

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

**ANA PAULA HELENA VIEIRA
JULIANA HOFFMANN TEIXEIRA**

**ATUAÇÃO DO TECNÓLOGO EM RADIOLOGIA NO PROCESSO DE IMPRESSÃO
DE PROTÓTIPOS 3D UTILIZADOS COMO APOIO AO PLANEJAMENTO
CIRÚRGICO**

FLORIANÓPOLIS, 2022

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

**ANA PAULA HELENA VIEIRA
JULIANA HOFFMANN TEIXEIRA**

**ATUAÇÃO DO TECNÓLOGO EM RADIOLOGIA NO PROCESSO DE IMPRESSÃO
DE PROTÓTIPOS 3D UTILIZADOS COMO APOIO AO PLANEJAMENTO
CIRÚRGICO**

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 Tecnóloga em
Radiologia.

Orientador: Marco Antônio Bertoncini, Me.

FLORIANÓPOLIS, 2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Vieira, Ana Paula Helena
Atuação do Tecnólogo em Radiologia no Processo de
Impressão de Protótipos 3D utilizados como apoio ao planejamento
cirúrgico / Ana Paula Helena Vieira; Juliana Hoffmann Teixeira;
orientação de Marco Antônio Bertoncini Andrade. - Florianópolis,
SC, 2022.

50 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. CST
em Radiologia. Departamento Acadêmico de Saúde e
Serviços.
Inclui Referências.

1. Radiologia. 2. Impressão 3D. 3. Área de atuação
profissional.

I. Teixeira, Juliana Hoffmann. II. Andrade, Marco Antônio
Bertoncini. III. Instituto Federal de Santa Catarina.
IV. Atuação do Tecnólogo em Radiologia no Processo de
Impressão de Protótipos 3D utilizados como apoio ao
planejamento cirúrgico.

ATUAÇÃO DO TECNÓLOGO EM RADIOLOGIA NO PROCESSO DE IMPRESSÃO DE PROTÓTIPOS 3D UTILIZADOS COMO APOIO AO PLANEJAMENTO CIRÚRGICO

ANA PAULA HELENA VIEIRA
JULIANA HOFFMANN TEIXEIRA

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

Florianópolis, 23 de agosto de 2022.

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
marco.bertoncini
Data: 10/09/2022 10:33:21-0300
CPF: 072.822.259-07
Verifique as assinaturas em <https://v.ifsc.edu.br>

Marco Antônio Bertoncini Andrade, Me.

Orientador- IFSC



Documento assinado digitalmente
daiane.cristini\DAIANE CRISTINI BARBOSA DE S
Data: 10/09/2022 23:35:28-0300
CPF: 368.317.578-80
Verifique as assinaturas em <https://v.ifsc.edu.br>

Prof^a. Daiane Cristini Barbosa de Souza, Dr^a.

Avaliadora- IFSC



Documento assinado digitalmente
FABIANO OLIVEIRA ANTONINI
Data: 12/09/2022 12:44:49-0300
CPF: 806.428.969-68
Verifique as assinaturas em <https://v.ifsc.edu.br>

Prof. Fabiano Oliveira Antonini, Dr.

Avaliador- IFSC

RESUMO

Introdução: Em virtude do desenvolvimento acelerado das tecnologias atuais, uma das novidades é o uso da Impressora 3D, e à medida que essas novas formas de aplicação da impressão 3D surgem, cresce a importância do conhecimento dos profissionais da saúde para a adequação às inovações tecnológicas, assim, aprimorando as técnicas utilizadas. **Objetivo:** Evidenciar a participação do tecnólogo em radiologia no processo produtivo dos protótipos de impressão 3D utilizados como ferramenta para auxílio no planejamento cirúrgico. **Metodologia:** O método utilizado foi uma pesquisa documental dos arquivos do Laboratório de Manufatura Aditiva e Inovação em Saúde, de caráter qualitativo, sendo os resultados dos dados oriundos dos documentos e arquivos analisados, mediante abordagem descritiva. **Resultados:** Pode-se observar que a participação do tecnólogo em radiologia é capaz de atuar de forma íntegra na produção, desde a análise das deformidades anatômicas até a finalização da peça impressa. **Conclusão:** Durante todo o estudo é perceptível a ausência de informações técnicas específicas nos relatórios, bem como imagens em DICOM de todos os casos atendidos pelo Laboratório. Assim como, fica evidente a importância do tecnólogo em radiologia em todo o processo de produção dos protótipos 3D, uma vez que este é capacitado a atuar de forma íntegra, desde a análise das deformidades anatômicas por meio das imagens DICOM geradas pelo exame de Tomografia Computadorizada, até o acabamento final da peça.

Palavras-chave: Radiologia. Impressão 3D. Área de atuação profissional.

ABSTRACT

Introduction: Due to the accelerated development of current technologies, one of the novelties is the use of the 3D Printer, and as these new forms of application of 3D printing emerge, the importance of knowledge of health professionals grows in order to adapt to technological innovations, thus improving the techniques used. **Objective:** To demonstrate the participation of radiology technologists in the production process of 3D printing prototypes used as a tool to aid in surgical planning. **Methodology:** The method used was a documentary research of the files of the Laboratory of Additive Manufacturing and Innovation in Health, of a qualitative nature, with the results of the data coming from the documents and files analyzed, using a descriptive approach. **Results:** It can be observed that the participation of the radiology technologist is capable of acting fully in the production, from the analysis of anatomical deformities to the completion of the printed piece. **Conclusion:** Throughout the study, the absence of specific technical information in the reports, as well as DICOM images of all cases attended by the Laboratory, is noticeable. As well, it is evident the importance of the technologist in radiology throughout the production process of 3D prototypes, since it is able to act in an integrated way, from the analysis of anatomical deformities through dicom images generated by Computed tomography examination, to the final part of the piece.

Keywords: Radiology. 3D printing. Professional practice area.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 Problema da pesquisa	8
1.2 Justificativa.....	8
1.3 Objetivo Geral.....	9
1.4 Objetivos Específicos	9
2 REVISÃO DA LITERATURA	10
2.1 Tomografia computadorizada	10
2.2 Formato DICOM	13
2.3 Prototipagem Rápida e suas funcionalidades	15
2.3.1 Impressão 3D FDM (Modelagem de Deposição Fundida).....	16
2.3.2 Programas da Impressão 3D.....	17
2.3.3 Filamento da Impressão 3D	18
2.4 Deformidades ósseas	19
2.4.1 Escoliose torácica congênita completa	20
2.4.2 Pés tortos de equinovaro.....	21
2.4.3 Agenesia sacral com regressão caudal.....	22
2.4.4 Fratura de fêmur distal	23
2.4.5 Fraturas de face - órbita	24
3 METODOLOGIA	26
3.1 Metodologia de análise dos dados	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5 CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Aulete (2018) a tecnologia pode ser definida como uma ciência que trata de desenvolvimento, agrupando conjuntos de técnicas, processos e métodos, presente no cotidiano da sociedade. A tecnologia se origina nas mais diversas áreas de atuação e conhecimento, inclusive, no setor da saúde. A área da saúde engloba diversas inovações e pesquisas que tornam o trabalho dos profissionais mais eficaz. Regularmente surgem novas pesquisas cujos resultados motivam novos estudos e se incorporam aparelhos cada vez mais sofisticados em que os profissionais necessitam se adaptar (ALBUQUERQUE; SOUZA; BAESSA, 2018).

No setor de radiologia, também existem inovações tecnológicas constantes. O aperfeiçoamento dos equipamentos beneficia as técnicas utilizadas na rotina dos profissionais. Mas por mais avançado que seja, a tecnologia imaginológica, ainda apresenta ineficiências no processo de planejamento de uma cirurgia, por se tratar de um meio de visualização digital, geralmente bidimensional.

Segundo Matozinhos *et al* (2017) em virtude do desenvolvimento acelerado das tecnologias atuais, uma das novidades é o uso da Impressora 3D. A impressora 3D tem viabilizado não só a elaboração de novas abordagens terapêuticas, mas também a dinamização de procedimentos cirúrgicos, garantindo, dessa forma, um melhor prognóstico a muitos pacientes. [...] Muitas das aplicações da impressora 3D na medicina ainda estão em fase de pesquisa e longe da realidade dos consultórios médicos brasileiros, mas existem algumas formas mais simples de utilizar a tecnologia, as quais têm se mostrado extremamente úteis na prática médica. A impressora 3D pode imprimir próteses ortopédicas, protótipos tridimensionais, peças odontológicas, réplicas físicas de exames de pacientes cirúrgicos, moldes para planejamento pré-cirúrgico e peças para fins didáticos.

As aplicações médicas para a impressão 3D têm se expandido muito nos últimos anos e é esperado que ela revolucione a saúde (VENTOLA, 2014). E à medida que essas novas formas aplicação da impressão 3D surgem, cresce a importância do conhecimento dos profissionais da saúde para a adequação às inovações tecnológicas, assim, aprimorando as técnicas utilizadas. Neste sentido, o presente trabalho tem a finalidade de expor a atuação do tecnólogo em radiologia no processo produtivo dos protótipos tridimensionais, que utilizam a tecnologia da impressão 3D para auxiliar no planejamento cirúrgico.

1.1 Problema da pesquisa

Na saúde, a impressão 3D pode ser utilizada de diversas formas, na busca de melhorias de identificação anatômica, auxílio em procedimentos cirúrgicos, entre outros, criando mais segurança no tratamento de um paciente. (FERREIRA; KRUGER; SANTOS, 2016).

Dessa forma, esta pesquisa questiona: Qual a importância do conhecimento do profissional tecnólogo em radiologia durante a produção de protótipos 3D do projeto LabMAIS usados no planejamento de cirurgias ortopédicas?

1.2 Justificativa

Em diversos casos cirúrgicos complexos, é difícil compreender a anatomia de determinadas patologias e alterações ósseas, mesmo com exames radiológicos tridimensionais, principalmente as deformidades congênitas.

Segundo Rengier *et al* (2010), a impressão 3D pode melhorar e facilitar o diagnóstico, qualidade e auxílio no planejamento pré-cirúrgico. Essa nova tecnologia contribui com a equipe médica, pois, ao utilizar a impressora 3D, é possível criar um protótipo real e único para cada caso clínico, servindo como guia no período pré-cirúrgico e durante as cirurgias ortopédicas em pacientes com deformidades complexas do sistema esquelético. Dessa forma, com a confecção das peças anatômicas do paciente, a equipe cirúrgica consegue compreender mais facilmente a anatomia daquela patologia, realizando uma melhor avaliação e um planejamento cirúrgico mais adequado.

Para realizar a confecção dessas peças são necessários conhecimentos apurados em anatomia e patologia geral, histologia, imaginologia e geração de imagens de tomografia computadorizada. Isso porque, durante o processo de impressão são realizadas etapas de análise de imagens tomográficas, estudo de patologias e deformidades ósseas, bem como manipulação de softwares clínicos que são configurados com termos técnicos utilizados na produção da imagem tomográfica.

Estes conhecimentos são intrínsecos à formação de um tecnólogo em radiologia, logo, este estudo torna-se relevante ao demonstrar a necessidade da presença deste profissional em todo o processo de criação de cada protótipo.

