetos 3D ajustados no Blender do paciente KiTS-00141**



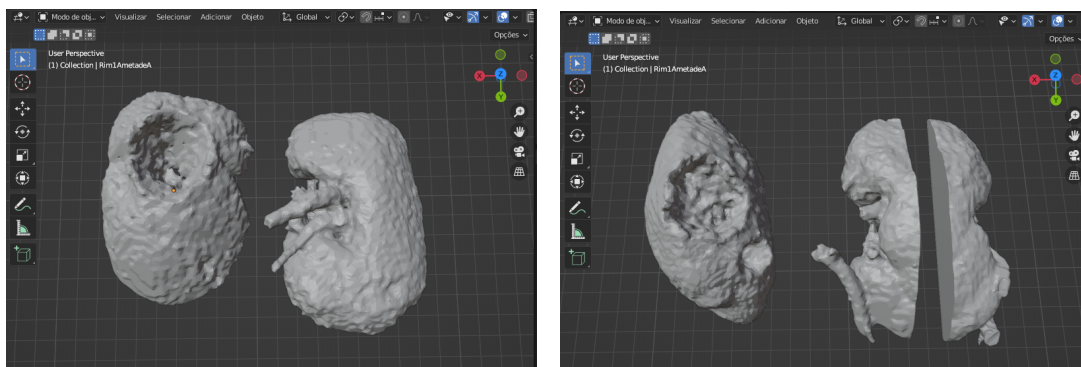
(a) Vista frontal dos objeto 3D

(b) Vista posterior do objeto 3D

Fonte: Autoria própria

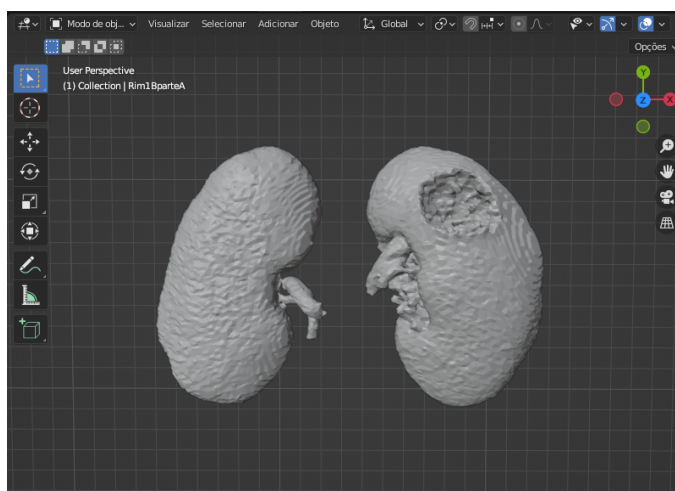
Após a finalização dos ajustes, os modelos 3D dos órgãos foram divididos em duas ou três partes usando o modificador *boolean*. A divisão dos modelos foi realizada pois os órgãos não possuem superfície reta e dessa forma não são necessários o uso de suportes no fatiamento e impressão 3D evitando deformações nos objetos finais. Os objetos 3D após a divisão podem ser observados nas Figuras 25, 26 e 27.

