



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**APLICABILIDADE DA TECNOLOGIA DE MANUFATURA  
ADITIVA (IMPRESSÃO 3D) NA CIRURGIA VETERINÁRIA**

Mateus Sarmet Paniago

Orientadora: Ana Carolina Mortari

BRASÍLIA

MAIO/2022



**MATEUS SARMET PANIAGO**

**APLICABILIDADE DA TECNOLOGIA DE MANUFATURA  
ADITIVA (IMPRESSÃO 3D) NA CIRURGIA VETERINÁRIA**

Trabalho de conclusão de curso de  
graduação em Medicina Veterinária  
apresentado junto à Faculdade de  
Agronomia e Medicina Veterinária da  
Universidade de Brasília

Orientador: Ana Carolina Mortari

BRASÍLIA

MAIO/2022

Paniago, Mateus Sarmet

Aplicabilidade da tecnologia de manufatura aditiva (Impressão 3D) na cirurgia veterinária. / Mateus Sarmet Paniago; orientação de Ana Carolina Mortari

32 p.

Trabalho de conclusão de curso de graduação – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2022

Nome do Autor: Mateus Sarmet Paniago

Título do Trabalho de Conclusão de Curso: Uso da manufatura aditiva nas cirurgias veterinárias

Ano: 2022

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Mateus Sarmet Paniago

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome do autor: Mateus Sarmet Paniago

Título: Aplicabilidade da tecnologia de manufatura aditiva (Impressão 3D) na cirurgia veterinária.

Trabalho de conclusão do curso de graduação em Medicina Veterinária apresentado junto à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília

Aprovado em

Banca Examinadora:

Prof. Dra. Ana Carolina Mortai

Instituição: Universidade de Brasília – UnB

Julgamento: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

M.V. Esp. Priscilla Dianne

Instituição: Hospital Veterinário Vet Help

Gonçalves Silva

Julgamento: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

M.V. Me. Milton Mikio Morishin

Instituição: Hospital Animal Clinic

Filho

Julgamento: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

## RESUMO

O presente estudo objetivou revisar a literatura sobre a impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva, na cirurgia veterinária. Esta tecnologia vem desenvolvendo e trazendo grande auxílio para profissionais cirurgiões veterinários no planejamento cirúrgico mais preciso, na agilidade no trans-operatório por meio de guias específicos para cada paciente, e no pós-operatório com próteses moldadas individualmente para se ajustar perfeitamente ao paciente, levando a diminuição de erros e do tempo das cirurgias. Esses usos são confirmados por estudos feitos ao redor do globo por pesquisadores, como a constatação de que o uso dos guias cirúrgicos e dos modelos impressos em 3D para planejamento cirúrgico em cirurgias veterinárias conseguem diminuir a diferença de resultado obtido por profissionais experientes e iniciantes ou que próteses pulmonares criadas para diminuir o espaço morto pós-pneumectomia unilateral são eficazes e possuem bons resultados práticos. A chegada desta tecnologia no campo da medicina veterinária traz consigo um novo conceito de cirurgia, mais personalizada e mais segura.

Palavras-chave: manufatura aditiva; impressão 3D; cirurgia veterinária; prótese veterinária; guia cirúrgico

## **ABSTRACT**

The present study aimed to review the literature on 3D printing, also known as additive manufacturing, in veterinary surgery. This technology has been developing and bringing great help to professional veterinary surgeons in more precise surgical planning, in the transoperative agility through specific guides for each patient, and in the postoperative period with individually molded prostheses to perfectly adjust to the patient, taking reduction of errors and surgery time. These uses are confirmed by studies carried out around the globe by researchers, such as the finding that the use of surgical guides and 3D printed models for surgical planning in veterinary surgeries can reduce the difference in results obtained by experienced and beginners professionals or that lung prostheses created to reduce post-unilateral pneumonectomy dead space are effective and have good practical results. The arrival of this technology in the field of veterinary medicine brings with it a new concept of surgery, more personalized and safer.

Keywords: additive manufacturing; 3D printing; veterinary surgery; veterinary prosthesis; surgical guide

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	7
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	8
2.1. História do desenvolvimento das impressoras em terceira dimensão .....	8
2.2. Processos de impressão 3D .....	10
2.3. Tipos de materiais utilizados na impressão 3D .....	11
2.4. Aplicação da manufatura aditiva na veterinária .....	12
2.4.1. Impressão 3D e Ensino da medicina veterinária .	13
2.4.2. O uso de próteses e implantes criados em tecnologia de impressão 3D.....	16
2.4.3. A vantagem do uso de guias cirúrgicos personalizados criados em 3D .....	23
<b>3. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	27
<b>4. REFERÊNCIA</b> .....	28

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios do início da medicina foi a busca pela visualização interna dos corpos, com o objetivo de melhorar o diagnóstico e tratamento dos pacientes. A descoberta da emissão por raio-x em 1895 por Wilhelm Conrad Roentgen resultou em grande avanço, já que dispensou a necessidade de incisão para visibilização de ossos e alguns órgãos. Após este achado, muitas outras tecnologias surgiram com intuito de reproduzir órgãos ou tecidos internos para auxiliar no planejamento cirúrgico ou confecção de partes substitutivas.

A manufatura aditiva, popularmente conhecida como “impressão em 3D”, foi uma das técnicas que proporcionaram a visibilização de órgãos de forma não invasiva. Diferentemente das outras tecnologias, a manufatura aditiva trouxe a imagem para fora da tela dos aparelhos e diretamente para as mãos dos médicos e médicos veterinários, possibilitando uma ampla gama de aplicações, tais como auxiliar no planejamento de cirurgias e na criação de próteses que se adaptam às necessidades de cada paciente.

A tecnologia 3D iniciou-se na década de 1980, sendo considerada de difícil alcance para a maioria dos profissionais. As impressões em modelos reais (3D) passaram da criação de simples protótipos e modelos para máquinas menores que podem ser instaladas dentro de casa e com programas disponíveis gratuitamente na internet, melhorando significativamente sua acessibilidade.