Além de divulgar uma nova possibilidade de atuação deste profissional os dados desta pesquisa servem como incentivo aos serviços de ortopedia cirúrgica e instituições de ensino, na implementação dessa nova aplicação tecnológica nas salas cirúrgicas das diversas instituições de saúde, a fim de auxiliar no bem estar cirúrgico do paciente.

1.3 Objetivo geral

O propósito principal deste trabalho é evidenciar a participação do tecnólogo em radiologia no processo produtivo dos protótipos de impressão 3D utilizados como ferramenta para auxílio no planejamento cirúrgico, relatando os casos atendidos pelo projeto LabMAIS.

1.4 Objetivos específicos

Para alcançar o propósito deste trabalho foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- a) apresentar casos clínicos atendidos pelo projeto LabMAIS;
- b) descrever as etapas do desenvolvimento dos modelos 3D, da avaliação de imagem, segmentação até a produção física da peça, com estimativa de custos;
- c) avaliar, do ponto de vista de estudantes do curso superior de tecnologia em radiologia e ex-participantes do projeto LabMAIS, a importância do uso do modelo impresso no planejamento cirúrgico e divulgar a participação do tecnólogo em radiologia na produção do protótipo 3D.

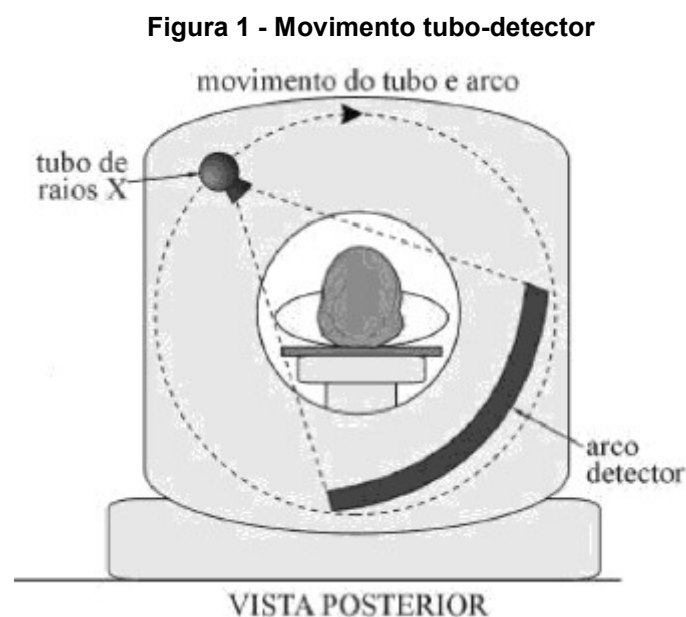
2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão abordados conteúdos já publicados relacionados a esta pesquisa. São esses: tomografia computadorizada; prototipagem rápida e suas funcionalidades; impressão 3D com Modelagem de Deposição Fundida (FDM) e deformidades ósseas.

2.1 Tomografia computadorizada

A tomografia computadorizada (TC) é um meio de produzir imagens combinando a rotação contínua do tubo de raios X em volta do paciente e uma mesa de exames que se move continuamente, de forma a produzir dados de volume integrais (HENWOOD, 2003).

Conforme explicam Santos e Nacif (2009), o tubo de raios x gira 360 graus em torno da região do corpo de estudo, em um movimento sincronizado com o detector (Figura 1), produzindo uma energia por meio de um gerador de alta voltagem. A maior parte dessa energia se dissipa em forma de calor e uma mínima parcela é transformada em fótons de radiação X. A radiação X produzida manifesta-se como um feixe em formato de leque, gerando atenuações enquanto atravessa a região de interesse.

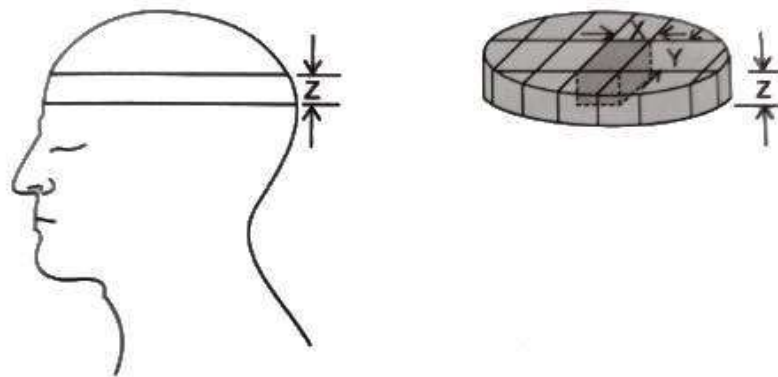


Fonte: Mourão (2007)

A intensidade do Feixe de raios X varia de acordo com a potência do tubo. Quanto maior a potência, maior o número de fótons de X por tempo. Os feixes são gerados em uma faixa de energia de 80 a 140 keV. O aumento da potência está diretamente relacionado com o aumento da corrente cátodo-ânodo (mA). (MOURÃO, 2018)

A imagem tomográfica é obtida, num processo final, quando os fótons de raios x emitidos da ampola interagem com o corpo e os residuais são captados por detectores que os enviam em forma de sinal elétrico ao computador. (COSTA, 2007). As imagens visualizadas são obtidas em secções (“fatias”). (JUNIOR *et al.*, 2001). Este plano, ou fatia, tem uma espessura “z”, como visto na Figura 2. O feixe de raios x a ser utilizado passa somente através desse volume, assim os efeitos da superposição e da dispersão são consideravelmente minimizados, embora não totalmente. A caracterização final dos tecidos dentro do volume varrido é expressa e demonstrada para cada área de elemento dadas como x e y, conforme a Figura 2 (LEE *et al*, 2004).

Figura 2. Representação de corte seccional no paciente

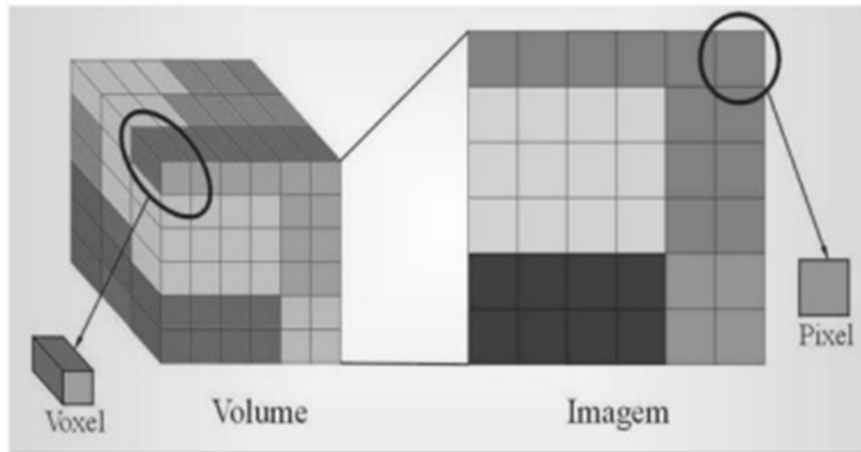


Fonte: Lee, *et al* (2004)

A imagem resultante representa um corte anatômico e não um volume do plano, sendo reconstruída por um determinado número de medidas oriundas das diversas posições do sistema tubo-detector. Por ser obtida por um feixe tênue, a fatia é irradiada de forma individual e dividida em pequenas unidades de volume, chamadas de voxels, (Figura 3). O nível de absorção da radiação ionizante na fileira de voxels é determinado pelo valor dos feixes de entrada e saída captados pelo

detector, gerando um sinal elétrico que é convertido para o computador. (MOURÃO, 2018).

Figura 3 - Demonstração de pixel e voxel



Fonte: Mourão (2007)

Conforme explica Mourão (2018), após a imagem ser adquirida, é realizado um tratamento para se ter o contraste visual entre as estruturas do volume, denominado na imagem digital de pixels. Cada pixel representa um ou mais voxels, sendo demonstrados na imagem com uma variação de tons cinza, determinados pelo valor da atenuação entre feixe e voxel. Portanto, quanto maior a absorção do feixe pelo tecido, mais claro este se apresentará na imagem.

A intensidade (brilho) reflete a absorção dos raios-X e pode ser medida em uma escala (unidades Hounsfield), (JÚNIOR; YAMASHITA, 2001). De acordo com Santos e Nacif (2009), a unidade de Hounsfield (UH) é a maneira de quantificar as densidades. Os valores de UH representam o coeficiente de atenuação " μ " dos raios x em relação à água, formando uma escala que correlaciona densidade e coeficiente de atenuação. Como explica Lee *et al* (2004), os tecidos possuem propriedades de atenuação diferentes conforme vemos na Tabela 1, no qual o tecido ósseo é especificado como +1000, o ar -1000 e a água 0 (zero).

Tabela 1 - Escala de Hounsfield

Tecido	Coeficiente de atenuação	Unidade de Hounsfield
Osso	0,400	+1000
Sangue	0,215	+100 (Aprox.)
Liquor (substância cerebral)	0,210	+30 (Aprox.)
Água	0,203	0
Gordura	0,185	-100
Ar	0,0002	-1000

Fonte: Lee *et al* (2004).

2.2 Formato DICOM

Segundo Bushong (2010), em 1970 surgia a tomografia computadorizada e junto com essa tecnologia, as clínicas de diagnóstico por imagem iniciaram a utilização avançada do uso de computadores com as imagens digitais. Ainda conforme Bushong (2010), com a crescente utilização de imagens digitais, se fez necessário a criação de um método-padrão para o arquivamento e transferência de imagens, informações e detalhes entre os dispositivos criando-se assim, *Digital Imaging and Communication in Medicine* conhecido como DICOM.

O DICOM, é um padrão mundial para comunicação e armazenamento de imagens médicas e informações associadas, atualmente utilizado por quase todas as modalidades de imagens médicas (AZEVEDO-MARQUES; SALOMÃO, 2015).

Conforme explica Nema (2001), o padrão DICOM é diferente dos outros formatos comuns de imagens tais como (JPEG, TIFF, GIF e outros), pois permite que se armazene as informações dos pacientes em conjunto com a imagem. A grande vantagem desse formato é que possibilita a leitura do arquivo e a coleta das informações necessárias de forma direta, ou seja, gerencia as imagens e informações dos pacientes de forma coerente, mantendo sua integridade.

O código G, derivado de Código Geométrico, também conhecido como G-Code, é uma linguagem de programação de fácil manuseio, criado especificamente para máquinas CNC. Esse código fornece ao cabeçote da máquina instruções de como, quando e onde mover-se geometricamente de forma tridimensional, ou seja, nos eixos x, y e z (CHAKRAVORTY, 2020).

De acordo com Baião (2012), essa ferramenta é utilizada para que haja a comunicação entre software e a impressora, que logo após salvar as modificações realizadas no objeto, deve gerar o Toolpath, que não é nada mais que as instruções que servem para explicar como movimentar a impressora para realizar a impressão do objeto desejado, tendo essas informações escritas em um tipo de formato em G-Code.

Ao abrir o arquivo STL no Slicer, ele calcula os dados do modelo e se prepara para gerar o código de acordo com as preferências definidas na interface, gera uma visualização lateral do modelo e dá opções de como visualizar o modelo em 3D, escalar para um tamanho apropriado, desenvolver uma estrutura (em forma de colméia) interna não maciça de modo a reduzir custos de impressão (tempo/material) sem comprometer a sustentação do modelo ou a parte que nos interessa no experimento, e exportar o G-Code (LINO, 2014).

