



Centro Universitário de Brasília – CEUB

Faculdade de Ciências da Educação e Saúde

FILIFE DOS SANTOS MARTINS

**USO DA IMPRESSÃO 3D EM CIRURGIAS DE
COLUNA DE CÃES - REVISÃO DE LITERATURA**

Brasília

2022

FILIFE DOS SANTOS MARTINS

**USO DA IMPRESSÃO 3D EM CIRURGIAS DE
COLUNA DE CÃES - REVISÃO DE LITERATURA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Faculdade de Ciências da
Educação e Saúde para obtenção do
grau bacharel em Medicina Veterinária
Orientação: Prof. Me. Bruno Alvarenga
dos Santos.

Brasília

2022

FILIFE DOS SANTOS MARTINS

**USO DA IMPRESSÃO 3D EM CIRURGIAS DE
COLUNA DE CÃES - REVISÃO DE LITERATURA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Faculdade de Ciências da
Educação e Saúde para obtenção do
grau bacharel em Medicina Veterinária

Brasília, 07 de dezembro de 2022.

Banca examinadora

Prof. Me. Bruno Alvarenga dos Santos
Orientador

Prof. Thiago Cavalheri Luczinski

Mv.Túlio Vinícius Arruda Silva

Resumo

A introdução da manufatura aditiva na medicina veterinária trouxe vários benefícios, principalmente para cirurgiões, melhorando a precisão e tempo de procedimentos, resultando em menos complicações pós-operatórias. O processo inicialmente consiste na aquisição de imagens do paciente, por meio de tomografia computadorizada, ressonância magnética ou fotografias. Em seguida, as imagens são renderizadas em um modelo tridimensional através de *softwares* e posteriormente editadas. Ainda por meio de programas específicos, o modelo passa por testes de resistência a fim de determinar os possíveis pontos de deformação ou fratura. Após a escolha da impressora, baseada em fatores como preço, disponibilidade e compatibilidade de materiais, a peça é impressa e esterilizada para seu uso médico. Por fim, os protótipos podem ser utilizados em cirurgias de todo o segmento da coluna vertebral, melhorando significativamente a precisão de procedimentos com o uso de guias de broca paciente-específico, além de reduzir o tempo de procedimento e diminuir a taxa de complicações pós-operatórias.

Palavras-Chave: Manufatura aditiva; Estabilização atlantoaxial; Neurocirurgia.

1. INTRODUÇÃO

No início dos anos 80 Charles W. Hull criou a impressora tridimensional (3D), na qual itens digitalizados são impressos camada por camada, que posteriormente passou a ser instituída em áreas da engenharia, indústria, arte, educação e saúde (BERTTI et al., 2020; SASSAKI et al., 2022).

Para o desenvolvimento de uma peça prototipada é necessário inicialmente desenvolver um modelo virtual, que pode ser gerado a partir de *scanners*, *software* de modelagem tridimensional, ressonância magnética (RM), tomografias computadorizadas (TC) ou fotogrametria, método que realiza fotografias em 360° do objeto e que possui um menor custo quando comparada aos demais métodos (WILHITE; WOLFEL, 2019; LIMA et al, 2019).

É inquestionável que a tecnologia de prototipagem proporciona vantagens a estudantes e profissionais de áreas médicas, uma vez que diversos trabalhos demonstraram um maior desempenho no aprendizado de anatomia e patologia quando realizados em associação a modelos 3D (REIS, 2018).

Na área cirúrgica esse recurso concede ao cirurgião benefícios, como auxiliar no diagnóstico e planejamento de cirurgias, permitindo reduções significativas no tempo de procedimentos, aumentando a sobrevida do paciente e reduzindo índices de complicações, tempo de anestesia, custos do tratamento e riscos de infecções (REIS, 2018; LIMA et al., 2020).

Dentre as especialidades veterinárias que podem se beneficiar está a ortopedia veterinária, na qual por meio da prototipagem de um modelo anatômico do animal é possível ao profissional planejar e treinar o procedimento antes da intervenção no paciente, tendendo a melhorar seus resultados e reduzir os custos da cirurgia (ALCÂNTARA et al., 2019).

Pacientes com alterações ortopédicas, geralmente possuem uma taxa significativa de atendimento na clínica-cirúrgica veterinária, na qual se destacam as fraturas, luxações, malformações ósseas, doenças articulares traumáticas e infecciosas, neoplasias músculo-esqueléticas e as lesões de tendões e ligamentos (FOSSUM, 2021).

Entre as alterações ortopédicas que podem ser favorecidas pela tecnologia 3D estão as cirurgias de coluna, como a instabilidade atlantoaxial. Essa enfermidade acomete principalmente cães de porte pequeno e miniatura, e pelo fato destes possuírem pequenos corredores ósseos e estruturas frágeis, seu tratamento

cirúrgico é considerado desafiador com uma taxa de mortalidade variando entre 5% e 22% (MONTEIRO, 2018).

Com intuito de obter melhores resultados cirúrgicos, neste e em outros procedimentos que envolvam a coluna de cães, operando por corredores ósseos seguros, reduzindo danos iatrogênicos à medula espinhal e estruturas neurovasculares e em um menor tempo de procedimento, tem se a possibilidade do uso de dispositivos como guias cirúrgicos paciente-específicos, prototipados a partir de exames de imagem do paciente (FERREIRA, 2019).

Em razão da relevância deste tema, a presente revisão de literatura tem como objetivo ressaltar a importância do uso da impressão 3D em cirurgias de coluna de cães, e secundariamente indicar os benefícios e limitações desta tecnologia, contribuir para um maior uso da prototipagem rápida na medicina veterinária e ressaltar a precisão cirúrgica de guias de broca paciente-específico. O trabalho foi realizado a partir de extensas pesquisas de periódicos nacionais e internacionais nas plataformas PubMed, Scielo, ResearchGate, EBSCO, ScienceDirect, Pubvet e Google Acadêmico, utilizando palavras-chave como impressão 3D, prototipagem rápida, guia de perfuração, estabilização atlanto-axial e neurocirurgia veterinária.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 HISTÓRIA DA IMPRESSÃO 3D

Com a insatisfação na demora no desenvolvimento de produtos plásticos e despesas desnecessárias, o engenheiro Charles Hull viu a necessidade de criar objetos de forma rápida e precisa. Como solução para esse problema a estereolitografia (SLA) foi criada por ele em 1984, e sua patente sendo concedida em 1986. Conhecida também como manufatura aditiva (MA), a tecnologia utiliza polímeros líquidos que são aquecidos por meio de luz ultravioleta para estruturar camadas transversais através do efeito de fusão e solidificação do modelo desejado. Futuramente, a empresa *3D Systems* fundada pelo engenheiro se especializou em produzir e vender impressoras de SLA, favorecendo sua disseminação e redução no preço (GOKHARE et al., 2017; MORANDINI; VECHIO, 2020; AL' AREF et al., 2018).

A segunda tecnologia de MA a ser desenvolvida na história foi criada no ano de 1986 pelo estudante Carl Deckard, que nomeou o recurso de sinterização seletiva a laser (SLS). O processo baseia-se na utilização de *lasers* de CO₂, sendo

direcionados por um sistema de espelhos para criar objetos a partir de materiais poliméricos em forma de pó. A tecnologia foi adquirida pela *3D Systems*, e a partir disso teve grande evolução no quesito comercial e variedade de materiais utilizados (VOLPATO et al., 2017).

Outro método que se destacou e se popularizou foi a modelagem por fusão e deposição (*Fused deposition modeling* - FDM), por grande parte dos materiais utilizados em seus projetos poderem ser esterilizados e terem aplicabilidade cirúrgica (MATURELLO et al., 2022). Para sua impressão, este utiliza-se de insumos sólidos na forma de filamentos, os quais são derretidos até chegarem em um estado semilíquido, que passam através de uma ponteira de extrusão e são depositados sob uma plataforma para formação de peças camada por camada. Esta técnica foi desenvolvida por Scott Crump em 1988, mesmo ano na qual fundou a *Stratasys Inc*, empresa que no século XXI se juntou à *3D Systems* como líder na indústria de impressoras 3D (CHENG et al., 2017; KHOSRAVANI; REINICKE, 2020; SHAHRUBUNDIN et al., 2019).

Em virtude do grande potencial de fabricação de objetos altamente complexos, a prototipagem rápida alcançou áreas da saúde, ciência, tecnologia, indústria aeroespacial e indústria automobilística, como uma ferramenta promissora (PIRES; JÚNIOR, 2022; LACERDA et al., 2020). Na medicina, a impressão 3D tem papel fundamental em vários aspectos, permitindo sua aplicabilidade em áreas como a cardiologia, ortopedia e neurocirurgia (BOSHRA et al., 2020; SOMMER; BLUMENTHAL, 2019).

Além de especialidades médicas, a prototipagem rápida pode ser empregada na produção de equipamentos médicos incluindo os de proteção individual (EPI's), cuja relevância foi observada no início da pandemia do COVID-19, quando hospitais e clínicas enfrentaram grandes dificuldades com a escassez de recursos médicos (MAÑANES et al., 2021).