Atualmente as aplicações da tecnologia de impressão 3D estão mais relacionadas à saúde humana e, tentando-se trazer esta tecnologia para a medicina veterinária, vários pesquisadores têm buscado formas de aplicação nos pacientes veterinários. Buscando identificar a aplicabilidade da impressão 3D na área de cirurgia veterinária, esse trabalho teve como objetivos revisar e compilar artigos científicos relacionados ao uso dessa tecnologia, com ênfase nas áreas de ensino e de planejamento pré-operatório para profissionais e estudantes em medicina veterinária, da aplicação de guias cirúrgicos personalizados para se adaptar às necessidades do cirurgião e do paciente e de próteses moldadas para se adaptar perfeitamente ao paciente.



## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 História do desenvolvimento das impressoras em terceira dimensão (3D)

Charles Hull, fundador da 3D Systems, é considerado o “pai” das impressoras em 3D. Sua primeira patente foi registrada em 1984, com aparelho de estereolitografia (SLA) que utilizava luz ultravioleta para curar o polímero de resina utilizado na criação dos protótipos em 3D. Sua maior dificuldade foram os arquivos do programa de design assistido por computador (CAD) que necessitavam tradução para um formato no qual a impressora 3D conseguisse ler e imprimir, sendo então criado o formato STL (*Stereolithography*) para ser utilizado em todas as impressoras.

Posteriormente, foi criada por Scott Crump (1989) a tecnologia de impressoras por “Modelagem por Fusão e Deposição (FDM)” utilizando material conhecido como acrilonitrila butadieno estireno (ABS). Além disso, o pesquisador fundou a companhia Stratasys, uma das maiores companhias de tecnologia 3D até os dias atuais. Os modelos SLA e FDM permitiram moldar plástico e náilon, porém não era possível criar protótipos com metais. Na segunda metade da década de 1980, na Universidade do Texas, Carl Deckard e Joe Beaman desenvolveram a impressora de impressão 3D com um novo modelo de tecnologia nomeado de “Sinterização Seletiva a Laser (SLS)” que proporcionou a impressão de peças feitas em metais.

A revolução das impressoras 3D como conhecemos atualmente ocorreu em 2005 com o projeto “*Open Source RepRap*” que tinha como intenção fazer com que uma máquina se replicasse por meio da própria impressão 3D (Figura 1).

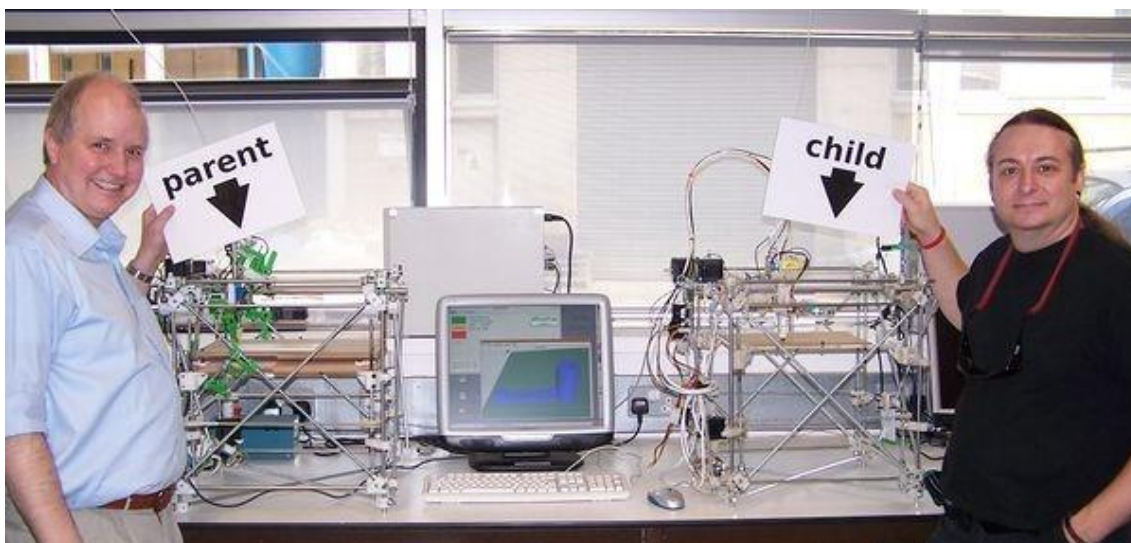


Figura 1 – Impressora 3D RepRap (direita) moldada a partir de outra impressora 3D (esquerda) no projeto “Open Source RepRap”. (Disponível em: <https://reprap.org/wiki/About>)

No início da década de 2000, a tecnologia de impressão 3D começou a ser aplicada no campo da saúde para impressão de implantes e próteses dentárias personalizadas, evoluindo consideravelmente (Noorani, 2017). Atualmente a manufatura aditiva está sendo utilizada em várias situações. Algumas delas serão abordadas mais adiante neste trabalho.

## 2.2 Processos de impressão 3D

Existem diversos tipos de impressoras 3D disponíveis no mercado e uma quantidade ainda maior de materiais, tais como plástico, cera e metais que se encontram em estado líquido ou sólido. Mesmo existindo essa diversidade de impressoras, todas elas seguem os mesmos processos básicos na criação de seus modelos (Noorani, 2017). O primeiro passo base é a criação do modelo CAD que pode ser desenvolvido utilizando um CAD software, tais como o AutoCAD, o *Inventor CAM*, o *SketchUp*, o *SolidWorks* e o *3DS Max* (Gibson et al., 2015; Noorani, 2017). Posteriormente, é necessária a conversão do arquivo CAD para o formato STL que utiliza diferentes algoritmos para representar os objetos sólidos em cada software CAD, fazendo com que o formato STL se torne formato padrão que permite a leitura do arquivo pelas impressoras 3D, moldando-as como triângulos planares e as preparando para os algoritmos de corte (Gibson et al., 2015; Noorani, 2017).

O programa (*software*) “*slicing*”, importa o arquivo STL e permite ao usuário orientar e ajustar o tamanho e espessura de cada camada a ser utilizada para a impressão do objeto, onde a espessura pode variar de 0,01 a 0,07mm, definindo a precisão da impressão do modelo: quanto menor, mais preciso. Esse software também traz suporte para a criação de recursos como cavidades e saliências no objeto e fornece informações sobre o tempo de impressão e o material necessário para o protótipo (Noorani, 2017).

O quarto passo envolve a produção do objeto, que depois de processar e salvar o arquivo STL, ele é enviado para a impressora 3D. Durante esse passo, a máquina constrói o protótipo por camadas, uma de cada vez. Por fim, é realizada a retirada do objeto impresso da impressora, limpeza e acabamento (Gibson et al., 2015; Noorani, 2017).