Além do padrão de comunicação principal, o DICOM e o G-CODE, houve necessidade de um sistema que possibilitasse a troca de dados de imagens de forma automática através de uma rede, sendo desenvolvido o *Picture Archiving and Communication System* (PACS), que consiste também em uma tecnologia de centralização e arquivamento de imagens de exames radiológicos, permitindo acesso remoto às mesmas, oportunizando a equipe médica o acesso a estas informações, por qualquer dispositivo tecnológico com acesso à internet (PIEREZAN; AZEVEDO, 2020).

De acordo com Nunes *et al* (2016), o sistema PACS funciona basicamente através de três etapas bem definidas: aquisição de imagens, controle/arquivamento de imagens e apresentação de imagens, além de um programa de visualização com interface amigável e funções básicas de manipulação de imagens (janelamento, medidas de distâncias e ângulos, entre outros).

Como menciona Bushong (2010), cada dia é menos utilizada a imagem analógica, dando espaço para as técnicas de aquisição e compartilhamento digital, trazendo uma grande transformação na visualização, análise, arquivamento e tráfego de imagens na área da saúde.

2.3 Prototipagem rápida e suas funcionalidades

A prototipagem rápida é um processo construtivo utilizado para a obtenção de protótipos físicos a partir de um modelo tridimensional digital. Com base nesse modelo tridimensional, os sistemas de prototipagem constroem protótipos pela adição sucessiva de finas camadas de materiais específicos, como plásticos, cerâmicas, aços e papéis.

Tais técnicas já vêm sendo desenvolvidas há mais de trinta anos, tendo recebido nomes diferentes ao longo do tempo, tais como “prototipagem rápida”, “manufatura rápida” e, mais recentemente, “impressão tridimensional” ou “manufatura aditiva” (LIU *et al* 2013). A impressão tridimensional ou prototipagem rápida designa um conjunto de tecnologias usadas para se fabricar objetos físicos diretamente a partir de fontes de dados gerados por sistemas de projeto auxiliados por computador (C.A.D). Tais métodos são bastante peculiares, uma vez que eles agregam e ligam materiais, camada a camada, de forma a constituir o objeto desejado (GORNÍ, 2001). As camadas construtivas são o princípio básico da impressão 3D, pois ela consiste na fabricação de uma peça a partir da deposição de um determinado material em camadas sobrepostas repetidas vezes até que se tenha a peça completa (TAKAGAKI, 2012).

Nos anos 90, conforme Antas (2007), a comunidade científica percebeu que as máquinas de prototipagem rápida podiam utilizar vários tipos de dados tridimensionais, tais como os obtidos através de exames médicos. Foi então desenvolvido um software que permitia fazer a interface entre os dados médicos e as máquinas de prototipagem rápida. O seu sucesso inicial, aliado à demonstração dos benefícios da utilização desta tecnologia difundiram a prototipagem por várias especialidades médicas.

De acordo com o estudo de Guerra Neto *et al* (2018), a manufatura de modelos tridimensionais pré-cirúrgicos possibilita um melhor planejamento cirúrgico para a equipe médica, possibilitando infinitos planos cirúrgicos para serem testados, podendo-se assim diminuir o tempo de cirurgia e, conseqüentemente, a exposição do paciente a infecções.

Nesta perspectiva, segundo Jacotti; Barausse e Felice (2014), pode-se afirmar que ao possuir um modelo anatômico da estrutura anatômica, através das imagens dos exames radiológicos, os médicos cirurgiões poderão estudar o molde

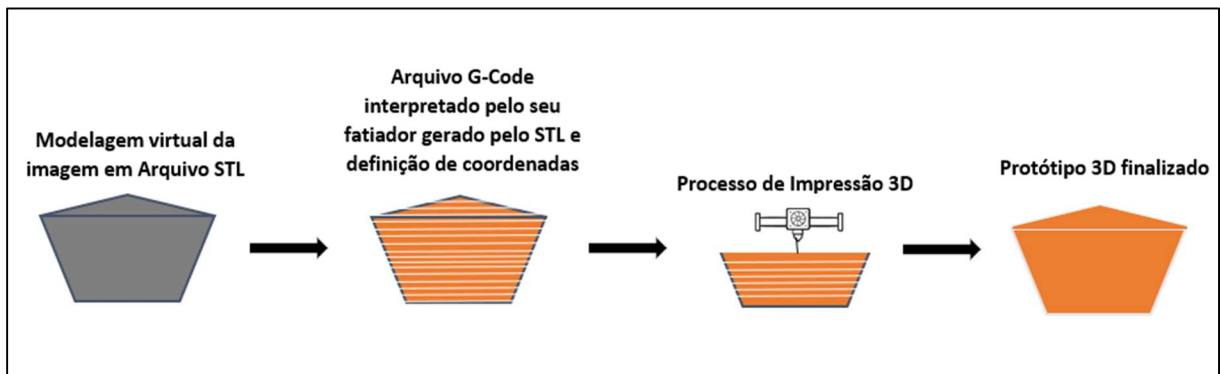
tridimensional e saber exatamente onde e como irão intervir na cirurgia, reduzindo os riscos e aumentando consideravelmente a chance de sucesso no procedimento.

2.3.1 Impressão 3D FDM (Modelagem de Deposição Fundida)

Esta tecnologia tem se desenvolvido de forma acelerada nos últimos anos, após as quedas de patentes e pelo desenvolvimento de novas tecnologias e materiais. Em busca de maior competitividade no mercado, as empresas estão buscando tecnologias que as auxiliem a melhorar seus processos, a qualidade de seus produtos, a reduzir os custos e os tempos de produção (FIGUEIREDO; CESAR, 2022). Ainda conforme Figueiredo e Cesar (2022), a manufatura aditiva, como também é conhecida a impressão 3D, possui como seu *input* primordial o uso de modelos virtuais, esses modelos virtuais são gerados via softwares computacionais do tipo Computer-Aided Design (CAD), fornecendo à impressora 3D a informação essencial para a confecção do produto desejado.

As técnicas de impressão 3D apresentam diversas etapas como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Etapas da modelagem



Fonte: Próprio autor

No âmbito da Impressão 3D, a Modelagem por Fusão e Deposição (FDM) caracteriza-se por uma das técnicas mais comuns, devido principalmente à sua facilidade de uso e boa relação de custo benefício (WOJTYLA, KLAMA, BARAN, 2017).

O processo FDM consiste em tecnologia baseada em extrusão, na qual a matéria prima utilizada, em sua forma inicial, é um filamento, que é gradualmente

aquecido e extrusado por um bico calibrado sobre uma plataforma de construção (GIBSON, 2015). A deposição e a fusão de materiais são os métodos construtivos mais regularmente utilizados por essas máquinas, as quais também variam em muito quanto ao uso de matérias-primas, isto é, diferentes tipos de polímeros, cerâmica, metais, tecidos, biomateriais, entre outros (VOLPATO, 2007).

As possibilidades trazidas através deste recurso vão desde o refinamento das adaptações de forma individual à extinção de uso de alguns materiais, que podem causar incômodos ou intercorrências, uma vez que podem permitir um ajuste perfeito, sem sobreposições ou costuras (bastante comuns em adaptações de termoplásticos), além da melhora da estética do produto e do menor custo em relação às adaptações já existentes no mercado (CRUZ; JÚNIOR; SARMANHO, 2018). O princípio da impressora 3D é o mesmo da convencional, só que, no lugar de tinta, cientistas introduz-se no aparelho pó, gel ou filamento de metal ou de plástico, que, no lugar de letras, imprime camada por camada de peças tridimensionais desde dedos, crânios, peles e até células tronco embrionárias – os estudiosos deram a isso o nome de *bioprinting* (PALMA; KLAPER, 2015; MATOZINHOS *et al.*, 2017). Um exemplo de utilização dessa técnica no Brasil é dado pelo neurocirurgião Dr. Joel Teixeira, dos grupos de dor e de coluna do Hospital das Clínicas e do Hospital Alemão Oswaldo Cruz, em São Paulo; ele cria protótipos de colunas a partir de tomografias computadorizadas dos seus pacientes, permitindo que haja um tratamento personalizado, atendendo as demandas e propiciando o que a medicina busca desde seus primórdios: a qualidade de vida (LACERDA *et al* 2020).

A tecnologia da impressão 3D pode revolucionar a indústria como um todo, de forma que ela reduz os custos para a produção individualizada e para a customização. As impressoras possuem tecnologia que gera poucos resíduos, exige menos mão de obra comparada a outros processos construtivos e facilita a criação de protótipos (PORTO, 2016).

2.3.2 Programas da Impressão 3D

Há atualmente uma diversidade de programas gratuitos para a modelagem de peças anatômicas tridimensionais que estão disponíveis na internet, ao acesso de

todos. Os programas utilizados pelo projeto do LabMAIS foram o Weasis, 3D Slicer e Simplify 3D.

O Weasis é um programa visualizador DICOM independente e baseado na Web, com várias finalidades e com uma arquitetura altamente modular. Com a necessidade de distribuir e visualizar imagens radiológicas dentro e fora de um hospital, juntamente com novas tecnologias e protocolos Web foi criado este visualizador multiplataforma (ALVES, 2013).

Segundo Firmino Filho *et al* (2015), o visualizador Weasis DICOM é um software gratuito, de código aberto que permite renderizações de alta qualidade com alto desempenho através da biblioteca OpenCV e é utilizado para visualizar e avaliar as imagens seccionais.

Para realizar a segmentação das imagens médicas, cita-se o software 3D Slicer, um projeto que visa fornecer uma plataforma para uma variedade de aplicações através de um modelo de desenvolvimento comunitário (PIEPER *et al*, 2004).

De acordo com Fedorov *et al* (2012), o 3D Slicer é um software gratuito, extensível de código aberto para computação de imagem médica e visualização, que emergiu como um culminar de vários projetos independentes focados na visualização de imagens e navegação cirúrgica. Este programa é uma poderosa ferramenta de visualização que permite a exploração dos conjuntos de dados de imagem em dois, três e quatro dimensões, permitindo a fusão de dados funcionais e anatômicos, e fornece uma variedade de ferramentas genéricas e especializadas para seu processamento e análise multimodal.

O Simplify 3D é um software de fatiamento de impressão 3D capaz de controlar todos os aspectos de uma impressão 3D. Ele traduz modelos 3D em instruções que a impressora entende. Instruções melhores significam impressões melhores, portanto, uma simples atualização de software faz toda a diferença (GERSHENFELD, 2012).

2.3.3 Filamento da Impressão 3D

O processo de construção é quase todo automatizado e ocorre de maneira relativamente rápida, se comparado aos meios tradicionais de fabricação (VOLPATO, 2017). Como meio de fabricar objetos, a impressão 3D é um processo de fabricação

que se adiciona material a partir de um código de programação gerado por um computador e inserido numa máquina que irá imprimir objetos camada por camada (MICALLEF, 2015).

Conforme Brydson (1999) explica, o copolímero Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), é o mais utilizado em FDM, uso justificado pelas propriedades apresentadas de dureza, resistência ao impacto, estabilidade dimensional, resistência à deformação por calor e resistência mecânica a baixas temperaturas.