Pelo fato da impressão 3D possibilitar produtos personalizados observou-se que seus respiradores N95 revelaram grande eficiência na proteção individual, pela razão de possibilitarem uma melhor vedação, por serem produzidos de acordo com os dados faciais dos profissionais de saúde, e conseqüentemente uma melhor prevenção de infecção pelo vírus (AMZA et al., 2021).

Na medicina veterinária, a impressão 3D vem ganhando cada vez mais notoriedade, e apesar de possuir grande importância em cirurgias ortopédicas e

reconstrutivas, outras áreas também estão sendo beneficiadas como a oftalmologia (SILVA; SANTOS, 2022; PARK et al., 2020).

2.2 BENEFÍCIOS E LIMITAÇÕES DO USO DA IMPRESSÃO 3D

No contexto geral esta tecnologia é vista de forma promissora nas diversas áreas em que pode ser aplicada, mas contém limitações. A técnica de *SLA* tem como característica a alta velocidade na produção de modelos, ótima precisão de detalhes e não necessita de serviço especializado. Porém como desvantagem, o método é restrito a modelos com dimensões limitadas, possui custo elevado e dispõe de menor variedade de materiais compatíveis (SILVA et al., 2021). No quesito custo-benefício, o método *FDM* é uma das principais impressoras escolhidas, além de ter grande diversidade de matéria-prima, a técnica possui boa efetividade na produção de geometrias complexas. Como desvantagem, seus produtos necessitam de longo tempo de impressão e demandam acabamento (KUNKEL et al., 2020; YUAN et al., 2017).

Dentre os benefícios da tecnologia de prototipagem rápida, que foi de encontro a preocupação social desde o final do século XX, está a capacidade de produzir mais e gerar menos impactos ambientais, uma vez que em produções de baixo volume de peças impacta o ambiente até 70% a menos que métodos convencionais de fabricação (SHUAIB et al., 2021).

Outra vantagem deste recurso é a produção de órteses, que é favorecida quando comparada à métodos habituais de produção, pela manufatura aditiva oferecer a possibilidade da modelagem de várias órteses, preservando a qualidade do produto final e necessitando apenas de um dia para a sua produção, ao contrário dos métodos tradicionais, que levam pelo menos 1 semana para a conclusão do modelo desejado (CHOO et al., 2020).

Em contrapartida, para o desenvolvimento final de uma órtese ou qualquer outro modelo desejado pelo médico veterinário, o mesmo normalmente necessita do serviço terceirizado de outros profissionais, como engenheiros, que possuem mais afinidade com *softwares* de modelagem 3D, (SHILO et al., 2018).

2.3 VANTAGENS PARA ESTUDANTES E PROFISSIONAIS

Durante a formação do médico veterinário, o conhecimento anatômico é fundamental, sendo seu estudo baseado em livros, atlas coloridos e uma infrequente

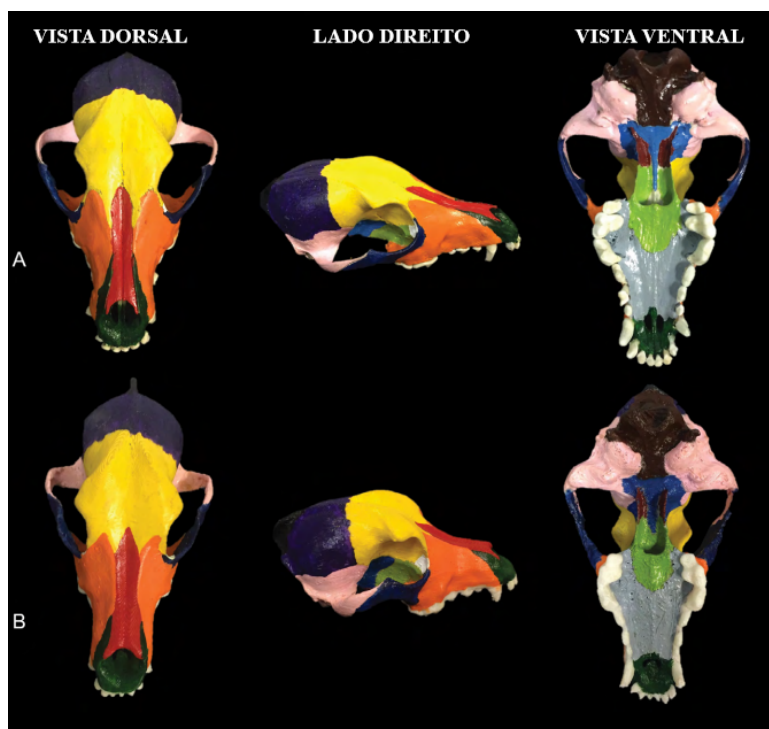
dissecação de cadáveres, que tem sido dificultada em parte pelos animais domésticos passarem a ser considerados membros da família, o que repercutiu em uma grande redução nas doações de espécimes para fins acadêmicos, resultando em uma gradativa queda no desempenho em disciplinas como anatomia e cirurgia (MARTELLI et al., 2019; PUGLIESE et al., 2018).

Com intuito de agregar na formação acadêmica desses estudantes, diversas instituições adotaram meios para complementar o ensino prático, como vídeos interativos, simuladores mecânicos e computadorizados e artigos prototipados (REIS, 2018; SILVEIRA et al., 2021).

Dentre esses recursos, a manufatura aditiva se destacou por possibilitar que materiais didáticos fossem desenvolvidos, promovendo percepção espacial e experiência sensorial, características essenciais no ensino da anatomia veterinária (BERTTI et al., 2020).

Como no estudo da osteologia veterinária, na qual ao se comparar o desempenho de alunos que utilizaram peças anatômicas naturais e peças prototipadas (Figura 1), não se observou diferença significativa no desempenho destes. Além da tecnologia 3D permitir a redução do uso de cadáveres, custo de manutenção de peças e a possibilidade da criação de bancos digitalizados para reimpressão de peças no caso de danificações (SILVEIRA et al., 2021).

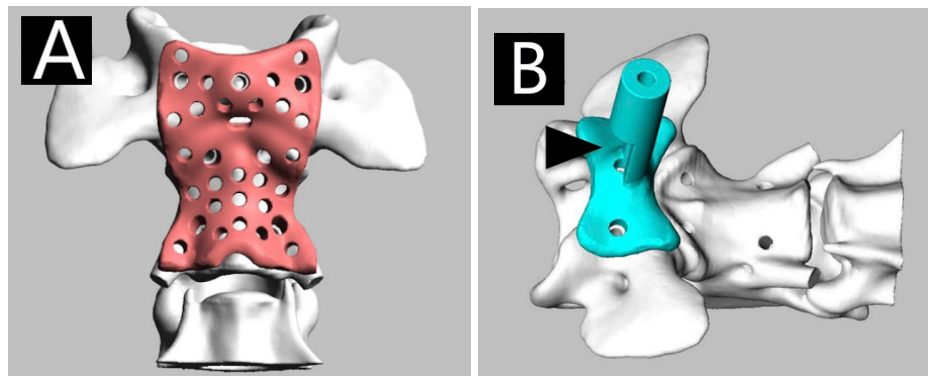
Figura 1 - a) Crânio natural da espécie canina; b) crânio prototipado com base no escaneamento craniano de um paciente canino.



Fonte: Silveira et al., 2021 (Adaptado).

Já no ambiente cirúrgico, este recurso consegue proporcionar melhora no planejamento de procedimentos, redução no tempo de anestesia, risco de infecções no trans-operatório e custos da intervenção. Como na instabilidade atlantoaxial em cães, onde guias de broca e placas de osteossíntese (Figura 2) são prototipados para estabilizar as vértebras acometidas (FERREIRA, 2019; KAMISHINA et al., 2019).

Figura 2 - a) Placa de osteossíntese projetada por *software 3D* para tratamento cirúrgico de instabilidade atlantoaxial; b) Guia de broca desenhado por *software 3D* para tratamento cirúrgico de instabilidade atlantoaxial.



Fonte: Kamishina et al., 2019.

2.4 FORMAS DE CAPTAÇÃO DE IMAGENS

O processo para desenvolvimento de uma peça prototipada basicamente é dividido em 3 etapas, sendo inicialmente a aquisição de imagens, seguida pela modelagem e impressão. Nas áreas médicas, o recurso mais utilizado para auxiliar o processo de prototipagem é a TC, produzindo imagens em cortes transversais que em conjunto formam um dado tridimensional (GANGULI et al., 2018; VOLPATO et al., 2017).

Outro método que possui aplicabilidade nesta etapa é a RM, que alinha átomos de hidrogênio por meio de um campo magnético, formando imagens altamente detalhadas de tecidos que possuem grande quantidade de água. Em comparação à TC, este recurso possui a vantagem da não utilização de radiação ionizante no paciente, porém em contrapartida, não é sensível para tecidos ósseos por estes possuírem uma baixa taxa de água em sua composição (IWATSUKI et al., 2020; VOLPATO et al., 2017).