## 2.3 Tipos de materiais utilizados na impressão 3D

Na impressão 3D, a escolha do material afeta diretamente a forma, a durabilidade e as aplicações dos objetos impressos. Sólidos ou líquidos, os materiais se diferenciam conforme a sua condutividade elétrica e térmica, temperatura de processamento, razão peso-força, entre outras propriedades físicas. Desta forma, é considerável a importância de ponderar o que vai ser impresso, suas características e seu objetivo final (Noorani, 2017).

Dentre os vários tipos de materiais disponíveis, os polímeros são os mais comuns (Noorani, 2017). Eles possuem baixa condutividade elétrica e térmica, uma baixa temperatura de processamento e uma razão peso-força alta, o que faz com que sejam úteis na manufatura aditiva. Além disso, possuem baixa densidade e boa resistência a corrosão por ácidos (Gibson et al., 2015; Noorani, 2017). O Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) e o Ácido Polilático (PLA) são exemplos de polímeros utilizados na impressão 3D (Noorani, 2017). Em contrapartida, os metais são materiais que combinam resistência, tenacidade e usinabilidade, se destacando das cerâmicas, que possuem pouca resistência, e dos polímeros, que não resistem à altas temperaturas (Gibson et al., 2015; Noorani, 2017). Eles são ligas metálicas compostas de dois ou mais elementos e, no mínimo, um elemento metálico. Sua divisão é feita entre metais ferrosos e não-ferrosos (Noorani, 2017).

Entre os metais ferrosos, os mais comuns são o ferro fundido e o aço, e suas propriedades gerais incluem boa resistência, custo relativamente baixo e facilidade de processamento. Já as ligas metálicas não-ferrosas incluem metais como alumínio, titânio e zinco e possuem diversas serventias dependendo do metal utilizado em sua composição (Noorani, 2017).

Entre os materiais, os compósitos são materiais não homogêneos, como misturas de polímeros, cerâmicas e metais. Um compósito é um material que consiste em pelo menos duas fases que são unidas para produzir propriedades superiores em comparação com as propriedades originais. Um exemplo de compósito usado largamente pela indústria é a fibra de carbono, conhecida por sua leveza e excelente razão peso-força (Noorani, 2017).

## **2.4 Aplicação da manufatura aditiva na veterinária**

Existem muitos estudos que descrevem o uso da manufatura aditiva dentro da medicina veterinária. Atualmente seu uso pode ser classificado em três principais categorias que incluem a criação de guias cirúrgicos específicos, a impressão de endo e exoproteses personalizadas e na educação de profissionais e estudantes na técnica e na anatomia cirúrgica. A seguir cada tópico abordará sobre cada uma dessas funcionalidades e usos da impressão 3D na medicina veterinária.

### 2.4.1 Impressão 3D e Ensino da medicina veterinária

Ao tratar do ensino com modelos impressos em 3D, a compatibilidade das dimensões do objeto impresso comparado ao órgão do animal e suas vantagens em relação aos órgãos naturais devem ser ponderadas. Um estudo comparou 14 biomodelos de ossos rádios de cães impressos em 3D pela técnica *fused deposition modeling (FDM)* utilizando imagens de tomografia computadorizada com as medidas mensuradas nos próprios ossos. Sete pontos anatômicos foram utilizados como parâmetro para mensuração, e as medições dos biomodelos foram estatisticamente equivalentes ao seu osso cadavérico correspondente, confirmando a compatibilidade de proporções (Meija, 2019).

Em estudo com metodologia semelhante mensurou 10 pelves de cães comparando os protótipos impressos em 3D e imagens de tomografia computadorizada em reconstrução 3D por meio da utilização da distância entre cinco pontos anatômicos, o que resultou em reprodução fidedigna das dimensões entre os dois métodos (Larguier, 2019).

Tendo confirmado a compatibilidade dos biomodelos com seus respectivos órgãos, questiona-se: qual a vantagem da impressão 3D para o ensino em medicina veterinária?

Pesquisadores desenvolveram modelos anatômicos da articulação femuro-tibio-patelar impressos em 3D para estudo de luxação de patela em cães utilizando o modelo "3D Go! SCAN ®" (Creaform Inc. Lévis, Quebec, Canada). O resultado, ilustrado na figura 2, possibilitou utilizar o modelo para simular diferentes graus de luxação patelar com o objetivo de melhorar o planejamento e treinamento de cirurgias por estudantes e profissionais médicos veterinários (Gaspar & Neto, 2021).

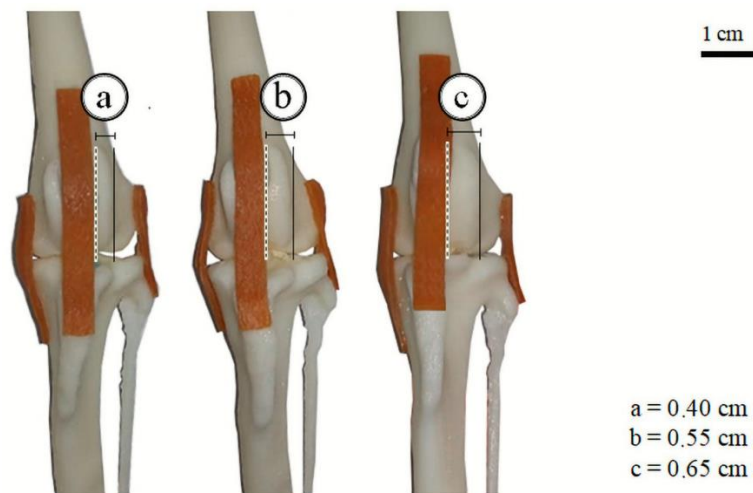


Figura 2 - Modelos criados para estudo de luxação medial da patela. (a) Articulação saudável, sem alterações morfológicas; (b) Articulação com rotação medial da tíbia e sua tuberosidade; (c) Articulação com a tíbia rotacionada associada ao achatamento do sulco troclear e côndilo medial (Gaspar & Neto, 2021).

Além do uso acadêmico, os biomodelos possuem grande utilidade na análise anatômica de algumas estruturas internas. O uso da impressão 3D foi utilizado para localização mais precisa do ducto nasolacrimal obstruído em um cão permitindo ao médico veterinário cirurgião planejar previamente a abordagem cirúrgica, realizar uma simulação cirúrgica no modelo e identificar os instrumentos cirúrgicos mais adequados para a abordagem cirúrgica (Burn, 2020).