O políácido láctico (Ácido Láctico) (PLA) é um dos principais biopolímeros da categoria dos polímeros biodegradáveis, devido às suas propriedades físicas e mecânicas (BELLOLI, 2010). O PLA apresenta propriedades mecânicas como elevado módulo de elasticidade, rigidez, transparência, comportamento termoplástico, biocompatibilidade e boa capacidade de moldagem (LIU *et al* 2011).

O PLA dispõe de características termomecânicas, apresentando maior resistência mecânica e menor coeficiente de expansão térmica, o que melhora sua capacidade de impressão, reduzindo efeitos como o empenamento durante o processo de fabricação (CASAVOLA *et al*, 2017).

Trata-se de um polímero sintetizado a partir de fontes renováveis como o açúcar de milho, batata, e cana de açúcar, através de bioconversão e polimerização (ARAÚJO *et al*, 2015). O PLA dispõe de características interessantes, tais como biocompatibilidade, biodegradabilidade, e absorção biológica, além de boas propriedades mecânicas e de processabilidade, estabilidade térmica e baixo impacto ambiental (WU *et al*, 2016).

2.4 Deformidades ósseas

Os protótipos são elaborados conforme a anatomia e condição patológica de cada paciente. Dessa maneira, abordaremos nessa seção uma breve explicação sobre as deformidades que afetam o sistema esquelético apresentadas mais à frente, em cada caso do projeto.

2.4.1 Escoliose torácica congênita completa

A palavra escoliose, derivada do grego *skolios* (curva), é utilizada para definir o desvio lateral da coluna no plano frontal. Trata-se de uma deformidade tridimensional, em que ocorrem alterações da anatomia da coluna nos planos coronal, sagital e axial. Tecnicamente, a escoliose é definida pela presença de curvaturas da coluna vertebral com angulação superior a 10 graus, analisadas em radiografia antero posterior da coluna vertebral. Essa aferição é tradicionalmente realizada através do método de Cobb, que consiste na medição do ângulo formado por linhas perpendiculares às placas terminais da primeira e da última vértebra da curva (COBB, 1948). Pode ser de origem neuromuscular, idiopática, congênita ou relacionada a síndromes (MATTEDI *et al*, 2012).

Especificamente a escoliose congênita (EC) é causada por malformações nos corpos vertebrais que levam a sua assimetria e ao desequilíbrio do crescimento longitudinal da coluna vertebral (AZEVEDO, 2017). As malformações vertebrais encontradas na EC são originadas durante o desenvolvimento embrionário, período de formação dos precursores vertebrais (TIKOO *et al* 2017).

Segundo Azevedo (2017), a EC ocorre em cerca de um em cada 1.000 indivíduos nascidos vivos, e é a doença congênita vertebral mais comum, seguida da cifose e da lordose congênita. Devido à alta prevalência da escoliose na população brasileira e o potencial deformante desta doença, que além de dissabores estéticos pode levar a perda da capacidade cardiopulmonar e mais raramente à morte, deve-se realizar o diagnóstico precoce para melhor estabelecimento do tratamento. Com o objetivo de aliviar os sintomas algícos, corrigir alterações estéticas, impedir a progressão da curva, estabilizar e balancear a coluna, faz-se necessário o melhor manejo da doença, seja expectante, seja com órteses ou cirurgia (MATTEDI *et al*, 2012).

A escoliose é apontada quando o grau de desvio é superior a 10°, sendo que o primeiro nível vai de 10° à 25° necessitando apenas de acompanhamento para caso aconteça progressão significativa da curva; o segundo nível vai de 25° a 45° e necessita de reparo através de órtese e no terceiro nível; e no terceiro nível, cujo valor de desvio é maior que 45°, como na Figura 5, o tratamento cirúrgico geralmente é recomendado (GODINHO *et al* 2011). O tratamento da EC é baseado principalmente

no tipo de defeito vertebral, na magnitude da deformidade e na maturidade esquelética do paciente (MCMASTER; OHTSUKA, 1982).

Figura 5 - Radiografia de coluna total



Fonte: Tambe *et al* (2018)

2.4.2 Pés tortos de equinovaro

O *talipes equinovarus* congênito, conhecido também como pé torto congênito (PTC) (Figura 6), é a deformidade congênita ortopédica mais comum. Com efeito, o paciente necessita de tratamento intensivo e representa uma displasia congênita de todas as estruturas musculoesqueléticas, como músculos, tendões, ligamentos, estruturas osteoarticulares e neurovasculares, distais ao joelho (CHUEIRE *et al* 2016).

Segundo Lara *et al* (2012), a incidência aproximada é de um para cada 1.000 nascidos vivos, predomina no gênero masculino numa proporção de três casos para um, no qual o envolvimento bilateral ocorreu em 60% dos casos e, quando unilateral, foi mais frequente do lado direito.

A etiologia desta patologia ainda é desconhecida, podendo estar relacionada com posição intrauterina do feto, compressão mecânica ou aumento da pressão hidráulica intrauterina, parada no desenvolvimento fetal, deficiências vasculares, alterações musculares, alterações neurológicas, defeito no

desenvolvimento das estruturas ósseas e defeitos genéticos, como explica Maranhão *et al* (2011).

Figura 6 – radiografia do pé esquerdo em Incidência Anteroposterior



Fonte: Oliveira (2021)

2.4.3 Agenesia sacral com regressão caudal

A agenesia sacral é uma desordem rara, de incidência incerta, que tem sido reportada em diversas populações. Embora usualmente esporádica e mais comumente associada com diabetes gestacional, há uma forma hereditária que pode ocorrer isolada ou com uma massa pré-sacral e anormalidades anorretais (LOPES, 1997).

De acordo com Salas *et al* (2004), a maioria dos casos relatados provavelmente representam apenas aqueles com gravidade intermediária. A agenesia sacral é considerada esporádica, com padrão de herança não familiar e tem sido usado como sinônimo de síndrome de regressão caudal (Figura 7).

Figura 7 - Radiografia ântero-posterior, mostrando falta de costelas, vértebras lombossacrais ausentes, pelve hipoplásica e posição "semelhante a sapo" dos membros inferiores.



Fonte: Aslan (2001)

Ainda conforme o estudo de Sapucaia *et al* (2017), a recorrência de tal patologia é de 1 a cada 7,5 mil nascidos vivos no mundo e se apresenta como defeitos na região caudal que podem se apresentar em graus variados de malformação, como, por exemplo, o desenvolvimento incompleto do sacro, que pode acarretar desde incontinência urinária ou fecal até uma lesão neurológica completa.

2.4.4 Fratura de fêmur distal

O fêmur é o mais longo e pesado osso do corpo humano, composto por uma diáfise e duas epífises, articula-se proximalmente com o osso do quadril e distalmente com a patela e a tíbia, está envolto por grandes massas musculares e desempenha um importante papel na sustentação do esqueleto (NUNES *et al*, 2012). Tem por finalidade a transmissão da carga, ou peso, durante o movimento. (ARAÚJO *et al.*, 2015). As fraturas da diáfise femoral, segundo Moraes *et al* (2009), resultam normalmente de trauma de alta energia. A maioria delas ocorre em adultos jovens durante acidentes de trânsito, quedas de altura ou ferimentos por arma de fogo.

Sua maior resistência deve-se à presença das forças musculares e de sustentação do peso corporal.

Conforme explica Pires *et al* (2010), as fraturas da diáfise do fêmur como podemos observar na Figura 8, são lesões graves, decorrentes de forças violentas, muitas vezes associadas a comprometimento de outros órgãos, e que podem determinar deformidades e sequelas ao paciente, em razão de complicações imediatas ou tardias.

Ainda segundo Nunes *et al* (2012), em geral causam grandes limitações, como dor intensa, deformidade, edema, sensibilidade local acentuada, espasmo muscular e na maioria dos casos perda da função, impossibilitando as atividades de vida diária.

Figura 8 - Radiografias do fêmur distal em incidência AP e Perfil



Fonte: Irigoyen; Bidolegui; Pereira (2022)

Por essa razão, segundo Nunes *et al* (2012), o mais aconselhável é o tratamento cirúrgico nas fraturas da diáfise do fêmur, permitindo ao paciente recuperação funcional.

2.4.5 Fraturas de face - órbita

A face é composta por uma série de estruturas nobres, entre elas, a cavidade orbital. Como cita De Oliveira (1999), a sua localização anatômica está

significativamente exposta às fraturas e traumatismos, que podem comprometer tanto física quanto esteticamente os pacientes.

Conforme explicam Pimentel *et al* (2017), as diversas fraturas de órbita de acordo com o local acometidas podem ocasionar várias sequelas como: diplopia, distopia, enoftalmia, perda de visão. Para cada situação há um tratamento. Nos casos cirúrgicos a intervenção, segundo Cunha, *et al* (2011), consiste em liberar o tecido orbitário herniado pelo foco de fratura, restaurar a arquitetura normal da órbita, objetivando um resultado estético e funcional adequado. Nas últimas décadas, vários avanços ocorreram no tratamento cirúrgico destas fraturas, bem como nos métodos diagnósticos.

Ainda de acordo com Cunha *et al* (2011), com o desenvolvimento de tomografias computadorizadas de múltiplos detectores, tornou-se possível a análise tridimensional da órbita, assim como sua avaliação volumétrica, o que revolucionou o manejo cirúrgico destas fraturas, como podemos observar na Figura 9.

Figura 9 - imagens evidenciando fratura no contorno da órbita esquerda



Fonte: Pedrosa (2018)

3 METODOLOGIA

O método utilizado no presente trabalho foi uma pesquisa documental de arquivos disponibilizados pelo “Projeto de Extensão: Laboratório de Manufatura Aditiva e Inovação em Saúde” do Instituto Federal de Santa Catarina que dão conhecimento ao material adquirido. Foi utilizada a revisão bibliográfica de artigos constantes nas bases de dados “SciELO”, “Lilacs”, “PubMed” e “Medline”, desde os anos de 1999 até os anos atuais, nas quais foram analisados diversas publicações, encontradas por intermédio dos descritores: “Impressão 3D”, “peças anatômicas”, “tomografia computadorizada”, “tecnólogo em radiologia” bem como foram utilizados documentos, como instrumentos base para o trabalho, com o intuito de organizar a fundamentação teórica para a introdução ao tema.

O método foi de caráter qualitativo, de forma que os objetivos traçados possam ser esclarecidos no delineamento de pesquisa, apresentando a atuação do tecnólogo em radiologia na produção de protótipos 3D utilizado como apoio no planejamento de cirurgias ortopédicas.

3.1 Metodologia de análise dos dados

As informações contidas nessa pesquisa foram analisadas em uma vertente qualitativa. Nesta vertente, os resultados dos dados oriundos dos documentos e arquivos analisados tem uma abordagem descritiva. As observações provenientes da pesquisa foram analisadas e interpretadas pelas discentes para análise de dados qualitativos.

A pesquisa iniciou pelo acesso aos arquivos do projeto ¹LabMAIS autorizado e disponibilizado pelo coordenador do projeto, orientador deste trabalho. Os arquivos foram disponibilizados em uma pasta online “nuvem”. A pasta continha: relatórios, imagens DICOM (anonimizadas), arquivos STL's e fotos de peças impressas.