Como uma alternativa mais acessível a estes métodos, pelo custo e portabilidade, a fotogrametria passou a ser utilizada. Esta necessita de uma câmera digital, onde equipamentos profissionais ou até mesmo *smartphones* podem ser usados, com finalidade de reproduzir imagens em 360 graus. Para tal, os programas de modelagem necessitam normalmente de 20 a 100 fotografias, visto que a quantidade de imagens é proporcional à riqueza de detalhes do objeto (LIMA et al., 2019; TAQRIBAN et al., 2019).

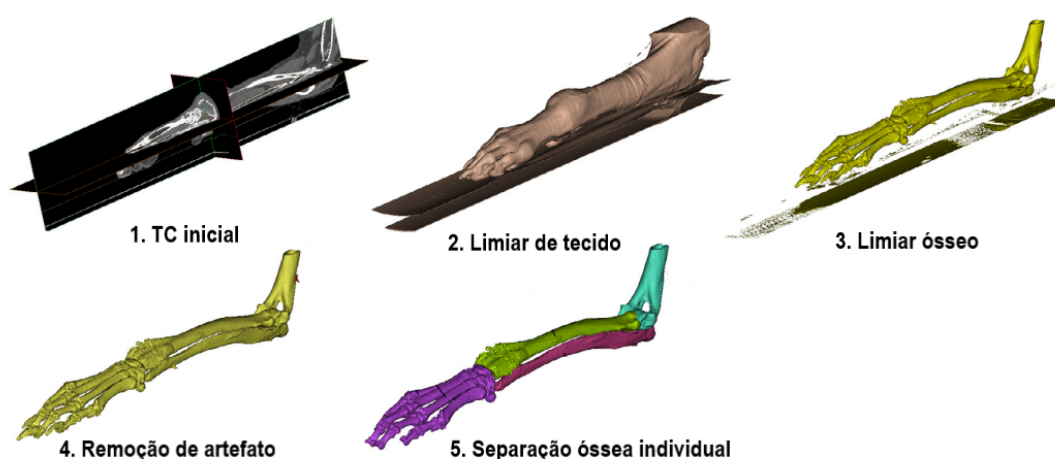
Após a obtenção das imagens, estas são salvas no padrão *Digital Imaging and Communications in Medicine* (DICOM), um sistema criado para uniformizar arquivos de imagem e facilitar o processamento e troca de informações entre profissionais da área da saúde (SASSAKI et al., 2022).

2.5 SOFTWARES DE MODELAGEM 3D E PROCESSO DE MODELAGEM

Esta etapa tem por finalidade, reconstruir um modelo digital através de imagens obtidas pelos recursos anteriormente citados, desde que salvos em formato *DICOM*. A ferramenta usada para essa reconstrução são *softwares* de modelagem 3D, que por sua vez estão disponíveis na *web* em modelos comerciais ou gratuitos (CAVALCANTE et al., 2018; GOLOVIN; MARUSIN, 2018).

Inicialmente esses programas realizam a renderização das imagens bidimensionais, como de uma TC, e a partir destas desenvolvem uma imagem tridimensional, que por sua vez pode ser editada, por exemplo isolando os ossos de estruturas adjacentes como músculos, tendões e ligamentos (Figura 3) (TIMERCAN et al, 2019).

Figura 3 - Etapas de uma reconstrução 3D para osteotomia e aplicação de endoprótese em paciente canino com osteossarcoma no rádio.



Fonte: Timercan et al., 2019.

O isolamento dessas estruturas se dá pela segmentação das imagens, onde através de programas o usuário define a média de absorção de radiação do tecido escolhido, que é medida em Unidade *Hounsfield* (HU) (Tabela 1). Desta forma, a

imagem selecionada é aquela cujo número *HU* está dentro do limiar escolhido pelo usuário (SILVA; MALAGÓN, 2016).

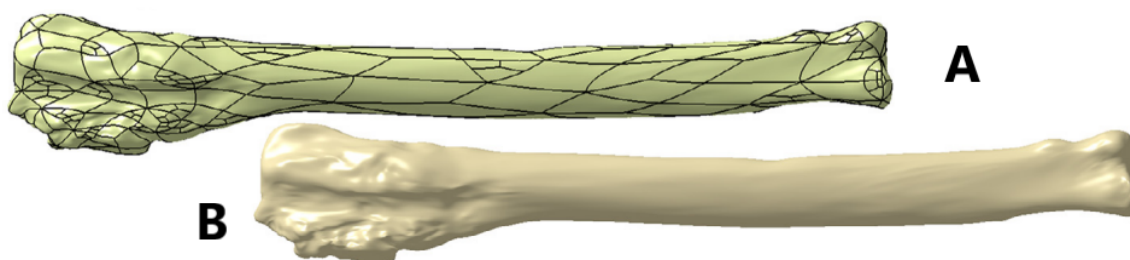
Tabela 1 - Limiares pré definidos de alguns tecidos.

Material	Limiar inicial	Limiar final
Osso compacto	662	1988
Osso esponjoso	148	661
Tecido epitelial	-718	-177
Tecido adiposo	-205	-51
Tecido muscular	-5	135

Fonte: Silva; Magalón, 2016. (Adaptado)

Após a junção das imagens segmentadas, o software transforma os menores pontos tridimensionais (*voxels*) da imagem em malhas de polígonos. A etapa seguinte consiste na análise dos pontos mais frágeis de uma peça (Figura 4) (SILVA; MAGALÓN, 2016).

Figura 4 - a) Modelo de rádio canino em formato de malha de polígono; b) Modelo de rádio canino em formato sólido.



Fonte: Timercan et al., 2019. (Adaptado)

2.6 ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DE OBJETOS MODELADOS E IMPRESSOS

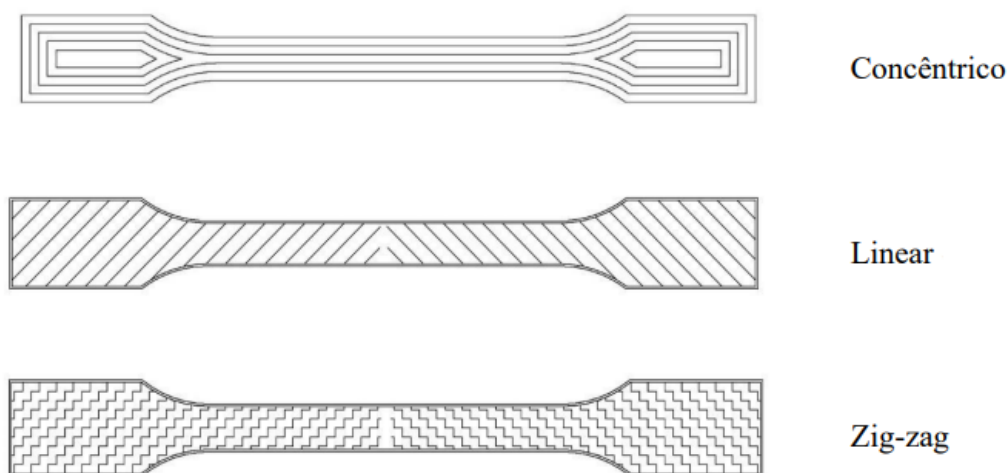
A análise de resistência do objeto desejado pode ser realizada por meio de *softwares* ou teste físico do corpo de prova, através de máquinas específicas (CROUCILLO et al., 2018).

Em relação ao teste físico, a resistência do material dependerá de fatores como densidade do material, direção da impressão, espessura da camada e o material utilizado. Esse pode ser realizado por máquinas de tração, que aplicam uma

determinada força na direção paralela da superfície do objeto em direções opostas . Em um estudo comparando objetos prototipados a partir de PLA e ABS com os mesmos parâmetros de impressão, determinou-se que o primeiro material foi superior no quesito tração e flexão. No teste de impacto, o material que apresentou melhores resultados foi o ABS, pela sua alta capacidade de absorção de energia (FERREIRA; NIRO, 2022).

O padrão de preenchimento influencia significativamente na resistência do material, visto que quando impresso no sentido concêntrico, as linhas de deposição situam paralelamente às força aplicada no teste de tração, resultando em maior resistência de deformação quando comparados com o padrão linear e zig-zag (Figura 6) (FERREIRA et al., 2020)

Figura 6 - Padrão de preenchimento do corpo de prova.