**Figura 25 - Vista superior no Blender dos rins do paciente KiTS-00002 após a divisão**



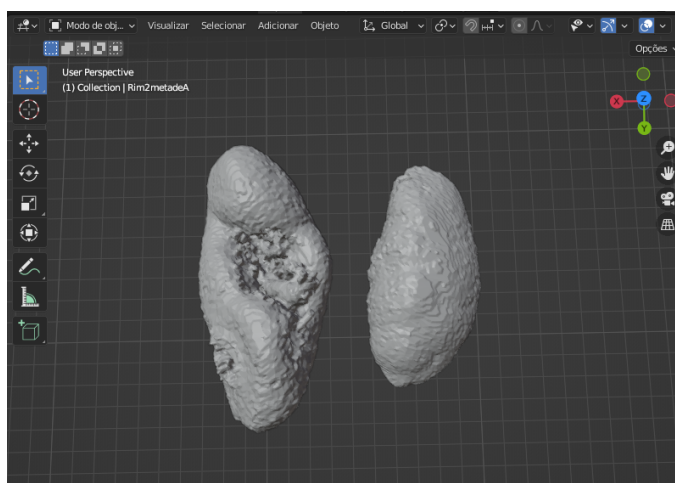
Fonte: Autoria própria

**Figura 26 - Vista superior no Blender do rim do paciente KiTS-00091 após a divisão**



Fonte: Autoria própria

**Figura 27 - Vista superior no Blender do rim do paciente KiTS-00141 após a divisão**



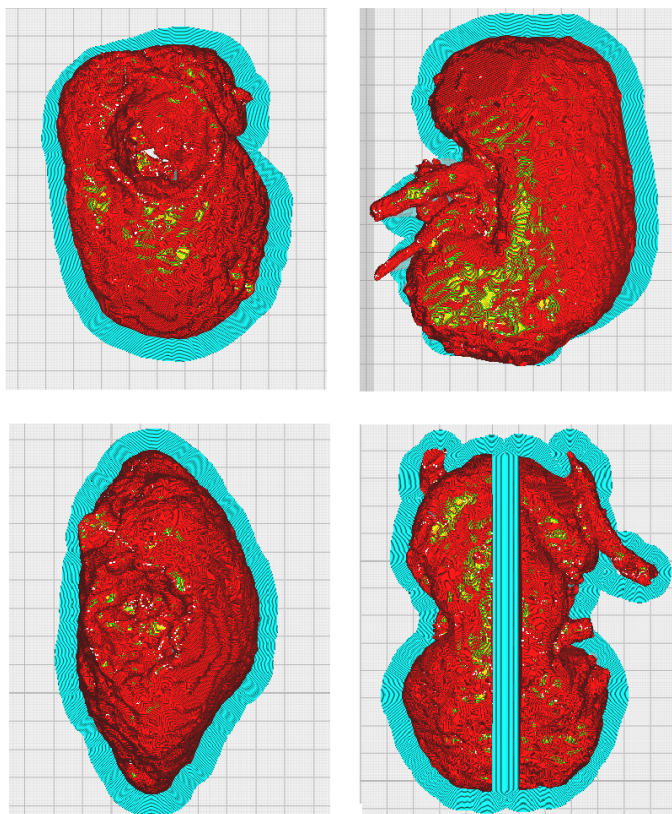
Fonte: Autoria própria

### 3.2.2 Fatiamento do Objeto e Impressão 3D

Na etapa de fatiamento foram definidos alguns parâmetros importantes para a qualidade da impressão: 20% de preenchimento, padrão de preenchimento concêntrico,

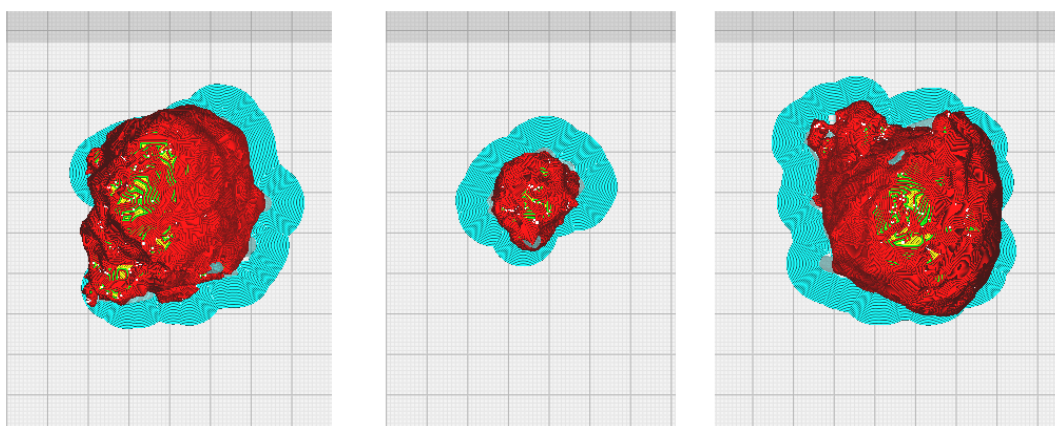
temperatura de impressão de 235.0°C, temperatura da mesa de 110.0°C, perfil de 0.15mm (normal) e filamento ABS. Nas Figuras 28, 29, 30, 31, 32 e 33 podem ser observados os modelos dos órgãos e tumores depois de fatiados na pré-visualização.