¹LabMAIS Laboratório de Manufatura Aditiva e Inovação em Saúde (LabMAIS). O LabMAIS é um projeto público instalado no IFSC - Campus Florianópolis, que desenvolve peças anatômicas 3D para cirurgias de alta complexidade para Hospitais e Clínicas da região da grande Florianópolis. Fonte: www.instagram.com/labmais3d/

Após a análise dos documentos, selecionamos os casos mais complexos variando o tipo de estrutura a ser modelada. Estudamos cada alteração anatômica por meio de literatura publicada, pesquisamos também sobre os softwares utilizados no processo de modelagem das peças e os filamentos de impressão.

Em seguida, realizamos a simulação do processo de modelagem, desde a leitura da imagem DICOM, anonimizada conforme Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais, Lei nº 13.709/2018, até a etapa que antecede a impressão, onde ocorre a conversão do arquivo STL em G-Code (código G). Ainda nesta etapa de simulação, utilizamos o software Simplify 3D para coleta de dados para formação da tabela de custos de impressão. Após todos os dados serem coletados e analisados iniciamos então a descrição dos resultados obtidos nesta pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em uma primeira etapa, realizamos a leitura minuciosa dos relatórios utilizados pelo LabMAIS, no qual foram encontradas poucas informações sobre os casos dos pacientes. Em relação à condição do paciente, havia apenas o nome da região a ser modelada e o tipo de alteração tecido-esquelética. O restante do relatório descrevia de forma geral e resumida a importância do projeto LabMAIS.

Ao abrir os arquivos DICOM no software 3DSlicer, conseguimos identificar a localização, o tipo e a gravidade da alteração óssea. Analisamos as deformidades encontradas, estudando literaturas publicadas, conforme cada caso apresentado. Em todos os casos, o uso da peça anatômica 3D em mãos fará com que a equipe profissional planeje qual será a melhor estratégia para realizar a cirurgia reparatória no paciente.

No caso da escoliose congênita, a estrutura apresentava uma curvatura acentuada para o lado esquerdo, de aproximadamente 40 graus, iniciando nas primeiras vértebras da coluna torácica (T1) e terminando na terceira vértebra lombar (L3), que resultaram na protuberância ao lado oposto da curva. Essa deformidade afetou os discos intervertebrais, os ligamentos, como o longitudinal anterior e posterior, além dos músculos intercostais e íliopsoas. A curvatura causa uma assimetria em diversas partes do corpo, como nas orelhas, ombros, caixa torácica e também na bacia, podendo prejudicar o equilíbrio e afetando a maneira do paciente caminhar. Além de todos esses problemas na estrutura e no equilíbrio do paciente, a escoliose pode gerar dor no tórax e na lombar, gerando diversos desconfortos.

Neste caso, com a peça tridimensional foi possível planejar, de maneira adequada, como fazer a abordagem na deformidade do paciente que tem uma angulação grave na coluna, formando uma curvatura acentuada de aproximadamente 40 graus, sendo essa uma escoliose congênita torácica completa com necessidade de uma cirurgia reparatória.

Na Figura 10 visualizamos a imagem da coluna com escoliose congênita já modelada em 3D e à direita o protótipo já impresso.

Figura 10: Escoliose torácica congênita



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

No segundo caso, o paciente tinha Pés Tortos de Equinovaro com deformidade bilateral. Os pés do paciente eram curvados externamente com uma obliquidade de aproximadamente 25° . A deformidade do paciente iniciava na parte distal da tíbia e fíbula e terminava nas falanges distais, que tinham uma obliquidade grave, afetando as articulações do tornozelo como a tibiotársica e talocalcânea; os ligamentos colaterais e calcâneo-fibular; músculos extensores e flexores dos dedos e os tendões locais. Essa deformidade causa desconfortos e dores ao caminhar, se não tratado, pode causar artrite e outros problemas ortopédicos que se relacionam com uma locomoção alterada.

Na Figura 11 vemos a deformidade em 3 formatos onde podemos observar a curvatura inadequada da anatomia.

Figura 11 - Pés tortos de equinovaro



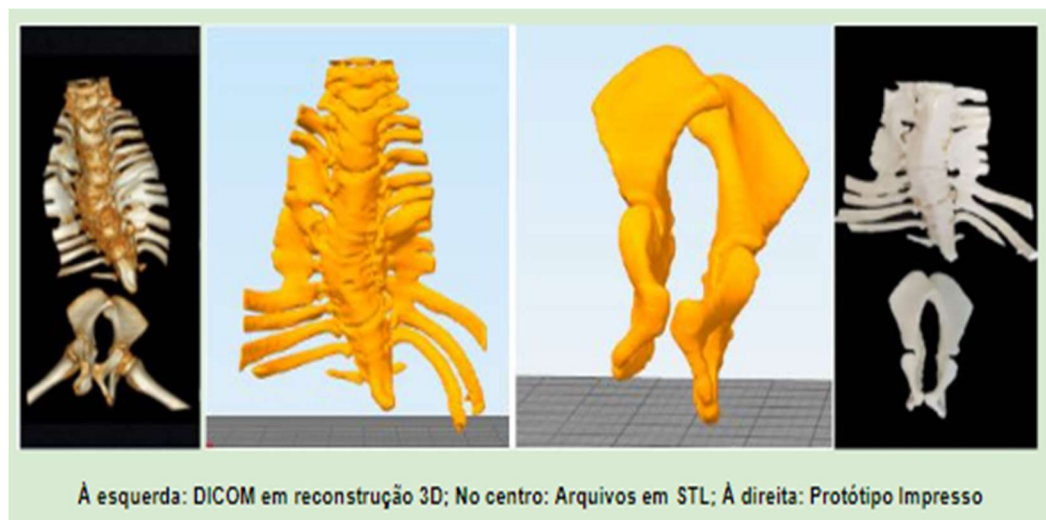
Fonte: Próprio autor (2022)

No caso da agenesia Sacral com Regressão Caudal, o paciente tem uma condição rara e genética, na qual a anomalia afetou desde a sua coluna torácica até a coluna lombar, e bem como consequentemente os arcos costais causando uma má formação pélvica incluindo má formação genital. A deformidade desse paciente resultou em um corpo com uma curvatura na coluna para a esquerda, afetando não só a parte superior do corpo, como também a parte inferior, onde a pelve se tornou mais estreita causando uma alteração anatômica em ambas as pernas do paciente, por consequência, afetando a sua capacidade de deambular.

O paciente relatava desconforto respiratório causado pela acentuada curvatura da coluna, iniciando na T1 até o término abrupto da coluna no nível da vértebra T12.

Na Figura 12, visualizamos a deformidade do paciente em 3 formatos demonstrando nitidamente a alteração bilateral dos arcos costais, coluna e evidenciando a proximidade incorreta entre os ossos ílio, ísquio e púbis direito dos do lado esquerdo.

Figura 12 - Agenesia Sacral com regressão caudal



Fonte: Próprio autor (2022)

A peça anatômica 3D impressa para o caso clínico desse paciente com agenesia sacral com regressão caudal servirá como um modelo para uma intervenção cirúrgica na região torácica do paciente. Essa peça impressa, irá auxiliar na realização do planejamento mais adequado para a cirurgia, facilitando o reconhecimento da patologia e buscando a melhor solução para esse caso, servindo de apoio para a equipe profissional.

O procedimento cirúrgico neste caso possibilitará que o paciente recupere a função do membro de forma progressiva. Também diminuirá a dor local e irradiada, corrigirá a deformidade e reduzirá o edema propiciando a execução das atividades da vida diária.

Na Figura 13 podemos ver a estrutura da região distal do fêmur com uma fratura cominutiva sendo representada em 3 formatos, com ênfase na imagem DICOM, demonstrando a região distal onde está localizada a fratura.

Figura 13 - Representação de fêmur com fratura distal

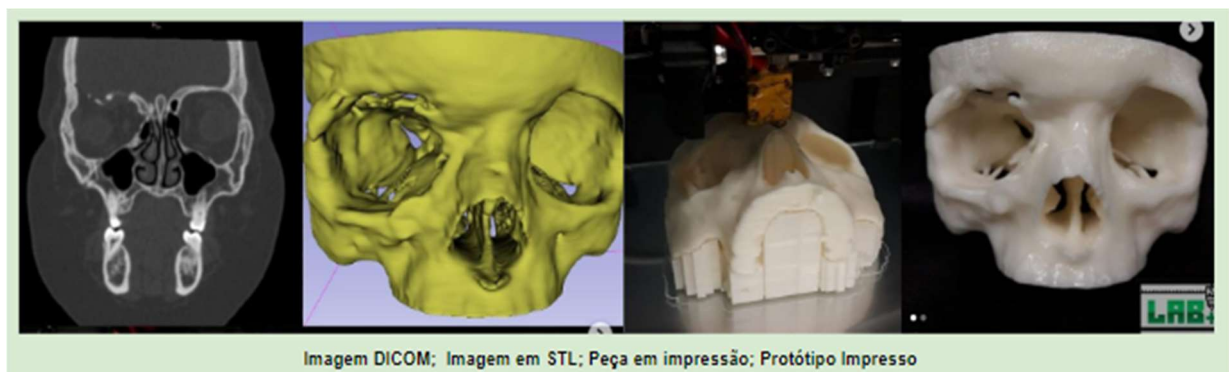


Fonte: Próprio autor (2022)

Neste último caso, o paciente tinha uma fratura na órbita direita da face, causando traumas nas estruturas ali localizadas, como a cavidade orbital, a lâmina orbital do etmoide, a margem supraorbital e o arco superciliar. Essas fraturas causaram diversas dores locais, como também cefaleia e a limitação dos movimentos oculares.

Na Figura 14, visualizamos a estrutura da face em 4 etapas, na imagem superior a esquerda temos imagem DICOM em exame tomográfico, à direita o arquivo STL, na esquerda inferior, vemos a peça sendo impressa e pôr fim à direita a peça finalizada.

Figura 14 - Fratura da órbita em 4 etapas



Fonte: Próprio autor (2022)

A simulação da etapa de modelagem iniciou-se no programa 3DSlicer, que disponibiliza uma ferramenta, no qual o tecido ósseo é representado pela cor amarela que usa como base, dados da Escala de Hounsfield.

Deste modo, foi de extrema importância conferir se os tons selecionados, de acordo com a escala, correspondiam à anatomia desejada para a modelagem. Um janelamento muito restritivo poderia reduzir a quantidade de tecido ósseo, fazendo com que o contorno não ficasse íntegro apresentando buracos na superfície.

Sendo assim, observamos que uma das dificuldades encontradas ao manipular o software 3DSlicer, analisando as imagens DICOM, foi diferenciar o tecido ósseo de outros tecidos. Conforme deslocávamos a barra da Escala de Hounsfield para a esquerda, em direção negativa, ou seja, próximo ao coeficiente de atenuação do ar, maior a quantidade de tecido mole, consequentemente fazendo com que as anatomias aparecessem fusionadas.

Também foi possível identificar, ao avaliar os casos do projeto, se a anatomia era de um paciente adulto ou infantil pelo nível de calcificação dos ossos. Em ossos mais longos e densos, o nível da Escala de Hounsfield apresentava valores acima de +1000, correspondendo a uma anatomia de adulto, por outro lado, os ossos menos densos e menores, apresentavam valores inferiores a +1000 na escala, demonstrando que se tratava de uma anatomia infantil.