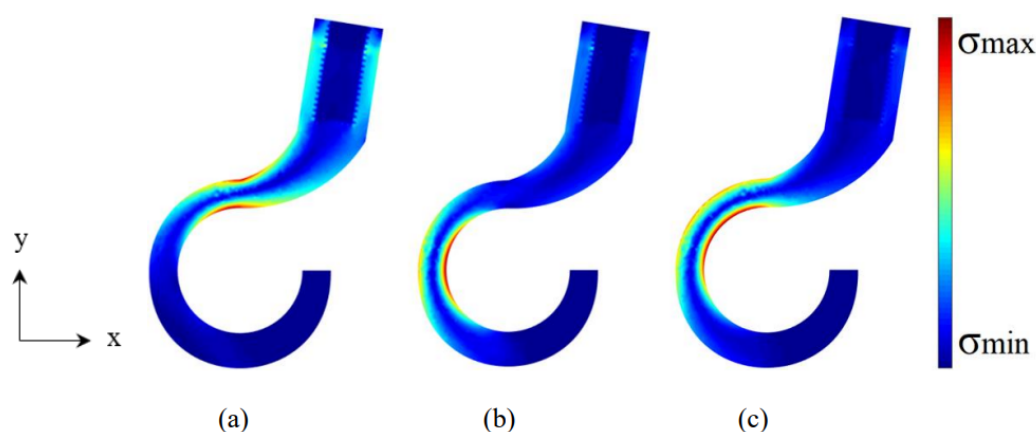
Fonte: Ferreira et al., 2020 (Adaptado)

Contudo, o recurso que simula a resistência de peças prototipadas por meio de *softwares* passa a ser mais aconselhável, em razão de que o material não precisa ser impresso para ser testado. Além disso, esses programas conseguem determinar os pontos mais frágeis da peça, possibilitando correções e consequentemente economia de tempo e recurso (CROUCILLO et al., 2018; MELO; OLIVEIRA, 2022).

Como o observado no desenvolvimento de uma prótese de membro torácico veterinária. Na qual em sua fase de análise de resistência foi considerada a força de 1,00 *Newton* como peso do paciente, e rodas simulações onde a prótese tocava o

solo com ângulos de 0° e -45° , representando a fase de apoio, e 45° , representando a fase de balanço, nas qual as áreas de maior tensão foram representadas na cor vermelha (Figura 7) (TEIXEIRA, 2021).

Figura 7 - Molde de prótese de membro torácico digitalizada, demonstrando em cor vermelha os pontos de maior tensão e em cor azul os de menor tensão: a) simulação da prótese em um ângulo de -45° em relação ao solo; b) simulação da prótese em um ângulo de 0° em relação ao solo; c) simulação da prótese em um ângulo de 45° em relação ao solo.



Fonte: TEIXEIRA, 2021.

Após o término do teste de resistência, o modelo é salvo em documento no padrão *Standard Tessellation Language (STL)*, formato compatível com impressoras 3D (SASSAKI et al., 2022).

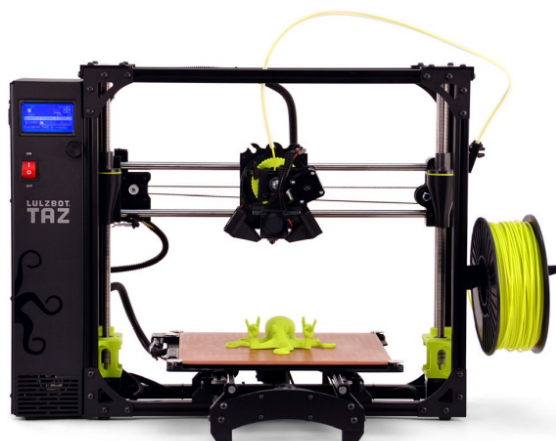
2.7 TIPOS DE IMPRESSORA E MATERIAIS USADOS PARA ELABORAÇÃO DE MODELO TRIDIMENSIONAL

Com a popularidade da prototipagem rápida nas diversas áreas em que pode ser aplicada, algumas tecnologias de impressão foram desenvolvidas como a modelagem por fusão e deposição (FDM) e a sinterização seletiva a laser (SLS). Sucessoras da estereolitografia (SLA), que foi a primeira a ser desenvolvida (VAZ; KUMAR, 2021).

A FDM (Figura 8), também nomeada de fabricação de filamentos fundidos (FFF), é um processo de manufatura aditiva mundialmente conhecido que utiliza principalmente polímeros como matéria-prima. Sua funcionalidade baseia-se na passagem do produto em forma sólida através de um bico extrusor aquecido, que o derrete transformando-o em matéria líquida, que por sua vez é depositado em uma

plataforma. O desenvolvimento de objetos depende da mobilidade do bico extrusor que se move nos eixos X e Y e da plataforma que se move ao longo do eixo Z, permitindo a deposição do material camada por camada (KUNKEL et al., 2020; ZHOU et al., 2020).

Figura 8 - Impressora Lulzbot TAZ6 (FDM).

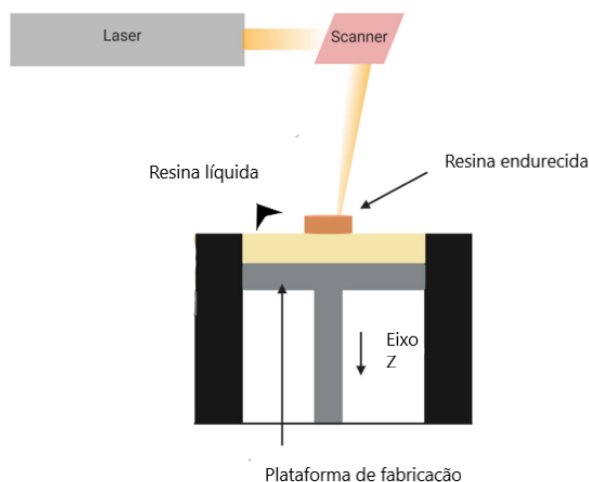


Fonte: Wilhite; Wolfel, 2019.

Diversas impressoras se enquadram nesta categoria, sendo assim, a FDM ganhou popularidade rapidamente, chegando a ser o recurso mais usado na área médica e em trabalhos caseiros. E por estes motivos passou a ter custo mais acessível, variando de R\$2.000,00 a R\$45.000,00. O valor da impressora é proporcional à qualidade do produto final, diversidade de materiais compatíveis e outras características como o número de bicos extrusores, onde as mais caras possuem mais de um, fator que possibilita a confecção de mais de um produto simultaneamente (KUNKEL et al., 2020; TAPPA; JAMMALAMADAKA, 2018).

Outra alternativa para desenvolver modelos prototipados é a tecnologia SLA (Figura 9). Essa impressora conta com um feixe de *laser*, que quando acionado, reflete em um sistema de varredura que o direciona para uma cuba contendo resina fotocurável em estado líquido. A reação entre o *laser* e a resina, promove a solidificação da mesma, formando a primeira camada da peça. Em seguida a cuba se move ao longo do eixo Z, para que as seguintes camadas sejam sobrepostas até a conclusão do produto final (VOLPATO et al, 2017).

Figura 9 - Esquema básico de funcionamento de uma impressora SLA.



Fonte: Vaz; Kumar, 2021. (Adaptado)

Após a escolha do tipo de impressora a ser utilizada, o próximo passo consiste na definição do material, uma vez que a finalidade do protótipo deve ser considerada, pois as características da matéria-prima podem influenciar na eficácia da peça. Dentre os materiais usados na manufatura aditiva, estão o nylon, politereftalato de etileno glicol (PETG), policarbonato (PC), titânio sólido, ácido polilático e o acrilonitrila butadieno estireno (ABS), sendo os dois últimos mais utilizados nas áreas médicas (SANTANA et al., 2018; SILVA; SANTOS, 2022),

O PLA é um polímero biodegradável derivado de fontes renováveis como o trigo, amido e cana de açúcar. Dentre suas qualidades está o baixo custo, alta disponibilidade comercial, diversidade de cores e a facilidade de seu uso na prototipagem rápida, sendo comumente usado na produção de órteses e planejamento cirúrgico em modelos anatômicos (DE STEFANO et al., 2020).

Já o ABS, foi um dos primeiros materiais a serem utilizados na manufatura aditiva. Dentre suas características, este polímero compartilha algumas características com o PLA, como o baixo custo e a durabilidade (MARDIS, 2018) Suas particularidades também influenciam na frequência de seu uso, pois este material possui boa resistência à fratura, flexibilidade, baixa densidade e resistência a altas temperaturas sem deformação estrutural (OLIVEIRA, 2019; PUGLIESE et al., 2021).

2.8 ESTERILIZAÇÃO DE MATERIAIS PROTOTIPADOS USADOS EM CIRURGIAS

Após a fabricação de protótipos cirúrgicos, a esterilização do mesmo sempre deve ser realizada, a fim de evitar complicações pós-operatórias. Dentre os métodos comumente empregados, estão o óxido de etileno, radiação UV-c, vapor saturado sob pressão, peróxido de hidrogênio vaporizado e entre outros (LONGHINI et al., 2021).