Na área de cirurgias orais e maxilofaciais, os modelos em 3D apresentam grande importância para o planejamento cirúrgico. Estudos utilizando a impressão 3D na melhora do planejamento cirúrgico e do treinamento veterinário foram realizados em 28 cães e 4 gatos, construídos a partir de imagens de tomografia computadorizada individualmente. Os modelos de crânios foram impressos em 3D e utilizados pelos pesquisadores para planejamento cirúrgico, treino de técnica por estudantes e residentes, orientação intraoperatória e conscientização dos tutores (Figura 3). Os autores não relatam detalhes sobre o pós-operatório dos animais, mas afirmam que as experiências adquiridas mostraram o benefício da manufatura aditiva em dois pontos: na conscientização e na tranquilização de clientes que não possuem conhecimento médico, aumentando o entendimento da condição do paciente, do tratamento

recomendado e do desfecho desejado da cirurgia, guiando os cirurgiões durante os procedimentos e diminuindo os riscos cirúrgicos devido aos treinos previamente feitos com modelos impressos (Figura 3) em 3D (Winer, 2017).

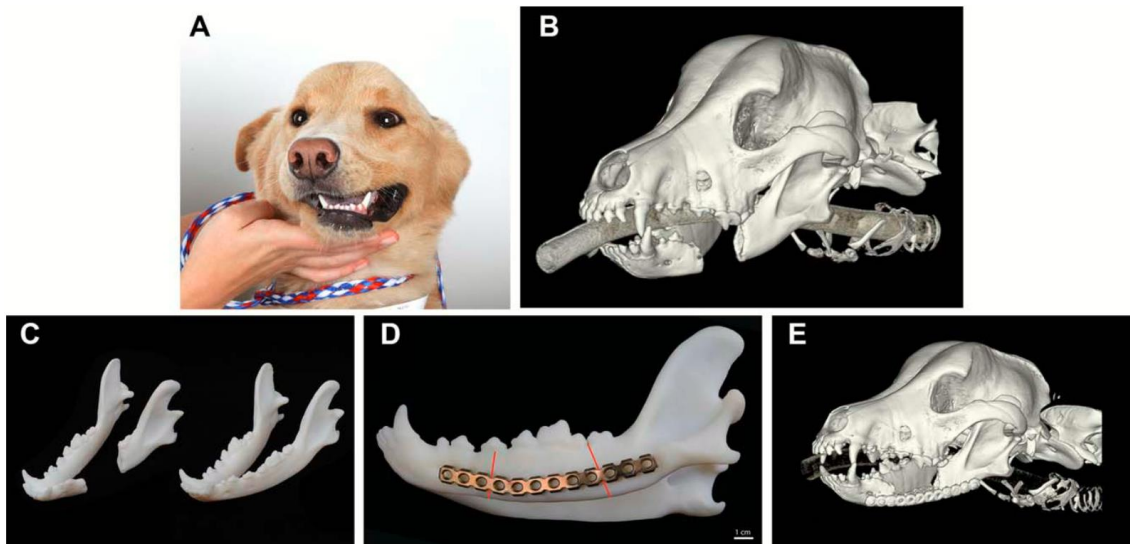


Figura 3 – Processos do planejamento cirúrgico: (a) cão diagnosticado com ameloblastoma acantomatoso; (b) imagem adquirida ao exame de tomografia computadorizada; (c) fotografia dos modelos impressos em 3D. O modelo 3D à direita foi derivado do espelhamento assistido por computador da mandíbula contralateral intacta para simular a anatomia normal; (d) uso do modelo 3D para planejamento cirúrgico; (e) exame de imagem pós-operatório (Winer et al., 2017)



## 2.4.2 O uso de próteses e implantes criados em tecnologia de impressão 3D

As endopróteses são próteses fixas nos tecidos do paciente com a finalidade de preservar uma estrutura corporal acometida por uma anormalidade anatômica, tais como substituição de membros amputados ou articulações com doenças, e com o objetivo de auxiliar na manutenção do bem-estar dos animais.

Um estudo desenvolveu uma endoprótese criada em um software, e denominada de modelo numérico e outra em impressão 3D em titânio com o objetivo substituir o osso do rádio afetado por osteossarcoma canino. Para tanto, o modelo 3D foi criado a partir do osso contralateral de um cadáver canino, onde foi realizada a excisão da neoplasia e substituição pela endoprótese (Figura 4). Os resultados encontrados mostraram que os estudos biomecânicos *ex vivo* (físico) foram similares aos alcançados pelo modelo numérico podendo auxiliar na redução do risco de falha nos implantes (Timercan et al., 2019)

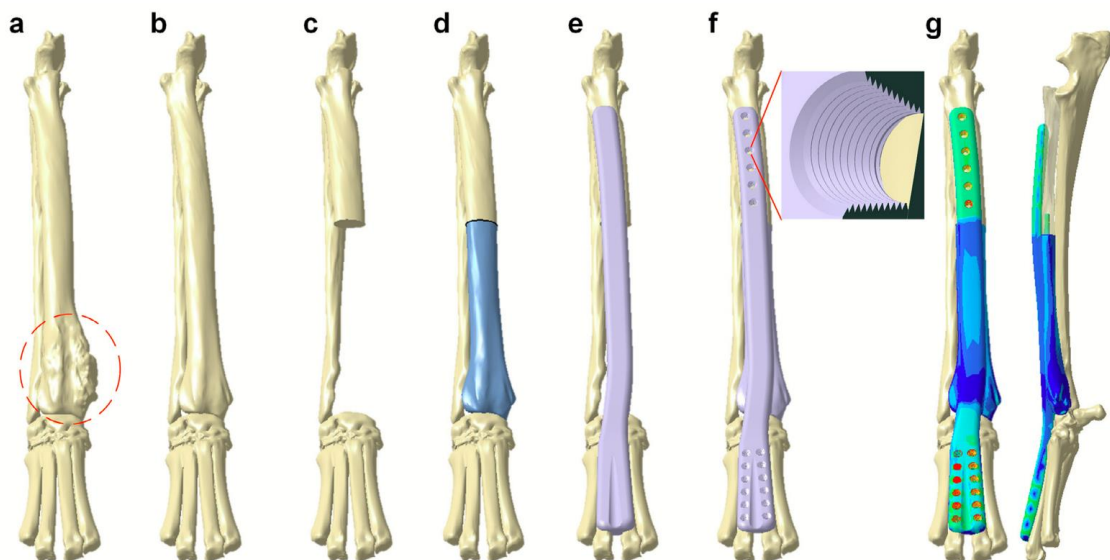


Figura 4 – Processo de criação de prótese para osso rádio em cão. (a) modelo do membro doente; (b) espelhamento e posicionamento do osso contralateral; (c) secção da parte afetada; (d) substituição com a parte contralateral; (e) moldagem da placa; (f) moldagem dos furos; (g) ajustes e verificação da espessura da prótese (Timercan et al., 2019)