Nos casos em que as estruturas apresentaram mudanças relevantes no nível de calcificação, foi essencial o conhecimento em formação da imagem tomográfica principalmente da Escala de Hounsfield, visto que cada tecido é atenuado no exame e reconhecido pelo programa 3DSlicer conforme essa atenuação. Também pode-se verificar a razão do uso deste exame para a realização da modelagem, visto que o programa trabalha diretamente com termos e princípios técnicos do exame de Tomografia Computadorizada.

Uma das observações que notamos durante a simulação da etapa de modelagem em alguns casos, foi a necessidade de dividir a modelagem de um mesmo protótipo em etapas, ou seja, modelar cada osso individualmente, como por exemplo as vértebras das colunas. Cada vértebra precisou ser minuciosamente estudada na imagem DICOM e separada de forma sutil quando convertida em STL. Analisamos cada acidente ósseo, conforme o conhecimento em anatomia geral, porém considerando alteração óssea específica da estrutura daquele paciente.

Após a modelagem, a imagem já em formato STL é transferida para o Software Simplify3D, para o desenvolvimento de suportes, fundamentais no processo de funcionamento da impressora. Na Figura 15 podemos verificar a presença dos suportes abaixo dos côndilos femorais e posterior à patela, fixando-a na estrutura do fêmur deformado.

Figura 15 - Fratura de fêmur distal representada em imagem STL



Fonte: Próprio autor (2022)

Neste programa também é possível simular a quantidade de material necessária para a impressão. Na Tabela 2 apresentamos um valor aproximado do custo financeiro necessário para imprimir o protótipo de cada caso, considerando o preço do quilo do filamento PLA de R\$120,00, além de calcular o valor médio de custo da energia elétrica utilizada para produção de cada peça, considerando o custo da energia de R\$0,53/kWh no estado de Santa Catarina.

Tabela 2 - Simulação de custos de impressão - Simplify 3D

	Filamento utilizado	Quantidade de filamento	Tempo de impressão	Custo de energia	Custo do filamento
Fratura do fêmur distal	PLA	180,2g	12 horas e 58 minutos	R\$1,51/kWh	*R\$25.56
Pés tortos de equinovaro	PLA	125,7g	11 horas e 23 minutos	R\$1,20/kWh	*R\$11.52
Escoliose torácica congênita	PLA	610,62g	52 horas e 55 minutos	R\$4,50/kWh	*R\$29.88
Agenesia sacral com regressão caudal	PLA	254.2g (coluna) / 168,8g (pelve)	26 horas e 48 minutos	R\$1,78/kWh (coluna) R\$0,31/kWh (pelve)	*R\$19.72 (coluna) *R\$2.55 (pelve)
Fratura da face - órbita	PLA	128,87g	15 horas e 22 minutos	R\$3,78/kWh	*R\$50.68

Fonte: Próprio autor

*Valores aproximados

A impressora utilizada no projeto LabMAIS foi a Creality Ender 3, é uma máquina 3D de código aberto com alta precisão e tem as características abordadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados técnicos da impressora 3D.

Dados Técnicos Creality Ender 3 Tecnologia FDM (Modelagem de Deposição Fundida)	
Tamanho da impressora	440x440x465mm
Peso da impressora	8kg
Tamanho de impressão	220x220x250mm
Velocidade de impressão	180mm/s
Altura da camada	0,1 - 0,4 mm
Diâmetro do Bico	0,4 mm
Precisão de impressão	±0,1 mm
Temperatura do bico	255°C
Temperatura da mesa	110°C
Filamento	PLA, TPU, ABS de 1,75mm
Potência	270W
Modo de trabalho	Online ou cartão SD
Formato de arquivo	STL, OBJ, G-Code

Fonte: Próprio autor (2022)

Esta impressora Creality Ender 3 realiza a impressão por camadas, por isso, objetos que apresentam desenhos irregulares em sua forma, como crânio, pés e coluna, necessitam de suportes que darão sustento para que cada detalhe do protótipo seja impresso corretamente evitando sobreposição de camadas indevidas. Esses suportes são retirados posteriormente na etapa de acabamento.

Para a finalização da peça, são utilizadas ferramentas como alicates de ponta fina e ponta grossa, para a correta retirada de suportes, uma lixa para amenizar as imperfeições e melhorar os contornos, e por fim o uso de solvente a base de acetona para acabamento. Na Figura 16, podemos ver a representação do processo de criação e modelagem de um protótipo 3D.

Figura 16 - Processo de produção de um protótipo 3D



Fonte: Próprio autor (2022)

Em todo o processo fica nítida a importância e o diferencial do tecnólogo em radiologia. Para analisar as imagens DICOM, por exemplo, é necessário conhecimento apurado em anatomia humana, patologia geral e imaginologia, visto que é preciso identificar o correto delineamento anatômico da estrutura, saber como são formados os tecidos e de que forma cada patologia ou fratura atinge o organismo, bem como saber visualizar a anatomia nos planos axial, sagital e coronal.

Outro elemento necessário que acentua o valor deste profissional no processo de modelagem, é a formação em exames de Tomografia Computadorizada, essencial na identificação de como cada tipo de tecido é atenuado durante a aquisição da imagem tomográfica, segundo a Escala de Hounsfield, e de como o programa reconhece cada tecido.

Na finalização da peça, o conhecimento deste profissional também se faz necessário, pois para retirar os suportes corretamente precisa conhecer muito bem qual osso foi impresso e qual a diferença da anatomia da estrutura daquele caso em comparação com anatomia geral.

Realizando este estudo, atestamos que o profissional tecnólogo em radiologia pode ser capaz de atuar de forma íntegra na produção, desde a análise das deformidades anatômicas por meio das imagens DICOM geradas pelo exame de

Tomografia Computadorizada até o acabamento da peça, principalmente durante a etapa de modelagem.

De acordo com as Diretrizes Curriculares Nacionais Cursos Superiores de Tecnologia em Radiologia de 2018 estabelecidas pelo Conselho Nacional de Técnicos em radiologia, o tecnólogo pode:

[...] Coordenar equipes ou participar de projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico de procedimentos, métodos, equipamentos e sistemas na área e de análise e diagnóstico por imagem, terapias com radiação, processamento de imagem, controle da qualidade, dosimetria, processamento de resíduos, além do desenvolvimento de novos produtos". [...]

Bem como,

[...] Pode ser um empreendedor, implantando novos serviços nos setores do comércio e da indústria. Desenvolver novos negócios na área de diagnóstico por imagem, aplicação de radiação ionizante a novos processos. (CONTER, 2018).

5 CONCLUSÃO

Ao realizar este estudo, percebeu-se a falta de informações mais detalhadas nos relatórios, como poucos documentos descrevendo a deformidade do paciente, a necessidade hospitalar dos protótipos em cada caso. Assim como foi observado que, em vários casos atendidos pelo Laboratório, não apresentavam o back-up das imagens DICOM do paciente.

É fundamental que os relatórios escritos sejam mais completos, com detalhes sobre os casos, e que todas as informações, como imagens em DICOM, arquivos em STL e G-CODE, tenham backup mensal, para que não ocorra a perda dessas informações por qualquer eventualidade.

Seria de suma importância que fosse realizado um questionário de satisfação com a equipe médica do hospital que solicitou a peça e utiliza o modelo 3D, para entender e quantificar a relevância da peça impressa utilizada no planejamento pré-cirúrgico e durante o procedimento.

Considerando a pergunta feita no problema da pesquisa, que foi: “Qual a importância do conhecimento do profissional tecnólogo em radiologia durante a produção de protótipos 3D do projeto LabMAIS usados no planejamento de cirurgias ortopédicas?”, podemos responder e afirmar que a atuação do tecnólogo em radiologia no processo de impressão de protótipos 3D utilizados como apoio ao planejamento cirúrgico, é indispensável e de suma importância, pois este é capacitado para atuar de forma íntegra em todo o processo de produção. Sua atuação demanda conhecimento apurado em anatomia e tomografia computadorizada como exame de imagem, para modelagem e impressão das peças tridimensionais, através de softwares disponibilizados gratuitamente na internet.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Eduardo da Motta e; SOUZA, Sara Gonçalves Antunes de; BAESSA, Adriano Ricardo. Pesquisa e inovação em saúde: uma discussão a partir da literatura sobre economia da tecnologia. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 2, p.277-294, jan. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.org/article/csc/2004.v9n2/277-294/pt/#ModalArticles>. Acesso em: 20 ago. 2021.

ALVES, Martinha Armada Rodrigues. **Integração Modular em Visualizadores Médicos e Aposição da Marcação CE do Dispositivo Médico**. 2013. Tese de Doutorado. Instituto Politécnico do Porto (Portugal). Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.22/6175>. Acesso em: 28 fev. 2022.

ANTAS, Ana Filipa Felgueiras. Utilização das Tecnologias de Prototipagem Rápida na Área Médica. 2007. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, **Universidade do Porto**, Porto, 2007. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10216/69502> Acesso em: 29 ago. 2021.

ARAÚJO, J. P. *et al*/ Blendas PLA/PEgAA: avaliação da reatividade entre os polímeros e da concentração de PEgAA nas propriedades e na morfologia, **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.10, n. 3, pp. 118-127, Aug. 2015. Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/475/354> Acesso em 19 jun. 2022.

ARAÚJO, Mirelle Maiara Ramos de; PEREIRA, Danielly Tavares; DA SILVA, Lilian Marques Bezerra. Características dos idosos que realizaram cirurgia devido à fratura de fêmur. **Revista Enfermagem Digital Cuidado e Promoção da Saúde**, v. 2, p. 2, 2017. Disponível em <http://www.redcps.com.br/detalhes/33> Acesso em 12 jun. 2022

ASLAN, Halil *et al*/ Prenatal diagnosis of caudal regression syndrome: a case report. BMC pregnancy and childbirth, v. 1, n. 1, p. 1-4, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1471-2393-1-8> Acesso em 25 jun. 2022

AULETE, Caldas. **Aulete Digital** - Dicionário Contemporâneo da Língua Portuguesa: Dicionário Caldas Aulete, vs online. Disponível em: <https://www.aulete.com.br/tecnologia>. Acesso em 20 ago. 2021.

AZEVEDO, Gustavo Borges Laurindo. **Avaliação do potencial osteogênico de células estromais da medula óssea de pacientes com escoliose**. 2017. Disponível em:

<https://docs.bvsalud.org/biblioref/2021/05/1179693/gustavo-borges-laurindo-de-azevedo.PDF> Acesso em: 28 fev. 2022

AZEVEDO-MARQUES, Paulo Mazzoncini de; SALOMÃO, Samuel Covas. PACS: Sistemas de Arquivamento e Distribuição de Imagens. **Revista Brasileira de Física Médica**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 131-139, out. 2015. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001808582>. Acesso em: 15 maio 2022.

BAIÃO, Franciso José. **FUNCIONALIDADES E TECNOLOGIAS DA IMPRESSORA 3D**. 2012. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia da Computação, Universidade São Francisco, Itatiba, 2012. Disponível em: <http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2347.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2022.

BELLOLI, R. **Polietileno verde do etanol da cana-de-açúcar brasileira: Biopolímero de classe mundial**. Universidade Federal do Rio grande do Sul. Porto Alegre, 2010. Disponível em: <
<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/35204/000792993.pdf>> Acesso em: 26 fev. 2022

BRYDSON, J. **Plastics Materials**. 7ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1999. Cap. 16, p. 425 – 449.