O método de esterilização por autoclave a vapor é um dos mais conhecidos e seguros utilizados na área da saúde. O modelo a ser esterilizado é exposto a temperaturas que variam entre 121-148°C e sendo assim com a ajuda da alta pressão dentro do equipamento, o vapor penetra na superfície do material eliminando os microrganismos existentes. Por este motivo, a esterilização por autoclave de materiais cirúrgicos prototipados com filamentos de PLA é contra indicada, pois este material tem início de derretimento a partir de 120°C (MUBARAK et al., 2019; RAMOS et al., 2022).

O óxido de etileno é um gás altamente inflamável que possui como característica, grande poder de penetração e alquilação de proteínas e ácidos nucleicos, tornando assim um excelente bactericida, virucida, fungicida e esporicida. A esterilização por este agente é classificada como método de baixa temperatura e por este motivo é o método mais aconselhável para esterilizar modelos cirúrgicos fabricados com PLA, pois este material possui aspectos termossensíveis (COSTA, 2021; RAMOS et al., 2022).

Um método alternativo para a esterilização de materiais cirúrgicos é o peróxido de hidrogênio vaporizado. Este agente é um ácido fraco com alto potencial oxidante, agindo no DNA, RNA e fosfolipídios de bactérias, vírus e fungos. Por utilizar baixas temperaturas para sua funcionalidade, este processo é adequado para a esterilização de materiais cirúrgicos feitos de PLA e ABS, onde estudos comprovaram que não houve deformações na estrutura protótipo (MCEVOY; ROWAN, 2019; TORO et al., 2021).

2.9 USO DA IMPRESSÃO 3D NA ÁREA CIRÚRGICA

A primeira cirurgia realizada utilizando recursos prototipados foi no ano de 2003 e desde então foi evoluindo progressivamente no quesito precisão e velocidade. Este recurso passou a ser uma inovação para tratamento cirúrgico de diversas doenças em cães, incluindo cirurgias da cavidade oral, maxilofacial, oftálmicas, ortopédicas, neurocirurgias e entre outras (ALTWAL et al., 2021; WINER et al., 2017).

Na oftalmologia de pequenos animais, profissionais se deparam com vários tipos de doenças incuráveis ou traumas oculares, que resultam na enucleação do olho acometido. Do ponto de vista estético, os tutores preferem a preservação do olho, apesar da perda da visão. A impressão 3D nessa área permite que próteses e implantes sejam fabricados apresentando resultados satisfatórios como boa aparência e ausência de complicações significativas, como inflamação orbitária (PARK et al., 2020).

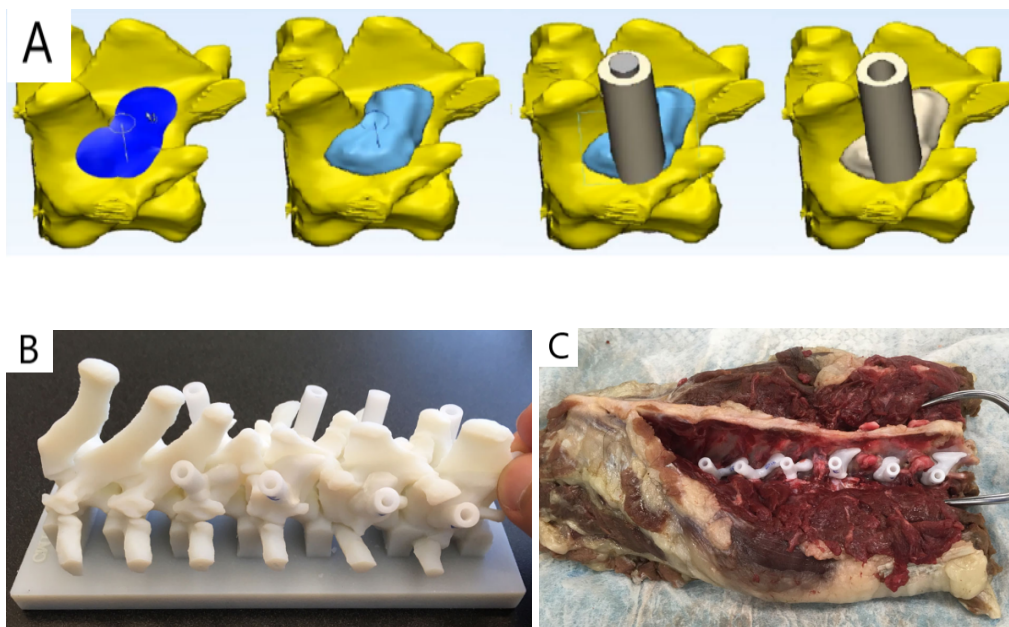
Outra casuística comum na rotina de pequenos animais, é a claudicação do membro pélvico decorrente da insuficiência do ligamento cruzado cranial, que se não tratada, pode evoluir para osteoartrite da articulação do joelho. Várias técnicas podem ser utilizadas como tratamento para esta alteração, existindo assim, controvérsias sobre a forma mais eficiente. A osteotomia de nivelamento do platô tibial (TPLO) é uma das técnicas mais empregadas na rotina, porém existem relatos de complicações no pós-operatório a longo prazo, como deformidades angulares. Através de estudos cadavéricos, confirmou-se que a manufatura aditiva pode melhorar a osteotomia e colocação de pinos por meio de um guia TPLO paciente específico (LEE et al., 2022; GUÉNÉGO et al., 2021).

Na área da neurologia veterinária, as neoplasias intracranianas possuem uma prevalência de 14 para cada 100.000 mil cães. O prognóstico dessas alterações dependem de uma biópsia e para isso, existem dispositivos humanos que podem ser usados em animais, porém, há uma certa limitação por conta da disponibilidade comercial desses equipamentos e da diversidade no tamanho dos animais. Neste contexto, a manufatura aditiva consegue auxiliar cirurgicamente este procedimento através de guias de biópsia cerebral paciente-específico (SHINN et al., 2021).

2.10 APLICAÇÕES DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA EM CIRURGIAS DE COLUNA VERTEBRAL

Na neurocirurgia veterinária, fraturas e luxações vertebrais representam números significativos em emergências neurológicas em cães. Nesses casos, em sua maioria, a estabilização cirúrgica de vértebras torácicas, por exemplo, é descrita como uma das opções terapêuticas. O acesso cirúrgico para as diversas técnicas existentes de estabilização devem ser realizados com cautela, pois cada abordagem apresenta seus riscos, como a abordagem ventral, que necessita da travessia do tórax, expondo grandes vasos. Devido a estes riscos, a manufatura aditiva proporciona ao cirurgião um eficiente planejamento pré-operatório (Figura 11a) a partir de exames de imagem e treinamento em cadáveres, como verificado em estudos, nos quais cirurgiões novatos e experientes realizaram estabilizações com 100% de acerto na fixação dos implantes nos pedículo e corpos vertebrais (MARIANI et al., 2021).

Figura 11 - Modelagem do guia de broca até o uso em experimento cadavérico. a) Passo a passo do contorno da superfície da vértebra até a conclusão com o cilindro para acomodar a broca; b) Coluna torácica e guias de broca prototipados; c) Aplicação dos guias prototipados em espécime cadavérico.



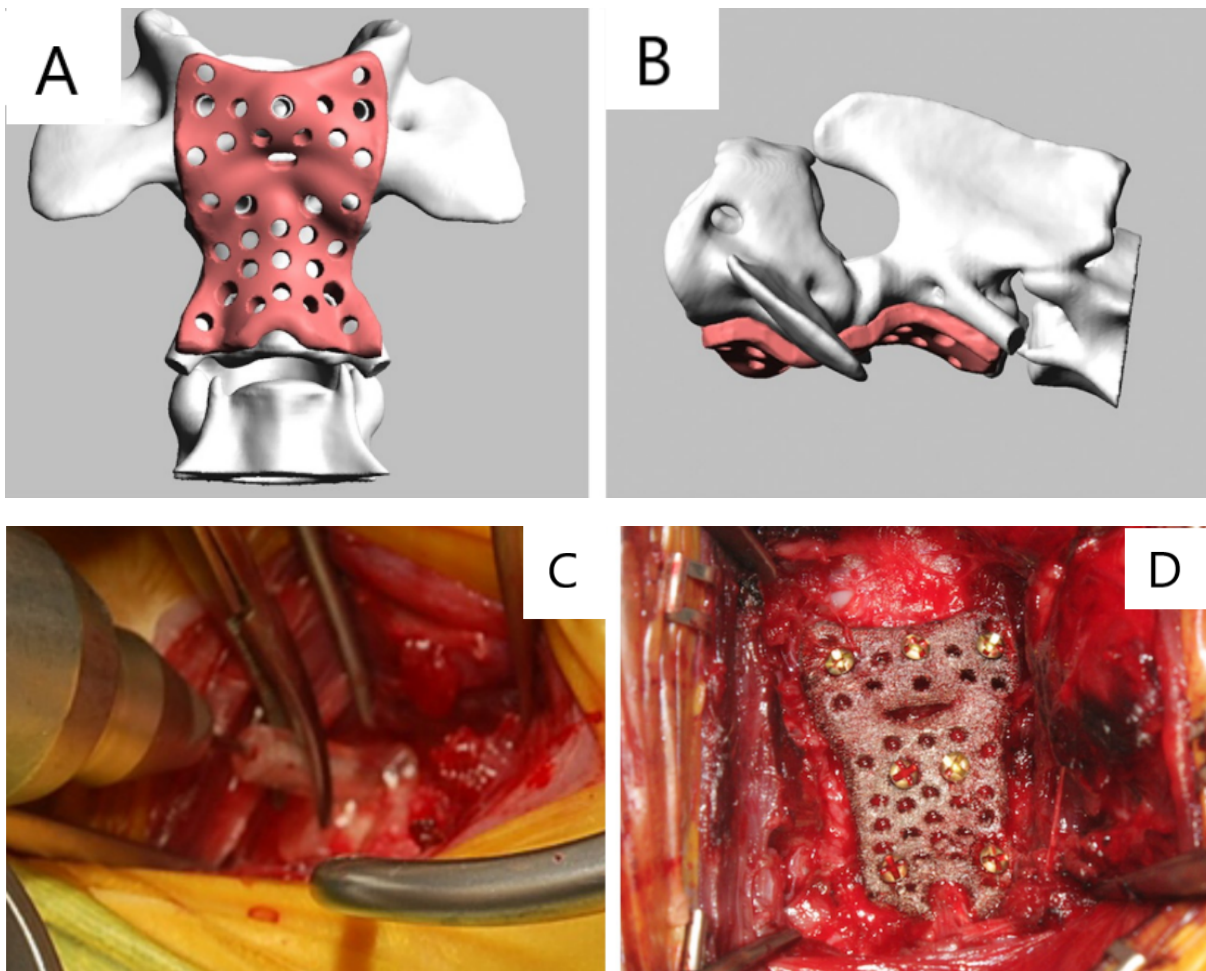
Fonte: Mariani et al., 2020.