Outros estudos semelhantes também propuseram o uso de endopróteses para cirurgias poupadoras de membros em cães diagnosticados com osteossarcoma. Na tentativa de esclarecer esses benefícios, foi realizado um estudo com quatro cães de raças de grande porte, pesando entre 42 kg e 68 kg, diagnosticados com a doença, sendo dois em extremidade distal do rádio, um em extremidade proximal da tíbia e outro em extremidade distal de fêmur. Utilizando imagens obtidas no exame de tomografia computadorizada foram impressas quatro próteses em liga de titânio específicas para cada paciente junto com seus guias cirúrgicos para implantação das próteses. Anteriormente à implantação, as propriedades biomecânicas de cada prótese foram testadas quanto à resistência ao suporte de peso do membro dos animais. Os autores não citam o tempo exato em que os animais foram acompanhados no período pós-operatório, mas relatam que todos os animais voltaram a utilizar o membro operado com resultados funcionais (Popov et al., 2019).

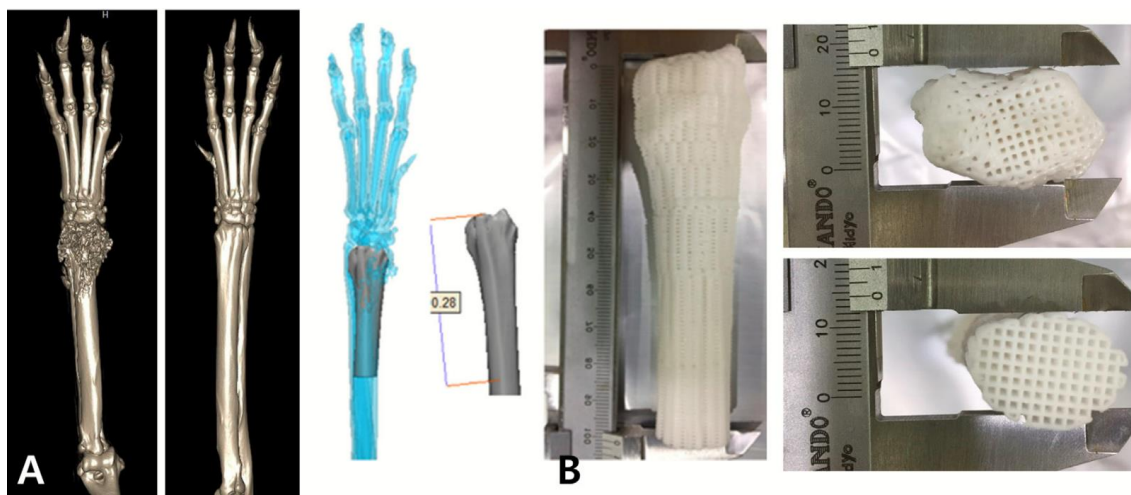


Figura 5 – Processos da criação da prótese. (a) arcabouço projetado usando a imagem de reconstrução 3D da tomografia computadorizado do membro anterior bilateral; (b) arcabouço impresso em 3D (Choi et al., 2019)

Outro uso das endopróteses compreende a criação de uma base para auxiliar o crescimento ósseo. Um estudo utilizou dois tipos materiais associados, o policaprolactona e o beta fosfato tricálcico, para criar um arcabouço com o objetivo de substituir o terço distal de um dos ossos rádios acometidos por osteossarcoma em um cão. Utilizando imagens adquiridas do exame de tomografia computadorizada, a prótese foi criada a partir do membro

contralateral e foi implantada no local da osteotomia (Figura 5). O resultado do estudo mostrou que uma área de sugestiva regeneração óssea foi confirmada entre o rádio proximal e a prótese ao exame radiográfico. O animal foi capaz de sustentar seu peso sobre o membro operado, considerado um resultado satisfatório (Choi et al., 2019).

O uso de um arcabouço impresso em 3D visando substituir parte do osso maxilar acometido por neoformações orais foi reportada em um caso de um cão sem raça definida de 12 anos que apresentava tumor em cavidade oral em região de maxila esquerda identificado pela histopatologia como carcinoma epidermóide. O exame de tomografia computadorizada foi realizado com os objetivos de visibilizar o acometimento ósseo, detecção de possíveis sítios de metástase da neoformação e para moldar a prótese que seria usada como base para o crescimento ósseo. Após a retirada do tumor do osso maxilar esquerdo e da implantação da prótese no local (Figura 6) foi realizado outro exame de tomografia computadorizada de crânio para acompanhamento da evolução do caso e, após sete meses foi possível notar a consolidação óssea (Kim et al., 2018)