BUSHONG, S. C. **Ciência radiológica para tecnólogos: física, biologia e proteção**. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. 783 p.

CASAVOLA, C. *et al* Residual stress measurement in Fused Deposition Modelling partsII, **Polymer Testing**, v.58, pp. 249-255, jan. 2017.

CHAKRAVORTY, Dibya. **3D Printer G-code Commands List & Tutorial**. 2020. Disponível em: <https://all3dp.com/g-code-tutorial-3d-printer-G-Code-commands/> Acesso em: 14 abr. 2021

CHUEIRE, A. J. F. *et al* Tratamento do pé torto congênito pelo método de Ponseti. **Revista Brasileira de Ortopedia**, São Paulo, v. 51, n. 3, p. 313-318, maio/jun. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbort/a/YS6n8LbJBzzgKLBxHsCzHYN/abstract/?lang=pt> Acesso em: 27 fev. 2022.

COBB, J. R. Outline for the study of scoliosis. **Outline for the study of scoliosis**, p. 261–275, 1948. Disponível em: <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2021/05/1179693/gustavo-borges-laurindo-de-azevedo.PDF> Acesso em: 28 fev. 2022.

COELHO, Ana Flávia Viana Campello de Melo Bandeira; COSTA, Anelise Krause Guimarães; LIMA, Maria da Glória. **Da ética principialista para a bioética de intervenção: sua utilização na área da saúde**. 2013. Disponível em <https://repositorio.unb.br/handle/10482/18525> Acesso em 26 jun. 2022

CONSELHO NACIONAL DE TÉCNICOS EM RADIOLOGIA (CONTER). **Diretrizes Curriculares Nacionais Dos Cursos de Técnico em Radiologia**. 2018. Disponível em: http://www.crtrmg.org.br/wp-content/uploads/2020/02/Diretriz_Curricular_Tecnico.pdf Acesso em 07 Set. 2022

COSTA, Denis Honorato. **Radiologia Médica - Física, Processamento De Filmes Técnicas Radiológicas e Tomografia Computadorizada**. 1ª Edição São Paulo: Martinari, 2007.

CRUZ, L. M. S.; JÚNIOR, J. L. R.; SARMANHO, A. P. S. Impressora 3d no desenvolvimento de pesquisas com próteses. **Revisbrat**, v. 2, n. 2, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/ribto/article/viewFile/15022/pdf>. Acesso em: 04 ago. 2021.

CUNHA COLOMBO, Luciana Rodrigues da *et al*/ Biomateriais para reconstrução da órbita: revisão da literatura. **Revista brasileira de cirurgia plástica**, v. 26, n. 2, p. 337-342, 2011. Disponível em http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1983-51752011000200025&lng=en&nrm=iso&tlng=pt Acesso em 10 jun. 2012

DE OLIVEIRA, Marília Gerhardt; RAMOS, Acácia; DE OLIVEIRA, Rogério Belle. Estudo descritivo de sinais e sintomas das fraturas no complexo orbital e avaliação radiográfica pela incidência de Waters. **Revista da Faculdade de Odontologia-UPF**, v. 4, n. 2, 1999. Disponível <http://seer.upf.br/index.php/rfo/article/view/1171> Acesso em 10 jun. 2022

FEDOROV, Andriy *et al* **3D Slicer as an Image Computing Platform for the Quantitative Imaging Network**. Magnetic Resonance Imaging, Boston, v. 30, n. 9, p. 1323-1341, nov. 2012. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3466397/>. Acesso em: 10 jun. 2021.

FERREIRA, Jéssica da Cruz; KRUGER, Thaisa Regina; SANTOS, Cristiane Bischof dos. Utilização Da Impressão 3d Na Manufatura Para A Otimização De Processos:

Um Estudo De Caso Em Indústrias Automobilísticas. **FAE centro Universitário**. Disponível em: <https://memorialtcccadernograduacao.fae.edu/cadernotcc/article/view/148>. Acesso em: 17 ago. 2021.

FIGUEIREDO, Beatriz Beca; CESAR, Francisco Ignácio Giocondo. Um estudo da utilização da impressora 3d na engenharia e na medicina. **Recisatec Revista Científica Saúde E Tecnologia**-ISSN 2763-8405, v. 2, n. 1, p. e2170- e2170, 2022. Disponível em <https://recisatec.com.br/index.php/recisatec/article/view/70/60> Acesso em: 28 fev 2022.

FIRMINO FILHO, José Macêdo. **Lcd-openpacs: Sistema integrado de telerradiologia com auxílio ao diagnóstico de nódulos pulmonares em exames de tomografia computadorizada**. 2015. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/20758/1/JoseMacedoFirminoFilho_TESE.pdf Acesso em: 28 fev 2022

GIBSON, Ian Gibson. **Additive manufacturing technologies 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing**. 2015. Disponível em: http://eprints.ukh.ac.id/id/eprint/183/1/2015_Book_AdditiveManufacturingTechnology.pdf Acesso em: 26 fev. 2022.

GODINHO, R. R. S. *et al*/ Mensuração da curva escoliótica pela técnica de Cobb intraobservadores e interobservadores e sua importância clínica. São Paulo, **Revista Coluna/Columna**, v. 10, n. 3, p. 216-220, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/coluna/a/gcx6ddzb5TvvQLmQmG4KGyM/?format=pdf&lang=pt> Acesso em 28 fev. 2022.

GORNI, Antonio Augusto (ed.). Introdução à prototipagem rápida e seus processos. **Plástico Industrial**, São Paulo, p. 230-239, mar. 2001. Disponível em: <http://www.gorni.eng.br/protrap.html>. Acesso em: 07 ago. 2021

GUERRA NETO, Custódio Leopoldino de Brito. *et al* **Tecnologia 3D na Saúde: uma visão sobre órteses e próteses, tecnologias assistivas e modelagem 3d**. Natal: Ufrn, 2018. 95 p. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/24808/1/Tecnologia%203d%20na%20sa%C3%BAde.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2021

HENWOOD, Suzanne. Técnicas e Prática na Tomografia Computadorizada Clínica. **Grupo GEN**, 2003. 978-85-277-2324-4. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-277-2324-4/>. Acesso em: 03 mar. 2022.

IRIGOYEN, María Cristina; BIDOLEGUI, Fernando; PEREIRA, Sebastián. Fractura de fémur distal associada con una lesión del tendón cuadricipital: reporte de dos casos. **Revista de la Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología**, v. 87, n. 2, p. 238-245, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.15417/issn.1852-7434.2022.87.2.1502> Acesso em 25 jun. 2022

JACOTTI, Michele; BARAUSSE, Carlo; FELICE, Pietro. Posterior Atrophic Mandible Rehabilitation with Onlay Allograft Created With CAD-CAM Procedure: A Case Report. **Implant Dentistry**. Bolonha, p. 22-28. fev. 2014. Disponível em: https://journals.lww.com/implantdent/fulltext/2014/02000/Posterior_Atrophic_Mandible_Rehabilitation_With.7.aspx. Acesso em: 07 ago. 2021.

JÚNIOR, Edson Amaro; YAMASHITA, Helio. Aspectos básicos de tomografia computadorizada e ressonância magnética. **Rev. Bras Psiquiatr.**, São Paulo, 23 (Supl I):2-3, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbp/a/QkL5KhdH3WcYXmmHvmR7RCz/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 03 mar. 2022.

LACERDA, Tayla Figueiredo *et al* Aplicabilidade da impressora 3D na prática médica contemporânea. **Brazilian Journal of Health Review**, Curitiba, v. 3, n. 1, p. 620-625, 2020. Brazilian Journal of Health Review. <http://dx.doi.org/10.34119/bjhrv3n1-050>. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/index.php/BJHR/article/view/6474>. Acesso em: 17 fev. 2022.

LARA, Luiz Carlos Ribeiro *et al* Tratamento cirúrgico do pé torto congênito idiopático: resultados com 15 anos de seguimento. **Revista ABTP é**, v. 6, n. 2, 2012. Disponível em: <https://jfootankle.com/ABTPe/article/view/593/539> Acesso em: 02 mar. 2022.

LEE, S. Howard. *et al* **Tomografia computadorizada e ressonância magnética do crânio**. 4ª edição, Rio de Janeiro: Revinter, 2004. p. 5-23.

LINO, Vinicius Martins. **Impressão 3D**. 2014. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Sistemas de Informação, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://bsi.uniriotec.br/wp-content/uploads/sites/31/2020/05/201401Lino.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2022.

LIU, Hongzhi *et al* Interaction of microstructure and interfacial adhesion on impact performance of polylactide (PLA) ternary blends. **Macromolecules**, v. 44, n. 6, p. 1513-1522, 2011. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ma1026934> Acesso em: 26 fev. 2022

LIU, Peng. *et al* O impacto da manufatura aditiva na cadeia de suprimentos de peças de reposição de aeronaves: cadeia de suprimentos análise baseada em modelo de referência de operação. **Taylor & Francis Group**, Oxfordshire, v. 25, n. 13, p. 1169-1181, abr. 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/257337095_Additive_manufacturing_and_its_societal_impact_A_literature_review. Acesso em: 20 ago. 2021.

LOPES, Juarez *et al* Meningocele sacral anterior. **JBNC-JORNAL BRASILEIRO DE NEUROCIRURGIA**, v. 8, n. 1, p. 28-30, 1997. Disponível em: <https://jbnc.emnuvens.com.br/jbnc/article/view/215/185> Acesso em: 02 mar. 2022.

MARANHO, Daniel Augusto Carvalho; VOLPON, José Batista. Pé torto congênito. **Acta Ortopédica Brasileira**, v. 19, n. 3, p. 163-169, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aob/a/WVjrRdz7zfrxPWwkpjFK8mR/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 02 mar. 2022

MATTEDI, Ricardo da Vitória *et al* Estudo descritivo sobre o primeiro mutirão no Brasil de cirurgias eletivas para tratamento de escoliose. **Revista Coluna/Columna**. 2012, v. 11, n. 1, pp. 63-65. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1808-18512012000100011>. Epub 22 maio 2012. ISSN 2177-014X. <https://doi.org/10.1590/S1808-18512012000100011>. Acesso em: 27 fev. 2022.

MATOZINHOS, Isabela Penido. *et al* Impressão 3D: Inovações no campo da medicina. **Portal de periódicos**, Minas Gerais, 2017. p. 149. Disponível em: <http://revista.fcmmg.br/ojs/index.php/ricm/article/view/14> Acesso em: 07 ago. 2021.

MCMMASTER, MICHAEL J.; OHTSUKA, Kuniyoshi. **The natural history of congenital scoliosis**. A study of two hundred and fifty-one patients. JBJS, v. 64, n. 8, p. 1128-1147, 1982. Disponível em: [//www.teaching.csc.org/wp-content/uploads/2017/10/10.1097@00004623-198264080-00003.pdf](http://www.teaching.csc.org/wp-content/uploads/2017/10/10.1097@00004623-198264080-00003.pdf) Acesso em: 28 fev. 2022.

MICALLEF, Joe. **Beginning design for 3D printing**. Apress, 2015.