Assim como no planejamento e treinamento, a prototipagem rápida auxilia procedimentos cirúrgicos comumente realizados em cães de grande porte. Como visto em casos de estenose lombossacral (L7-S1), onde a estabilização das vértebras e descompressão das raízes nervosas podem ser realizadas através de guias de perfuração paciente-específico, reduzindo o tempo de cirurgia, anestesia e as taxas de complicações intra-operatórias, como a invasão do canal medular (BEER et al., 2020; TONI et al., 2020).

Além de auxiliar procedimentos cirúrgicos de cães de grande porte, a tecnologia influencia no aumento da taxa de sucesso de cirurgias em animais de pequeno porte, com a fabricação de placas de titânio (Figura 10 a,b,d) para serem utilizadas em alterações como a instabilidade atlantoaxial. A incidência dessa patologia é maior em cães miniatura, e por este motivo, cirurgiões encontram uma certa dificuldade na colocação de implantes e parafusos à mão livre, correndo o risco de lesionar estruturas vitais do paciente. A característica de personalização da tecnologia, permite que essas placas sejam modeladas de acordo com o exame de imagem, possibilitando também a criação de diversos poros, para que ocorra invasão óssea e uma melhor fixação do protótipo na articulação (MONTEIRO, 2018; MARITATO, 2018; PROGIN et al., 2021).

Em associação com a placa, a fixação de implantes nos pedículos e corpos vertebrais também podem ser realizadas e melhoradas neste procedimento cirúrgico com o auxílio da manufatura aditiva, uma vez que guias de broca paciente-específicos (Figura 10 c) são desenvolvidos, reduzindo complicações intra e pós-operatórias, como danos iatrogênicos, a falha na fixação dos implantes e movimentação dos parafusos (KAMISHINA et al., 2019; SIQUEIRA et al., 2021; FERNANDES et al., 2021).

Figura 10 - Guia de broca e placa de osteossíntese. a) Placa de titânio projetada por *software* para artrodese da articulação atlanto axial, vista ventral; b) Placa de titânio projetada por *software* para artrodese da articulação atlanto axial, vista lateral direita; c) Fixação de implantes através do guia de broca paciente específico; d) Placa de titânio poroso fixada na articulação atlantoaxial.



Fonte: Kamishina et al., 2019.

A eficácia do procedimento cirúrgico depende muita das vezes dos cuidados no pós-operatório, uma vez que além de analgésicos, anti-inflamatórios, antibióticos nutracêuticos, antieméticos e fisioterapia, o uso de colar cervical é indispensável para os pacientes acometidos, pois este tem a finalidade de limitar a movimentação da articulação, promovendo tecido cicatricial no local (SANTOS et al., 2018).

A prototipagem rápida pode proporcionar o desenvolvimento desses colares cervicais específicos para o paciente utilizando o mesmo exame de imagem empregado no desenvolvimento de guias de broca e placas de osteossíntese. Como no pós-cirúrgico, onde os pacientes acometidos por esta alteração devem utilizar o colar cervical por um longo período de tempo, a fabricação de um modelo prototipado gera economia de recursos ao tutor, uma vez que os colares realizados

na rotina são feitos de algodão ortopédico e ataduras (SANTOS et al., 2018; IBRAHEM et al., 2022)

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A manufatura aditiva possibilita diversas vantagens na medicina veterinária, sendo elas a precisão na implantação de pinos e parafusos em cirurgias de coluna, redução no tempo e custo de procedimentos cirúrgicos. Porém, a falta de profissionais especializados dificulta a disseminação desta tecnologia na rotina cirúrgica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, Brenda; SILVEIRA, Erick; PEREIRA, Helton; NETO, Antônio; SANTOS, Amilton; NETO, Antônio. Digitalização e impressão tridimensional como uma ferramenta para estudo anatômico e ortopédico dos ossos da pelve e longos do membro pélvico de cães. **Acta Scientiae Veterinariae**, v.47, n.1653, 2019.

AL' AREF, Subhi; MOSADEGH, Bobak; DUNHAM, Simon; MIN, James. **3D printing applications in cardiovascular medicine**. 1. ed. Nova York, Julho de 2018.

ALTWAL, Jhonny; WILSON, Caroline; GRIFFON, Dominique. Applications of 3-dimensional printing in small-animal surgery: A review of current practices. **Veterinary Surgery**. v. 51, n. 1, p. 34-51, janeiro de 2022.

AMZA, Catalin; ZAPCIU, Aurelian; BACIU, Florin; VASILE, Mihai; POPESCU, Diana. **Aging of 3D Printed Polymers under Sterilizing UV-C Radiation**. v. 13, p. 2-16, 2021.

BEER, Patricia; PARK, Brian; STEFFEN, Frank; SMOLDERS, Lucas; POZZI, Antonio; KNELL, Sebastian. Influence of a customized three-dimensionally printed drill guide on the accuracy of pedicle screw placement in lumbosacral vertebrae: An ex vivo study. **Wiley Online Library: Veterinary Surgery**.v. 49, p. 977-988, julho de 2020.

BERTTI, João; SILVEIRA, Erick; NETO, Antonio. Reconstrução e impressão 3D do neurocrânio de cão com o uso de tomografia computadorizada como ferramenta para auxiliar no ensino da anatomia veterinária. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 72, n. 5, p. 1653-1658, novembro de 2020.

BOSHRA, Mina; GODBOUT, Justin; PERRY, Jeffrey; PAN, Andy. 3D printing in critical care: a narrative review. **3D printing in medicine**, v.6, n. 28, p. 2-11, setembro de 2020.

CAVALCANTE, Reidner; CARDOSO, Alexandre; SOARES, Alcimar; JÚNIOR, Edgard. Manufatura de próteses de membros superiores de baixo custo através de técnicas de modelagem e impressão 3D. **Anais do V Congresso Brasileiro de Eletromiografia e Cinesiologia e X Simpósio de Engenharia Biomédica**. p. 633-636, janeiro de 2018.

CHENG, George; FOLCH, Erik; WILSON, Adam; BRIK, Robert; GARCIA, Noah; ESTEPAR, Raul, et al. 3D Printing and Personalized Airway Stents. **Pulmonary Therapy**, v.3, p. 59-66, Janeiro de 2017.

CHOO, Yoo; REVERÉT, Mathieu; CHANG, Mi. 3D printing technology applied to orthosis manufacturing: narrative review. **Annals of Palliative Medicine. All rights reserved**. v. 9, n. 6, p. 4262-4270, novembro de 2020.

COSTA, Eliana. Aecization of medical devices sterilized to ethylene oxide: considerations about Brazilian regulation. **Revista SOBECC**. v. 26, n. 3, p. 181-188, setembro de 2021.

CROUCILLO, Andressa; ARRUDA, José; FRANCO, Luciano; LEITE, Jussara; CARVALHO, Mayara. Avaliação das características mecânicas do PLA impressa em 3D para aplicação em próteses de animais de pequeno e médio porte. **Tecnologia em metalurgia, materiais e mineração**. v. 15, n. 3, p. 221-225, setembro de 2018.