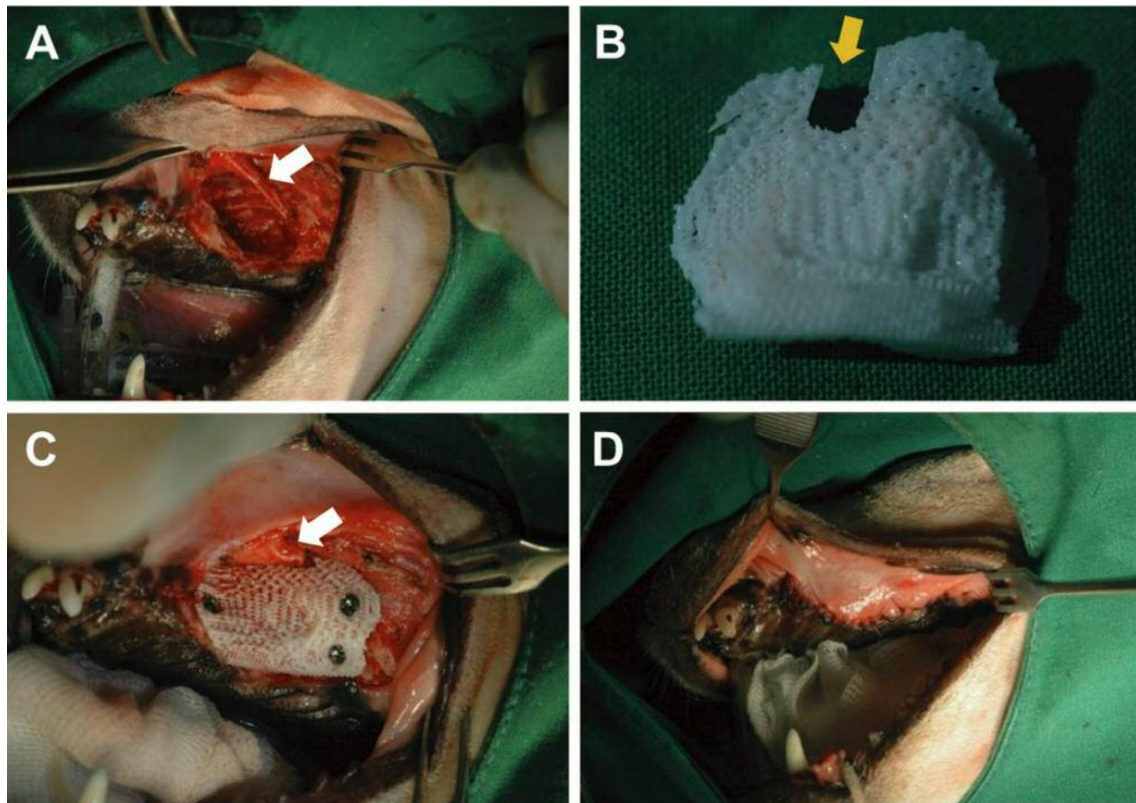


Figura 6 – Procedimento cirúrgico com uso de arcabouço impresso em 3D após remoção de tumor em maxila de cão. (a) após remoção do tumor; (b) arcabouço utilizado; (c) arcabouço fixado na maxila por parafusos; (d) fotografia após cirurgia (Kim et al., 2018).

A impressão em 3D em polietileno foi utilizada experimentalmente para confecção de uma prótese pulmonar pós-pneumectomia total em 48 cães a partir de imagens obtidas de tomografia computadorizada ou ressonância magnética (Figura 7). O objetivo foi tentar prevenir desvios mediastinais e outras complicações tardias com maior eficiência e menor risco em comparação com próteses convencionais, como as feitas de silicone, que podem ser rompidas por cotos de fio cirúrgico de ligaduras brônquicas ou outro conteúdo mediastinal, resultando em extravasamento do conteúdo para a cavidade torácica (Li et al., 2014)

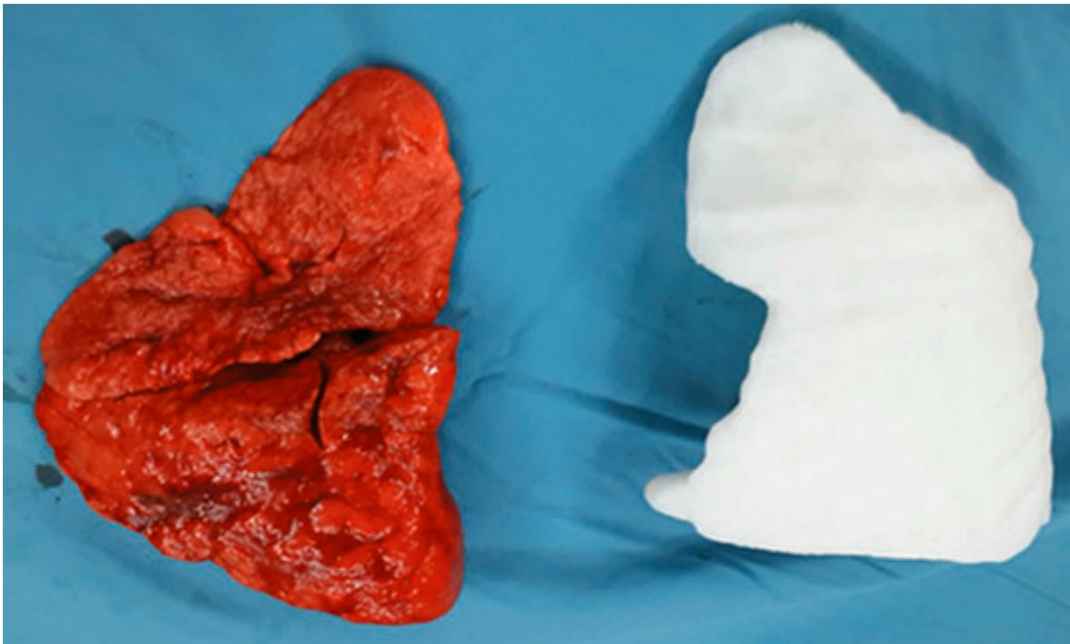


Figura 7 – Prótese de pulmão (direita) impressa em 3D comparada a pulmão retirado do animal (esquerda) (Li et al., 2014).

Após o período de um ano de observação sem ocorrência de óbito entre os animais, sucedeu-se a eutanásia dos cães e foram feitas lâminas histológicas para estudo de seus tecidos intracavitários, tais como tecidos do diafragma, da pleura, do pericárdio e do pulmão contralateral (Figura 8). Os autores concluíram que o material obteve histocompatibilidade adequada e não houveram sinais de rejeição, porém ressaltaram erros de tamanho, tais como em 18 casos onde os pulmões impressos eram menores que os removidos em graus variados (Li et al., 2014).