**Figura 28 - Vista superior no Ultimaker Cura dos rins do paciente KiTS-00002 após fatiamento**



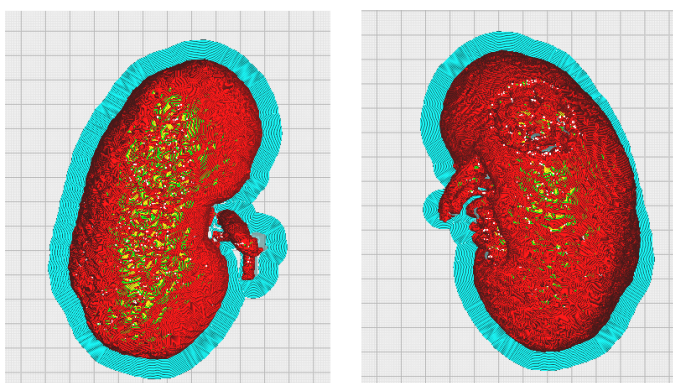
Fonte: Autoria própria

**Figura 29 - Vista superior no Ultimaker Cura dos tumores do paciente KiTS-00002 após fatiamento**



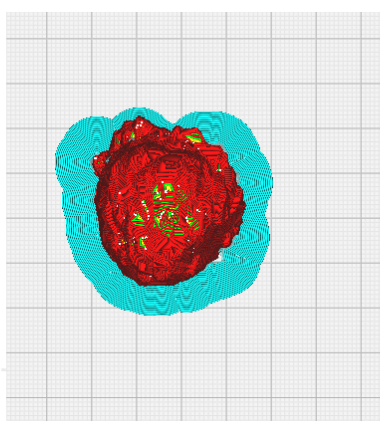
Fonte: Autoria própria

**Figura 30 - Vista superior no Ultimaker Cura do rim do paciente KiTS-00091 após fatiamento**



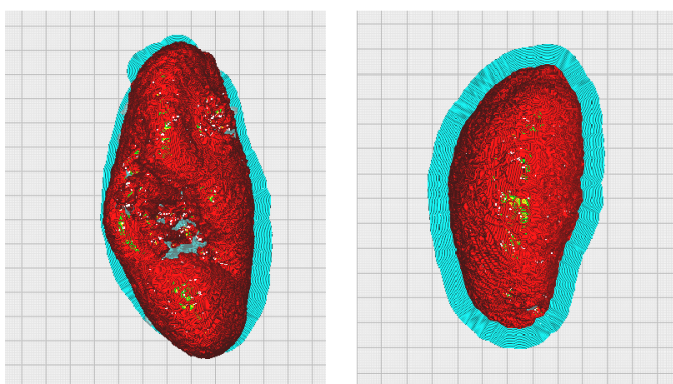
Fonte: Autoria própria

**Figura 31 - Vista superior no Ultimaker Cura do tumor do paciente KiTS-00091 após fatiamento**



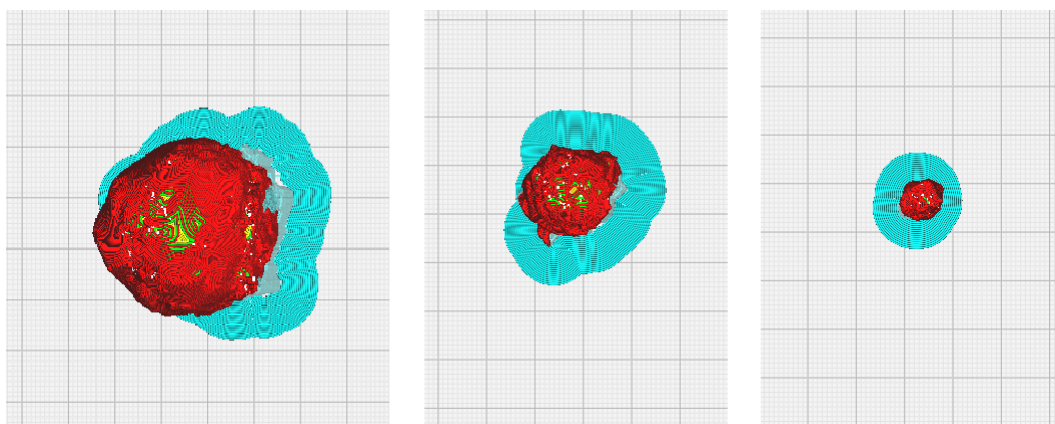
Fonte: Autoria própria

**Figura 32 - Vista superior no Ultimaker Cura do rim do paciente KiTS-00141 após fatiamento**



Fonte: Autoria própria

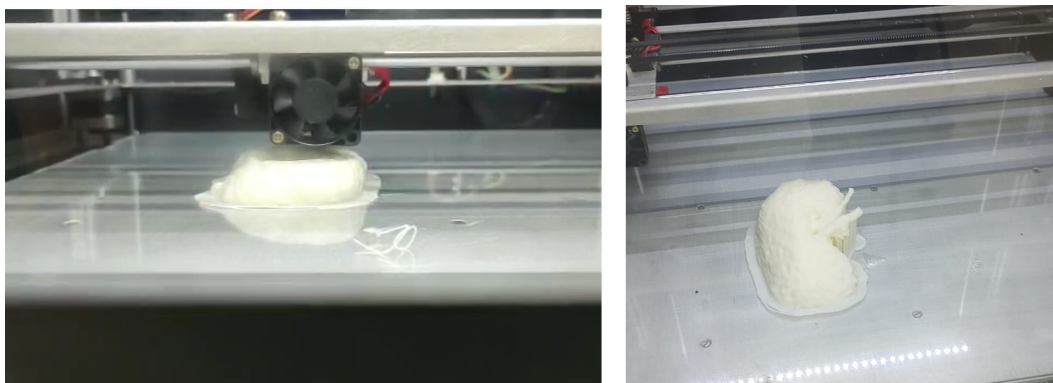
**Figura 33 - Vista superior no Ultimaker Cura dos tumores do paciente KiTS-00141 após fatiamento**



Fonte: Autoria própria

As impressões dos órgãos foram executadas na impressora FDM Sehti3D S4X com filamento ABS colorido e os tumores na Sethi3D S3 com filamento ABS da cor branca, em média cada parte do rim levou três horas de impressão e os tumores aproximadamente uma hora cada. Na Figura 34 vê-se uma parte do processo da impressão.