DE STEFANO, Vicent; KHAN, Salaar; TABADA, Alonso. Applications of PLA in modern medicine. **Engineered Regeneration**. v. 1, p. 76-87, 2020.

FERNANDES, Maria; SILVA, Ricardo; LIMA, Leonardo; RAMOS, Lucas; PEIXOTO, Anna; BROCK, Gabriela et al. Congenital dynamic cervical instability in a dog: the role of computed tomography and 3D printing to plan and optimize the surgical approach. **Brazilian Journal of Veterinary Medicine**. v. 43, p. 1-8, maio de 2021

FERREIRA, Danyelle Rayssa Cintra. **Avaliação biomecânica de quatro técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cão**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal - Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2019.

FERREIRA, Michelle; NIRO, Lucas. Análise das propriedades mecânicas em corpos de provas obtidas por meio de impressão 3D, baseado na variação de parâmetros de impressão. **Revista técnico-científica do CREA-PR**. p. 1-27, setembro de 2022.

FERREIRA, Yasmin; MECELIS, Guilherme; ASSIS, Cleiton. Análise da resistência mecânica do acrilonitrila butadieno estireno reciclado (ABSr) para aplicações em impressão 3D. **Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP**. 2020.

FOSSUM, Theresa. **Cirurgia de pequenos animais**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2021.

GANGULI, Anurup; DIAZ, Gelson; GRANT, Lauren; CVETKOVIC, Caroline; BRAMIET, Mathew; VOZENILEK, John, et al. . 3D printing for preoperative planning and surgical training: a review. **Biomedical Microdevices**. v. 20, n. 3, p. 2-24, agosto de 2018.

GOKHARE, Vinod; RAUT, Dadarao; SHINDE, Dattaji. A review paper on 3D-printing aspects and various processes used in the 3D-printing. **International Journal of Engineering Research & Technology**, v.6, p. 953-958, junho de 2017.

GOLOVIN, Mikhail; MARUSIN, Nikita; GOLUBEVA, Yu. Use of 3D Printing in the Orthopedic Prosthetics Industry. **Biomedical Engineering**. v. 52, n. 2, p. 100-105, 2018.

GUÉNÉGO, Laurent; VEZZONI, Aldo; VEZZONI, Luca. Comparison of tibial anatomical-mechanical axis angles and patellar positions between tibial plateau levelling osteotomy (TPLO) and modified cranial closing wedge osteotomy (AMA-based CCWO) for the treatment of cranial cruciate ligament disease in large dogs with tibial plateau slopes greater than 30° and clinically normal Labradors retrievers. **BMC Veterinary Research**. v. 3, n. 17, p. 2-13, dezembro de 2021.

IBRAHEM, Mostafa; WAKAD, Mohamed; MOHANDES, Mostafa; SAMI, Sherif. Implementation and Evaluation of a Dynamic Neck Brace Rehabilitation Device Prototype. **Journal of Healthcare Engineering**. v. 2022, p. 1-12, outubro de 2022.

IWATSUKI, Katsuyuki; YONEDA, Hidemasa; ONISHI, Tetsuro; ISHII, Hisao; KURIMOTO, Shigeru; YAMAMOTO, Michiro, et al. Compatibility of magnetic resonance imaging in patients with orthopedic implants: manufacturer questionnaires. **Nagoya Journal of Medical Science**. v. 82, n. 1, p. 79-84 fevereiro de 2020.

KAMISHINA, Hiroaki; SUGAWARA, Taku; NAKATA, Kohei; NISHIDA, Hidetaka; YADA, Naoko; FUJIOKA, Toru, et al. Clinical application of 3D printing technology to the surgical treatment of atlantoaxial subluxation in small breed dogs. **PLOS ONE**. v.14, n.5, p. 1-18, maio de 2019.

KHOSRAVANI, Mohammad; REINICKE, Tamara. On the environmental impacts of 3D printing technology. **Applied Materials Today**, v.20, setembro de 2020.

KUNKEL, Maria; CANO, Ana; GANGA, Thabata; ARTIOLI, Bárbara; JUVENAL; Eliane. Manufatura aditiva do tipo FDM na engenharia biomédica. **Fundamentos e tendências em inovação tecnológica**, v. 1, p. 50-69, 2020.

LACERDA, Tayla; ROMANIELO, Ana; GOMES, Susana; SOUZA, Joyce, CARVALHO, Viviana; MACHADO, Lara, et al. Aplicabilidade da impressora 3D na prática contemporânea. **Brazilian Journal of health review**. v. 3, n.1, p.620-625, fevereiro de 2020.

LEE, Seungeon; KANG, Jinsu; KIM, Namsoo; HEO, Suyoung. Evaluation of a customized 3D-printed saw guide for tibial plateau leveling osteotomy: An ex vivo study. **Wiley Online Library: Veterinary Surgery**. v. 51, p. 963-973, maio de 2022.

LIMA, Luiz; BARROS, Ana; MARTINI, Andresa; STOCCO, Matias; KUCZMARSKI, Antonio; SOUZA, Roberto. Photogrammetry and 3D prototyping: A low-cost resource for training in veterinary orthopedics. **Ciência Rural**, v.49, n.12, 2019.

LIMA, Luiz; CAMPOS, Milena; BARROS, Anna; BATISTA, Gabriela; JAWORSKI, Lorena; LOBO, Paloma, et al. 3D printing as a diagnostic tool for congenital malformation in a brachycephalic dog. **Ciência Rural**, v.50, n.8, julho, 2020.

LIMA, Luiz; BARROS, Anna; MARTINI, Andresa; STOCCO, Matias; KUCZMARSKI, Antonio; SOUZA, Roberto. Photogrammetry and 3D prototyping: A low cost resource for training in veterinary orthopedics. **Ciência Rural**. v. 49, n. 12, p. 1-4, 2019.

LONGHINI, Tatielle; ALVES, Allyne; AMARAL, Nickolas; LAGE, Randolpho; OLIVEIRA, Rodrigo; SOUZA, Peter. Protótipos com radiação UV-C para esterilização de máscaras N95/PFF2, ambientes e superfícies hospitalares. **ForScience**. v. 10, n. 1, p. 2-30, janeiro de 2021.

MARDIS, Neil. Emerging Technology and Applications of 3D Printing in the Medical Field. **Missouri Medicine Library**. v. 115, n. 4, p. 368-373, agosto de 2018.

MATURELLO, Danielle; JAMES, Jordan; PERRY, Karen; DÉJARDIN, Loic. Accuracy of anatomic 3-dimensionally printed canine humeral models. **Wiley Online Library: Veterinary Surgery**. p. 1-11, Setembro de 2022.

MAÑANEZ, Rubén; JOSÉ, Sônia; MENÉNDEZ, Manuel; ARCILLA, Ignacio; FERNÁNDEZ, Esmeralda; MARTÍN, Javier, et al. **Application of 3D printing and distributed manufacturing during the first-wave of COVID-19 pandemic. Our experience at a third-level university hospital**. v. 7, n.7, p.2-8, 2021.

MARTELLI, Anderson; HUNGER, Marcelo; DELBIM, Lucas; MAGALHÃES, Roberto. Percepção dos acadêmicos dos cursos da área da saúde de uma Instituição de Ensino Superior acerca da Disciplina de Anatomia e sua influência na formação profissional. **Archives of Health Investigation**. v. 8, n. 7, p. 336-341, 2019.

MARITATO, Karl; BARNHART, Matthew. **Locking Plates in Veterinary Orthopedics**. Wiley Blackwell, 2018.

MARIANI, Christopher; ZLOTNICK, Joshua; HARRYSSON, Ola; LITTLE, Denis; MALINAK, Kristen; GAVITT, Ashley, et al. Accuracy of three-dimensionally printed animal-specific drill guides for implant placement in canine thoracic vertebrae: A cadaveric study. **Wiley Online Library: Veterinary Surgery**. v. 50, n. 2, p. 294-302, fevereiro de 2021.

MCEVOY, Brian; ROWAN, Neil. Terminal sterilization of medical devices using vaporized hydrogen peroxide (VH₂O₂): a review of current methods and emerging opportunities. **Journal of Applied Microbiology**. v. 127, p. 1403-1420, 2019.

MELO, Matheus; OLIVEIRA, José. **Prototipagem de membro anterior canino com uso da impressão 3D.** (Trabalho de conclusão de curso) Faculdade de Tecnologia e ciências sociais aplicadas - Engenharia elétrica. Brasília, 2022.

MONTEIRO, Bianca Fiuza. **Avaliação biomecânica de quatro técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cão.** Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Medicina veterinária e Zootecnia - Universidade de São Paulo, 2018.

MORANDINI, Moisés; VECHIO, Gustavo. Impressão 3D, tipos e possibilidades: Uma revisão de suas características, processos, usos e tendências. **Interface tecnológica**, v. 17, n. 2, p. 67-77, dezembro de 2020.

MUBARAK, Mubarak; OZSAHIN, Ilker; OZSAHIN, Dilber. Evaluation of Sterilization Methods for Medical Devices. **Advances in Science and Engineering Technology International Conferences**. p. 2-4, 2019.