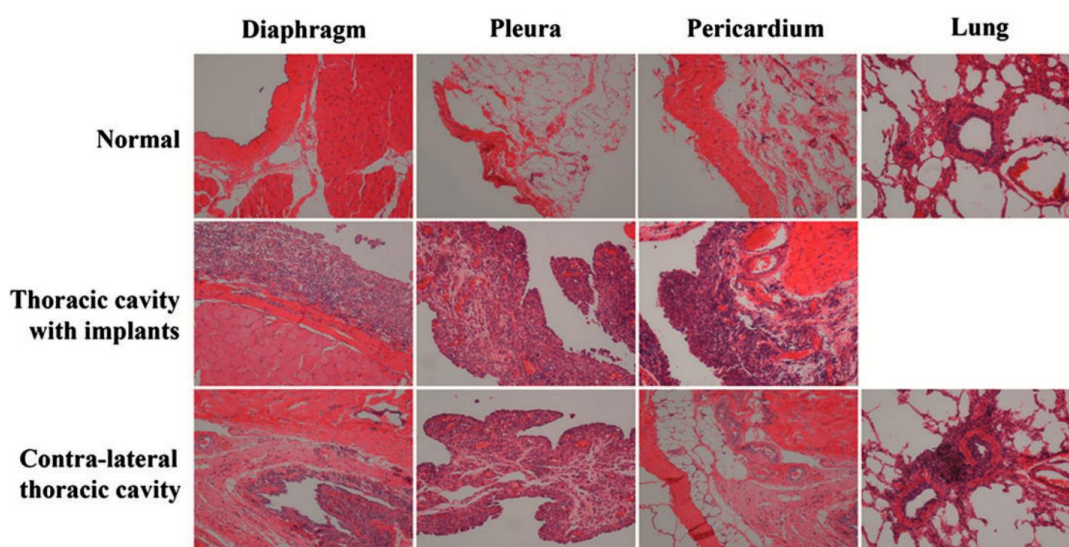


Figura 8 – Estudo histopatológico dos tecidos da cavidade torácica após um ano de observação dos animais em estudo de confecção de prótese pulmonar (Li et al., 2014).

Em diferentes estudos foram testadas próteses para tratamento de cães com displasia coxofemoral impressos em 3D. Em um dos estudos, três cadáveres de cães diagnosticados com displasia coxofemoral bilateral foram utilizados como modelos, sendo realizados os exames de radiografia em projeção ventrodorsal para mensuração do ângulo de Norberg, e de tomografia computadorizada para mensuração da porcentagem de cobertura acetabular da cabeça do fêmur. As próteses foram moldadas em modelo recriado pelas imagens do tomógrafo e seus efeitos foram testados utilizando um *software* de simulação e, em seguir, o implante foi impresso em 3D utilizando uma liga de titânio. Após a implantação da endoprótese no quadril dos animais, testes de subluxação e de falhas biomecânicas no implante foram realizados resultando em aumento da estabilidade da articulação, gerando ângulos de Norberg considerados normais e falha do implante somente sob condições de suporte de peso quatro vezes ao equivalente peso corporal (Willemsen et al., 2021).

No segundo estudo, três cães com displasia coxofemoral bilateral foram utilizados para confecção dos modelos baseadas em imagens de tomografia computadorizada. O lado articular com acometimento mais severo da doença, baseados em exames radiográficos e pelo teste de subluxação, recebeu o implante enquanto a outra articulação do cão foi utilizada como controle (Figura 9). As próteses foram criadas como descrito no estudo anterior. Na avaliação pós-operatória após quatro semanas os cães utilizavam os membros operados normalmente, suportando o peso corporal, reforçando a segurança dos testes biomecânicos utilizados no estudo anterior do mesmo grupo de pesquisadores. Aos seis meses de pós-operatório foi observado melhora estabilidade da articulação atribuída pelos autores à combinação do implante e das mudanças dos tecidos moles ao redor do local (Willemsen et al., 2022).

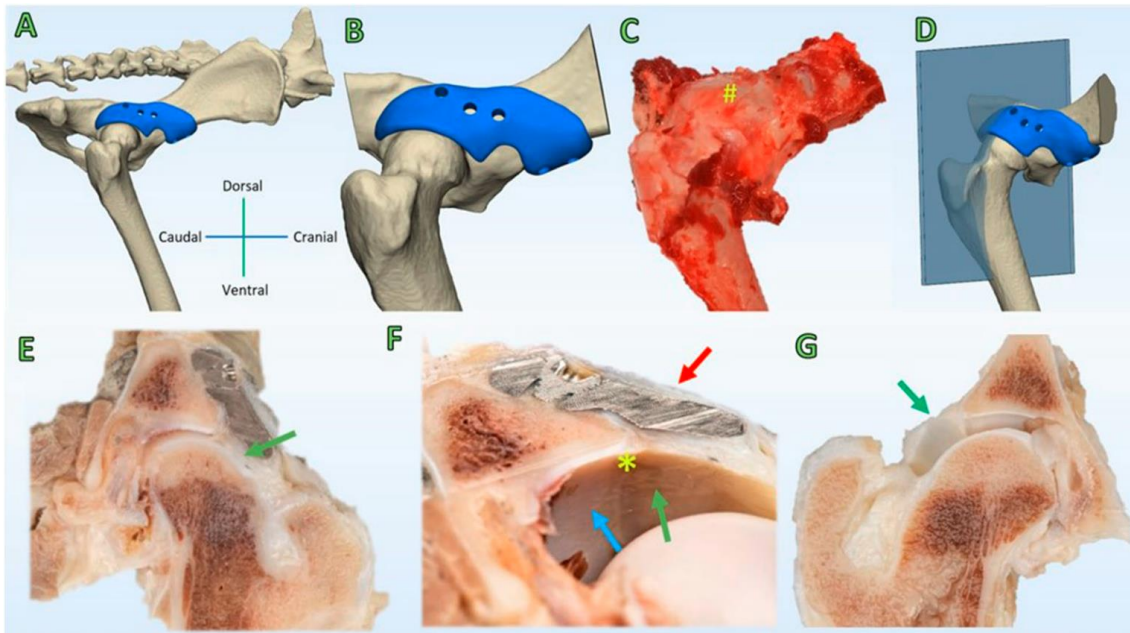


Figura 9 – Estudo cadavérico macroscópico da intervenção em articulação coxofemoral em cão. (a) visão da pelve em exame de tomografia computadorizada; (b) visão geral da intervenção realizada; (c) visão da articulação do quadril com implante *in situ*; (d) visualização do plano de corte em imagem feita em tomografia computadorizada; (e, f) visualização do corte do acetábulo após corte; (g) articulação coxofemoral controle seccionada para comparação (Willemsen et al., 2022).

### 2.4.3 A vantagem do uso de guias cirúrgicos personalizados criados em 3D

O tempo é um fator importante durante o trans-operatório que interfere diretamente na segurança do paciente na cirurgia. Buscando diminuir o tempo cirúrgico e aumentar a precisão dos cirurgiões, os modelos de guias cirúrgicos personalizados impressos em 3D foram desenvolvidos.