**Figura 34 - Fotos do processo de impressão**



Fonte: Autoria própria

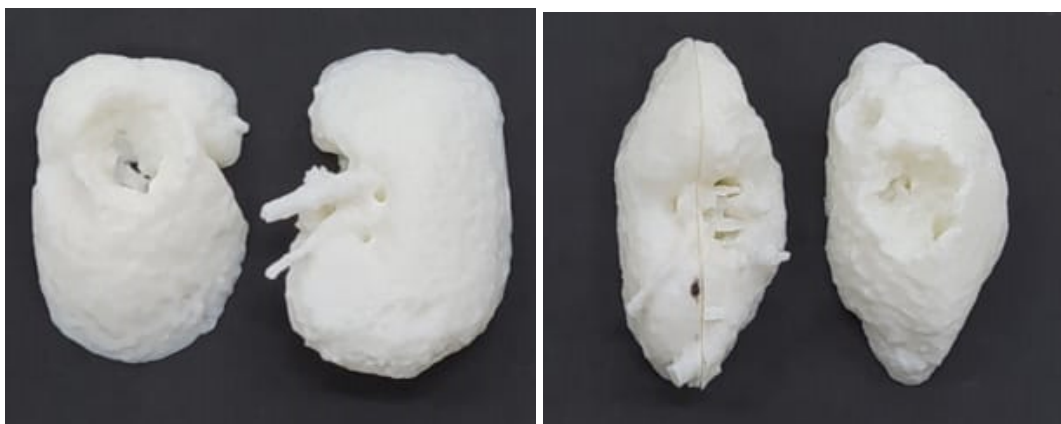
#### 4 RESULTADOS

Ao realizar a etapa de aquisição das imagens foram enfrentadas dificuldades na busca de uma base de imagens de exames de TC com acesso público. Depois de diversas buscas, como resultado foi encontrada a base Data from C4KC-KiTS localizada no TCIA.

O principal obstáculo na formação do modelo 3D surgiu ao selecionar as máscaras, pois no caso de alguns pacientes a qualidade das imagens era inferior ao desejado. Na expansão das máscaras para todas as fatias, eram selecionadas áreas anatômicas indesejadas devido a baixa qualidade das imagens, o que acarretava em distorções na superfície. O resultado dessa etapa foi a escolha de 3 pacientes para a fabricação dos protótipos devido a viabilidade de criação de máscaras mais precisas.

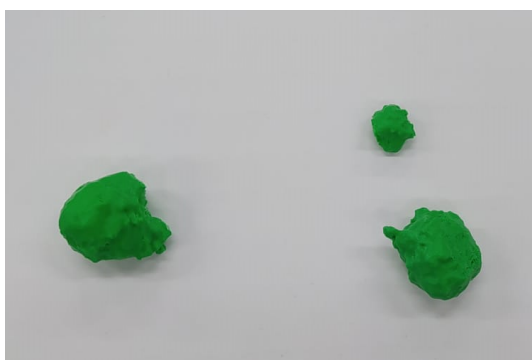
O tempo de impressão de cada rim foi em média 6 horas e de cada tumor aproximadamente 1 hora, utilizando o filamento ABS. Após o término da impressão, as peças passaram por uma etapa de pós-processamento, no qual foram removidas as estruturas de suporte e retirados os excessos nas laterais dos modelos. Nas figuras a seguir, vê-se o resultado final das impressões 3D nas figuras 35, 36, 37 e 38.