OLIVEIRA, Rúben. **Impressão 3D de polímeros: Influência do fator forma na avaliação das propriedades mecânicas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Coimbra, julho de 2019.

PARK, So; AN, Jeong; KWON, Hyun; CHOI, Seo; LIM, Ka; KWAK, Ho, et al. Custom-made artificial eyes using 3D printing for dogs: A preliminary study. **PLOS ONE**. v. 15, n. 11, p. 1-15, 2020.

PIRES, Mylena; JÚNIOR, Ayrton. Impressão 3D e pesquisas em ciências da natureza: Um olhar sobre a produção científica na área. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**. v. 5, n.1, p.373-392, 2022.

PROGIN, Alexia; VOUMARD, Benjamin; FRIKER, Brian; FORTERRE, Franck. Biomechanical evaluation of two dorsal and two ventral stabilization techniques for atlantoaxial joint instability in toy-breed dogs. **American Journal of veterinary research**. v. 82, n. 10, p. 802-810, outubro de 2021.

PUGLIESE, Luigi; MARCONI, Stefania; NEGRELLO, Erika; MAURI, Valéria; PERI, Andréa; GALLO, Virgínia, et al. The clinical use of 3D printing in surgery. **Updates in Surgery**. v. 70, n. 3, p. 381-388, 2018.

PUGLIESE, Raffaele; BELTRAMI, Benedetta; REGONDI, Stefano; LUNETTA, Christian. Polymeric biomaterials for 3D printing in medicine: An overview. **3D Printed Medicine**. v. 2, 2021.

RAMOS, Carlos; WILD, Pedro; MARTINS, Eduardo. Effectiveness in Sterilization of Objects Produced by 3D Printing with Polylactic Acid Material: Comparison Between Autoclave and Ethylene Oxide Methods. **Revista Brasileira de Ortopedia e Traumatologia**. 2022.

REIS, Daniela de Alcântara dos. **Avaliação comparativa dos detalhes anatômicos dos ossos do membro torácico do equino e de seus biomodelos produzidos por digitalização e impressão 3D.** 2018. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

SANTANA, Leonardo; ALVES, Jorge; NETTO, Aurélio; MERLINI, Cláudia. A comparative study between PETG and PLA for 3D Printing through thermal, chemical and mechanical characterization. **Revista Matéria**, v. 23, n. 4, 2018.

SANTOS, Douglas; VASQUES, Gabriela; FIORATO, André; LEAL, Leonardo. Subluxação atlantoaxial congênita em cão submetido a tratamento conservativo – Relato de caso. **Revista de Ciência Veterinária e Saúde Pública**. v. 5, n. 2, p. 220-230, 2018.

SASSAKI, Yuka; COSTA, Ana; YAMANAKA, Pedro; CHRISPIN, Thyeres; DAROS, Kellen; CHOI, Stefano, et al. Impressão tridimensional de imagens médicas de tomografia computadorizada para uso no ensino de oftalmologia. **Revista Brasileira de Oftalmologia**, v.81, junho, 2022.

SHAH RUBUNDIN, Nurhalida; LEE, Chuan; RAMIAN, Rohaizan. An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications. **Procedia Manufacturing**, v. 35, p. 1286-1296, março de 2019.

SHILO, Dekel; EMODI, Omri; BLANC, Ori; NOY, Dani. RACHMIEL, Adi. Printing the Future Updates in 3D Printing for Surgical Applications. **Rambam Maimonides Medical Journal**. v. 9, p. 1-12, 2018.

SHINN, Richard; PARK, Clair; DEBOSE, Kyrille; HSU, Fang; CECERE, Thomas. ROSSMEISL, John. Feasibility and accuracy of 3D printed patient-specific skull contoured brain biopsy guides. **Wiley Online Library: Veterinary Surgery**. v. 50, n. 5, p. 933-943, julho de 2021.

SHUAIB, Mohd; HALEEM, Abid; KUMAR, Sanjay; JAVAID, Mohd. Impact of 3D Printing on the environment: A literature-based study. **Sustainable Operations and Computers**. v. 2, p. 57-63, 2021.

SILVA, André; MORAES, Jorge; BENÍTEZ, Lisianne; KAUFMANN, Ezequiel. Impressão 3D: Análise de evolução e seus impactos no mundo científico. **Revista FSA**. v. 18, n. 11, p. 124-144, novembro de 2021.

SILVA, Joab; MALAGÓN, Luiz. Fabricação de Modelos Anatômicos Usando Prototipagem Rápida. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**. v. 2, n. 1, p. 613-621, 2016.

SILVA, Túlio; SANTOS, Bruno. Prototipagem rápida na medicina veterinária. **PUBVET: Medicina veterinária e zootecnia**. v. 16, n. 1, p. 1-6, janeiro de 2022.

SILVEIRA, Erik; SILVA, Antônio; NETO, Lisboa; PEREIRA, Helton; FERREIRA, Janaína; SANTOS, Amilton, et al. Digitalização e Impressão Tridimensional de Crânio Canino como Ferramenta Educacional para Estudo Anatômico. **Educational research reports**. v. 48, n. 6, p. 784-780, 2021.

SIQUEIRA, Emerson; CLETO, Douglas; RAHAL, Sheila; ABIBE, Rebeca. Instabilidade Atlantoaxial em poodle com acompanhamento de dois anos pós-operatório: Relato de caso. **PUBVET**. v. 15, n.12, p. 1-5, dezembro de 2021.

SOMMER, Adir; BLUMENTHAL, Eytan. Implementations of 3D printing in ophthalmology. **Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology**, v.9, n. 257, p. 1815-1822, Abril de 2019.

TAPPA, Karthik; JAMMALAMADAKA, Udayabhanu. Novel Biomaterials Used in Medical 3D Printing Techniques. **Journal of Functionals Biomaterials**. v. 9, n. 17, p. 2-16, 2018.

TAQRIBAN, Rilo; ISMAIL, Rifky; ARIYANTO, Mochammad; PUTRA, Andika. 3D Model of Photogrammetry Technique for Transtibial Prosthetic Socket Design Development. **International Seminar on Search of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)**. p. 456-461, 2019.

TEIXEIRA, Mariana. **Simulação biomecânica de próteses para cães**. Dissertação (Mestrado em Engenharia biomédica) - Instituto superior de engenharia do porto, novembro de 2021.

TIMERCAN, Anatolie; BRAILOVSKI, Vladimir; PETIT, Yvan; LUSSIER, Bertrand; SÉGUIN, Bernard. Personalized 3D-printed endoprotheses for limb sparing in dogs: Modeling and in vitro testing. **Medical Engineering and Physic.** v. 71, p. 17-29, julho de 2019.

TONI, Cristina; OXLEY, Bill; CLARKE, Stephen; BEHR, Sebastien. Accuracy of Placement of Pedicle Screws in the Lumbosacral Region of Dogs Using 3D-Printed Patient-Specific Drill Guides. **Veterinary and comparative orthopaedics and traumatology.** v. 34, n. 1, p. 53-58, janeiro de 2021.

TORO, Maurício; CARDONA, Aura; RESTREPO, Daniel; BUITRAGO, Laura. Does vaporized hydrogen peroxide sterilization affect the geometrical properties of anatomic models and guides 3D printed from computed tomography images?. **3D Printing in Medicine.** v. 7, n. 29. p. 2-10, 2021.

VAZ, Vanessa; KUMAR, Lalit. 3D Printing as a Promising Tool in Personalized Medicine. **Journal of the American Association of Pharmaceutical Scientists** v. 22, n. 49, p. 2-20, janeiro de 2021.

VOLPATO, Neri; MUNHOZ, André; COSTA, Carlos; AHRENS, Carlos; CARVALHO, Jonas; SANTOS, Jorg, et al. **Manufatura aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D.** 1ª edição. São Paulo: Blucher, 2017.

WILHITE, Ray; WOLFEL, Inga. 3D Printing for veterinary anatomy: An overview. *Journal of veterinary medicine: Anatomia Histologia Embryologia*, v.48, p. 609–620. Setembro, 2019.

WINER, Jenna; VERSTRAETE, Frank; CISSEL, Derek; LUCERO, Steven; ATHANASIOU, Kyriacos; ARZI, Boaz. The application of 3-dimensional printing for preoperative planning in oral and maxillofacial surgery in dogs and cats. **Wiley Online Library: Veterinary Surgery.** v. 46, n. 7, p. 942-951, julho de 2017.

YUAN, Bo; ZHOU, Sheng; CHEN, Xiong. Rapid prototyping technology and its application in bone tissue engineering. **Journal of Zhejiang University.** v. 18, n. 4, p. 303-315, 2017.

ZHOU, Yu; FU, Jianzhong; HE, Young. A Review of 3D Printing Technologies for Soft Polymer Materials. **Advanced Functional Materials.** v. 30, p. 2-38, 2020.