MORAES, Frederico Barra de *et al*/ Avaliação epidemiológica e radiológica das fraturas diafisárias do fêmur: estudo de 200 casos. **Revista Brasileira de Ortopedia**, v. 44, p. 199-203, 2009. disponível em <https://doi.org/10.1590/S0102-36162009000300004> Acesso em 12 jun. 2022

MOURÃO, Arnaldo Prata. **Tomografia computadorizada: tecnologias e aplicações**. Difusão Editora, 2018. Disponível em https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD_AHNLSY/1/disserta__o_giovanni__01012017__6.pdf Acesso em: 03 mar. 2022

MOURÃO, A. P. **Tomografia Computadorizada: tecnologias e aplicações**. São Caetano do Sul, Difusão, 2007. 292 p. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD_AHNLSY/1/disserta__o_giovanni__01012017__6.pdf Acesso em: 03 mar. 2022

NEMA, N. E. M. A. **Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)**. (2001) Disponível em <https://doi.org/10.17921/1890-1793.2013v8n8p93-105> Acesso em 03 mar. 2022

NUNES, Adrião Severiano; MEJIA, Dayana Priscila Maia. A eficácia da fisioterapia na reabilitação imediata de paciente pós-operatório de fratura diafisária do fêmur utilizando haste intramedular: revisão bibliográfica. **Manual Faculdade Ávila**, 2012. Disponível em https://portalbiocursos.com.br/ohs/data/docs/32/01__A_eficYcia_da_fisiot._na_reab._imediate_de_pcte_pYsop._de_fratura_diafisYria_do_fYmur_utilizando_haste_intra_med._rev._b.pdf Acesso em 12 jun. 2022.

NUNES, Altacílio Aparecido *et al*/ Análise de Custo-Efetividade do uso do Sistema de Comunicação e Arquivamento de Imagens (PACS) em mamografias digitais. **Value In Health Regional Issues**, [S.L.], v. 11, p. 49-56, dez. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.vhri.2016.01.004>. Acesso em: 20 maio 2022.

OLIVEIRA, Caio Luiz de Toledo. **Avaliação do tratamento precoce do pé torto congênito idiopático pelo método de Ponseti**. 2021. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.17.2021.tde-04102021-163655> Acesso em 25 jun. 2022

PALMA, F. C.; KAPPLER, A. F. **O que é e como funciona uma impressora 3D**. [S. l.: S. n.], 2015. Disponível em: www.abrifar.org.br/novo/Site/anexos/Boletim_ABRIFAR_03_O_que_é_e_como_funciona_uma_impressora_3D.pdf. Acesso em: 04 ago. 2021.

PEDROSA, Gabriel Quaglia. **RELATO DE CASO FRATURA DE ÓRBITA TARDIA COM TRATAMENTO CONVENCIONAL**. 2018. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Odontologia, Faculdade Sete Lagoas, Joinville, 2018. Disponível em: <https://faculadefacsete.edu.br/monografia/files/original/957e0a1a6e249a21ff521ccacbe26054.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2022.

PIEPER, Steve; HALLE, Michael; KIKINIS, Ron. 3D Slicer. In: 2004 2nd IEEE international symposium on biomedical imaging: nano to macro (IEEE Cat No. 04EX821). IEEE, 2004. p. 632-635. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1398617> Acesso em: 28 fev.2022.

PIEREZAN, Paulo Henrique; AZEVEDO, Eduardo Nascimento de. **USO DA TECNOLOGIA PACS (PICTURE ARCHIVING AND COMMUNICATION SYSTEM) NAS ORGANIZAÇÕES MILITARES DE SAÚDE**. 2020. Disponível em: https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/8127/1/Cap_Paulo%20Henrique%20Pierezan.pdf. Acesso em: 20 maio 2022.

PIMENTEL, Vanessa Anastácio *et al* FRATURAS DE ÓRBITA E SUAS ALTERAÇÕES FUNCIONAIS – REVISÃO DE LITERATURA. **Encontro de Extensão, Docência e Iniciação Científica (EEDIC)**, [S.l.], v. 3, n. 1, mar. 2017. ISSN 2446-6042. Disponível em: <http://reservas.fcrs.edu.br/index.php/eedic/article/view/878/627>>. Acesso em: 08 jun. 2022

PIRES, Robinson Esteves Santos *et al* Fratura diafisária do fêmur: reprodutibilidade das classificações AO-ASIF e Winquist. **Acta Ortopédica Brasileira**, v. 18, p. 197-199, 2010. Disponível em <https://doi.org/10.1590/S1413-78522010000400004>. Acesso em 12 jun. 2022

PORTO, Thomás Monteiro Sobrino. **Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil**. Trabalho Final de Graduação. UFRJ, Rio de Janeiro, v. 9, 2016. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60391954/monopoli1001979320190825-41361-xz8ij0-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1656222084&Signature=Uq5U5aY-LXad6Mslv~uYcS~d1ISW8O0l9BiC7oVH~Q3i7pabw8K2U81L3OlKFGdCTKHWf8Z~MvSzNhjGNO-nXtWm1Gv3GU-yF-flk4K4bNI8xgn13EDUSodljQfPVzTSOkmGbpqgvHAWpPbTg3kn9T8B3KJayhhUyZkvOqQ7B2nJU4ltTWJlfZEEeo8H7OaysnyYmkWraKWYTmwPtYJTGvWWllemYb5gP1vF8aKjbdU5UpIXgjjOC4CRgeIr0vQKHPQVMqP8EdlhgLyYNJOI4LGDr~QZDNYKB7sWEjrWZCiViHDrr8iufwLYYY8pX0ZFwVZGmANmRc5mvKpM-rs~dNQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA Acesso em: 19 jun. 2022

RENGIER, F. *et al* **Impressão 3D baseada em dados de imagem: revisão de aplicações médicas**. Int J CARS 5, 335–341 (2010). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11548-010-0476-x> Acesso em: 07 ago. 2021

SALAS, Jorge Arabi; BARETE, Carlos Pacheco; SILVA, Gabriela Medrano. Agnesia caudal en una recién nacida. Presentación de un caso. **Revista Mexicana de Pediatría**, v. 71, n. 4, p. 182-185, 2004. Disponível em: <https://www.medigraphic.com/pdfs/pediat/sp-2004/sp044e.pdf> Acesso em: 02 mar. 2022

SAPUCAIA, Rodrigo *et al* SINDROME DA REGRESSÃO CAUDAL: RELATO DE CASO. **Journal of Coloproctology**, v. 37, p. 163, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jcol.2017.09.212> Acesso em: 02 mar. 2022

SANTOS, Marcelo Souto; NACIF, Edvaldo Severo. **Manual de Técnicas em Tomografia Computadorizada**. 1º edição, Rio de Janeiro: Rubio, 2009. p. 70.

TAKAGAKI, Luiz Koiti. **Tecnologia de impressão 3d**. Inovação Tecnológica, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 28-40, dez. 2012. Disponível em: <http://doczz.com.br/doc/26444/capitulo-3.-tecnologia-de-impress%C3%A3o-3d-luiz-koiti-takagaki>. Acesso em: 14 ago. 2021.

TAMBE, A. D. *et al* Current concepts in the surgical management of adolescent idiopathic scoliosis. **Bone Joint J**, v. 100, n. 4, p. 415-424, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1302/0301-620X.100B4.BJJ-2017-0846.R2> Acesso em 25 jun. 2022

TIKOO, A. *et al* The Open Orthopaedics Journal Current Concepts -Congenital Scoliosis. **The Open Orthopaedics Journal**, v. 11, n. 217, p. 337–345, 2017. Disponível em: <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2021/05/1179693/gustavo-borges-laurindo-de-azevedo.PDF> Acesso em: 28 fev. 2022.

VOLPATO, N. **Prototipagem Rápida: Tecnologias e Aplicações**. São Paulo: Blucher, 2007. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=1oO6DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Prototipagem+R%C3%A1pida:+Tecnologias+e+Aplica%C3%A7%C3%B5es&ots=3UgIIJMgzQ&sig=SxZatxskzmCMJaSJmWAucvXxUQ8#v=onepage&q=Prototipagem%20R%C3%A1pida%3A%20Tecnologias%20e%20Aplica%C3%A7%C3%B5es&f=false>. Acesso em: 06 ago. 2021.

VENTOLA, C. Lee. **Aplicações médicas para impressão 3D: usos atuais e projetados**. P&T, Nova Jersey, v. 10, n. 39, p. 704-711, out. 2014. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4189697/>. Acesso em: 14 ago. 2021.

WOJTYŁA, Szymon; KLAMA, Piotr; BARAN, Tomasz. Is 3D printing safe? Analysis of the thermal treatment of thermoplastics: ABS, PLA, PET, and nylon. **Journal of occupational and environmental hygiene**, v. 14, n. 6, p. D80-D85, 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15459624.2017.1285489> acesso em 26 fev. 2022

WU, Gaihong *et al* Preparation and properties of heat resistant polylactic acid (PLA)/Nano-SiO₂ composite filament. **Journal of Wuhan University of Technology. Materials Science Edition**, v. 31, n. 1, p. 164, 2016. Disponível em: DOI 10.1007/s11595-016-1347-2 Acesso em 19 jun. 2022

APÊNDICE J - Termo de autorização de divulgação

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE DIVULGAÇÃO

Eu, Ana Paula Helena Vieira, de nacionalidade brasileira,
CPF nº 06256676971, RG nº 4541907, estudante do Curso Superior de Tecnologia em Radiologia, na qualidade de autor do TCC intitulado ATUAÇÃO DO TECNÓLOGO EM RADIOLOGIA NO PROCESSO DE IMPRESSÃO DE PROTÓTIPOS 3D UTILIZADOS COMO APOIO AO PLANEJAMENTO CIRÚRGICO, AUTORIZO, neste ato de depósito, sua divulgação total e gratuita, para fins acadêmicos, em meio eletrônico, mediante registro nesta biblioteca, bem como em via impressa, se necessário, de acordo com determinação institucional e viabilidade técnica do Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis.

Ocasionará registro de patente? ☐ sim ☒ não

Florianópolis, 12 de setembro de 2022.



Documento assinado digitalmente
ANA PAULA HELENA VIEIRA
Data: 12/09/2022 16:54:26-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Assinatura do autor

APÊNDICE J - Termo de autorização de divulgação

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE DIVULGAÇÃO

Eu, Juliana Hoffmann Teixeira, de nacionalidade brasileira,
CPF nº 83586628072, RG nº 8057982, estudante do Curso Superior de Tecnologia em Radiologia, na qualidade de autor do TCC intitulado ATUAÇÃO DO TECNÓLOGO EM RADIOLOGIA NO PROCESSO DE IMPRESSÃO DE PROTÓTIPOS 3D UTILIZADOS COMO APOIO AO PLANEJAMENTO CIRÚRGICO, AUTORIZO, neste ato de depósito, sua divulgação total e gratuita, para fins acadêmicos, em meio eletrônico, mediante registro nesta biblioteca, bem como em via impressa, se necessário, de acordo com determinação institucional e viabilidade técnica do Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis.

Ocasionará registro de patente? ☐ sim ☒ não

Florianópolis, 12 de setembro de 2022.



Documento assinado digitalmente
JULIANA HOFFMANN TEIXEIRA
Data: 12/09/2022 16:52:45-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Assinatura do autor