**Figura 35 - Modelos físicos dos rins do paciente KiTS-00002**



(a) Modelo físico dividido do rim esquerdo (b) Modelo físico dividido do rim direito  
Fonte: Autoria própria

**Figura 36 - Modelos físicos dos tumores do paciente KiTS-00002**



Fonte: Autoria própria

**Figura 37 - Modelo físico do rim do paciente KiTS-00091**



Fonte: Autoria própria

**Figura 38 - Modelo físico do tumor do paciente KiTS-00091**



Fonte: Autoria própria

Os resultados da impressão dos protótipos foram satisfatórios, pois a impressora conseguiu executar a impressão em tempo adequado, com qualidade e quantidade de detalhamentos, principalmente no caso dos órgãos. No entanto, ainda foi possível perceber alguns erros nas camadas inferiores dos tumores principalmente onde envolviam suportes, eventualmente por serem peças pequenas e minuciosas uma impressora do tipo SLA teria melhor desempenho do que a FDM.

## 5 CONCLUSÃO

Conclui-se que a impressora 3D em conjunto com softwares médicos e de modelagem 3D são ferramentas capazes de auxiliar a área da saúde trazendo melhor visualização e entendimento da anatomia humana.

Os modelos 3D em tamanho real possibilitam as equipes médicas definirem uma estratégia eficiente e planejamento das cirurgias com a vantagem de possuir uma visão detalhada de estruturas, órgãos e tecidos de forma detalhada e em escala real, antecipando riscos e dificuldades que serão enfrentadas posteriormente. Além disso, modelos anatômicos fabricados baseados em imagens de TC de pacientes com tumores trazem para os especialistas facilidade nos casos cirúrgicos de ressecção, observando a particularidade de cada caso e paciente.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, I. N. de. **IMPRESSÃO 3D E SUA APLICAÇÃO NA ENGENHARIA CIVIL**. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra - Departamento de Engenharia Civil, Jul 2021.
- AMORIM, P. H. et al. Invesalium: Software livre de imagens médicas. **Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer-CTI**, Campinas/SP–2011-CSBC 2011, 2011.
- ARAUJO, M. C. E. de et al. Contribuições da engenharia reversa e produção de modelos 3d para o ensino médico. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e385101119692–e385101119692, 2021.
- BALZANI, R. N. **A PRODUÇÃO DE IMPRESSORAS TRIDIMENSIONAIS DE BAIXO CUSTO PARA ESTUDANTES DE ARQUITETURA**. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Brasília, 2017.
- BASSO, M. L. et al. Impressão de protótipo tridimensional (p3d) de coração para aplicação na cardiologia pediátrica: Uma experiência inicial. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, SciELO Brasil, v. 116, p. 507–509, 2021.
- BUCCO, M. **La impresión 3D y su aplicación en los servicios médicos (prótesis, fármacos, órganos)**. Dissertação (Mestrado) - Universidad de San Andrés, jun. 2016.
- CLARK, K. et al. The cancer imaging archive (tcia): maintaining and operating a public information repository. **Journal of digital imaging**, Springer, v. 26, n. 6, p. 1045–1057, 2013.
- COELHO, A.; ARAUJO, A. C.; THIRE, R. Manufatura aditiva por estereolitografia: análise da geometria da peça e da influência da posição e orientação de fabricação. **Revista Matéria**, v. 23, n. 4, 2018.
- COUTINHO, B. A. S. **Prótese modular de antebraço com auxílio de impressora 3d. Monografia (Graduação em Engenharia Mecatrônica ), CEFET (Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais), Divinópolis, Minas Gerais, Brasil, 2018.**
- EIJNATTEN, M. V. et al. Ct image segmentation methods for bone used in medical additive manufacturing. **Medical engineering & physics**, Elsevier, v. 51, p. 6–16, 2018.
- FERNANDES, G. A.; AHRENS, C. H.; PIRES, A. T. Influência do processo de pós-cura em câmara de luz ultravioleta de peças obtidas com resina fotopoliméricas em máquinas de estereolitografia. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS**. São Pedro - SP: [s.n.], 2000. p. 58101–58108.
- FINA, F. et al. Selective laser sintering (sls) 3d printing of medicines. **International journal of pharmaceutics**, Elsevier, v. 529, n. 1-2, p. 285–293, 2017.
- GARIB, D. G. et al. Tomografia computadorizada de feixe cônico (cone beam): entendendo este novo método de diagnóstico por imagem com promissora aplicabilidade na ortodontia. **R Dental Press Ortodon Ortop Facial**, v. 12, n. 2, p. 139–156, 2007.
- GRIFFREY, J. The types of 3-d printing. **Library Technology Reports**, v. 50, n. 5, p. 8–12,

2014.

GROSS, B. C. et al. Evaluation of 3d printing and its potential impact on biotechnology and the chemical sciences. **Analytical Chemistry**, v. 86, n. 7, p. 3240–3253, 2014. PMID: 24432804. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/ac403397r>>.

HELLER, N. et al. Data from c4kc-kits [data set]. **The Cancer Imaging Archive**, v. 10, 2019.

LACERDA, T. F. et al. Aplicabilidade da impressora 3D na prática médica contemporânea. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 1, p. 620-625, 2020.

MATOZINHOS, I. P. et al. Impressão 3d: Inovações no campo da medicina. **Revista Interdisciplinar Ciências Médicas**, v. 1, n. 1, p. 143-162, 2017.

MENDONÇA, C. J. **Aplicação da tecnologia de impressão 3D no tratamento de fratura coronal do côndilo femoral**. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Elétrica e Informática Industrial - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Dez 2018.

MERCADER, C. et al. Role of the three-dimensional printing technology in complex laparoscopic renal surgery: a renal tumor in a horseshoe kidney. **International Brazilian Journal of Urology**, v. 45, n. 6, p. 1129–1135, 2019.

MORANDINI, M. M.; VECHIO, G. H. D. Impressão 3d, tipos e possibilidades: uma revisão de suas características, processos, usos e tendências. **Interface Tecnológica**, v. 17, n. 2, 2020.

MOURAO, A. P. **Tomografia computadorizada: Tecnologias e aplicações**. [S.l.]: Difusão Editora, 2018. ISBN 8578082818, 9788578082819.

PALHAIS, C. **PROTOTIPAGEM: Uma abordagem ao processo de desenvolvimento de um produto**. Tese (Doutorado) — Faculdade de Belas Artes - Universidade de Lisboa, 2016.

PEREIRA, P. de F.; LOURENÇO, P. G.; BERGAMASCHI, M. P. Conceitos iniciais sobre o blender. **Unisanta Science and Technology**, v. 7, n. 1, p. 26–32, 2018.

SALCEDO, M. C.; MOLINER, E. S. Estudio comparativo de dos tecnologías de mecanizado rápido; coproinmold y sinterizado selectivo por láser. **Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia**, Universidad de Antioquia, n. 38, p. 64–72, 2006.

SILVA, L. C. de O.; LOPES, M. V.; BARROS, A. K. Projeto de uma sonda estratosférica didática para o estudo de engenharia aeroespacial. In: **II CONGRESSO AEROESPACIAL BRASILEIRO**. Santa Maria - RS: [s.n.], 2019.

SOARES, L. H. M.; BORTOLUZZI, A. C.; SOUZA, A. D. C. de. Propostas de utilização de uma impressora 3d no curso de engenharia mecânica. **Perspectiva**, v. 43, n. 162, p. 33–46, 2019.

STECK, J. H. et al. Planejamento de cirurgias complexas em cabeça e pescoço-o uso de modelos tridimensionais. **Rev. bras. cir. cabeça pescoço**, p. 171–173, 2007.

TORRES, A. S. A. **Segmentação de Imagens Médicas Visando a Construção de Modelos Médicos**. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Tecnologia e Gestão Instituto Politécnico de Bragança, nov. 2012.

VOLPATO, N. et al. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. [S.l.]: Blucher, 2017. ISBN 9788521211518.

WAKE, N. et al. 3d printed renal cancer models derived from mri data: Application in pre-surgical planning. **Abdominal Radiology**, v. 42, n. 5, p. 1501–1509, 2017.

YU, D. G. et al. **Three-dimensional printing in pharmaceuticals: promises and problems**. In: . [S.l.]: Elsevier, 2008. v. 97, n. 9, p. 3666–3690