Com o fim de comprovar a eficácia dos guias cirúrgicos e o benefício de seu uso durante uma cirurgia, um estudo foi realizado comparando cirurgiões novatos e experientes ao realizarem o procedimento de osteotomia corretiva (Figura 10). Neste estudo, oito cães de diversas raças e portes foram utilizados sendo três operados pelos cirurgiões experientes e cinco pelos cirurgiões novatos. Utilizando imagens retiradas do exame de tomografia computadorizada, os guias foram moldados para se adequar às características anatômicas do osso e impressos em material de ácido polilático. Nos exames pós-operatórios foi constatado que não houveram diferenças significativas da posição dos ossos entre os dois grupos de cirurgiões, suportando a hipótese da eficácia dos guias cirúrgicos personalizados (Rho et al., 2021).

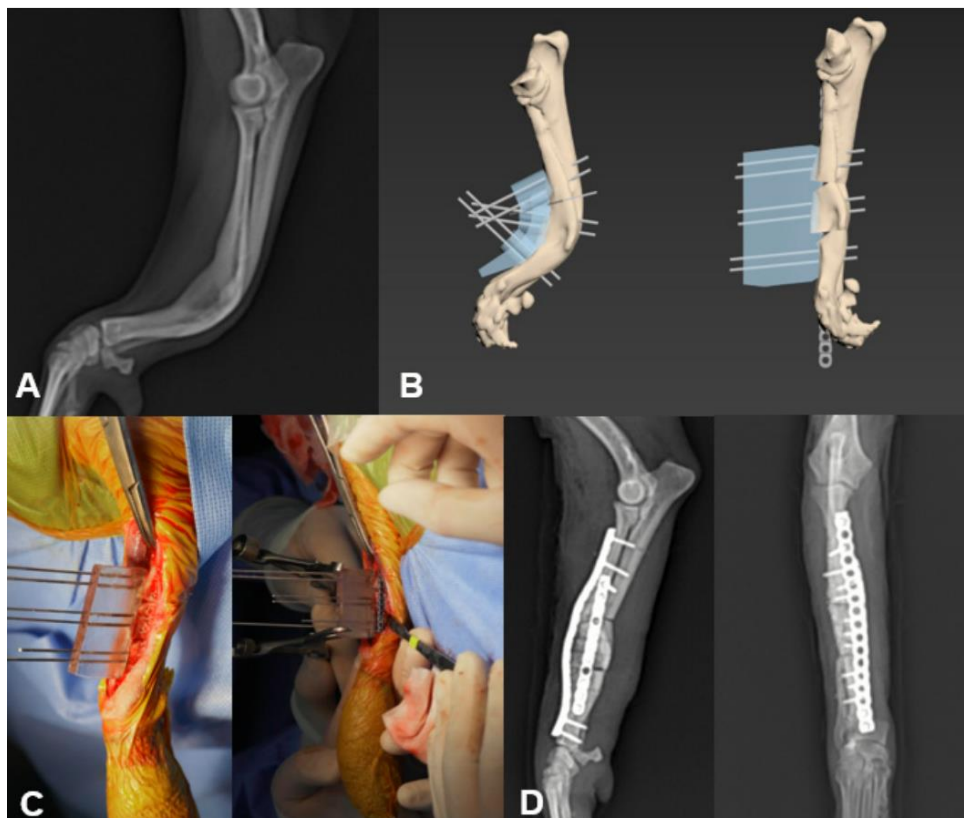




Figura 10 – Aplicação dos guias cirúrgicos personalizados. (a) imagem retirada de exame de tomográfica computadorizada; (b) posicionamento dos fios de Kirschner e guia cirúrgico em modelo pré-osteotomia; (c) aplicação de guia cirúrgico no trans-operatório; (d) radiografias mediolateral e craniocaudal em pós-operatório imediato (Rho et al., 2019).

Em outro estudo, foi estudado a precisão de guias cirúrgicos em osteotomias femorais distais em cães com luxação patelar comparando modelos *in vivo* e nos *ex vivo*. Para os testes *in vivo* nove modelos caninos variando em porte, idade e raça foram utilizados e seus guias foram impressos em resina de metacrilato utilizando os exames de tomografia computadorizada de cada animal para serem implantados na porção cranialateral ou cranial da superfície distal do fêmur de cada paciente. Os modelos *ex vivo* eram os ossos dos pacientes impressos em modelos 3D, onde foram realizadas as cirurgias de osteotomia utilizando os mesmos modelos de guias moldados para as cirurgias dos testes *in vivo*. A conclusão dos autores foi que o uso dos guias cirúrgicos permitiu a correção mais precisa das deformidades femorais tanto nos estudos *in vivo* quanto nos estudos *ex vivo* com diferença pouco significativa de 2º entre os ângulos obtidos nos estudos, atribuída a presença de tecidos moles aderentes à face lateral do côndilo que poderia ter resultado em tendência de sobrecontorno da placa ou no posicionamento impreciso dos guias durante os procedimentos cirúrgicos (Hall et al., 2018).

O uso dos guias cirúrgicos moldados em 3D para osteotomia foi testado para direcionar o corte da serra óssea durante o procedimento de correção de deformidades de sete membros com deformidades antebraquiais de seis cães, sendo dois de raça de grande porte e quatro de raça de pequeno porte. Os guias foram moldados baseados em imagens de tomografia computadorizada e impressos em acrilonitrila butadieno estireno. No trans-operatório, o guia foi posicionado utilizando pinças de redução óssea inseridas em orifícios previamente fabricados no plástico (Figura 11). O tempo cirúrgico foi considerado semelhante à osteotomia convencional com aplicação de fixador esquelético externo, entretanto, a precisão do tamanho e orientação da osteotomia permitiu a fixação interna com correção mais apropriada em cinco dos seis cães com apenas um procedimento cirúrgico, sugerindo-se que a

correção precisa da deformidade rotacional pode ser problemática. Discute-se a precisão dos modelos criados pelo exame de tomografia computadorizada determina a precisão dos modelos e guias impressos em 3D, pois as medidas do processo de impressão são mais fidedígnas do que o efeito médio do *scanner* do tomógrafo e que o maior risco de imprecisão da técnica com o uso da impressão 3D seria durante a correção rotacional devido à diferença entre as imagens obtidas pelo exame de imagem e os ossos dos pacientes (Worth et al., 2019).

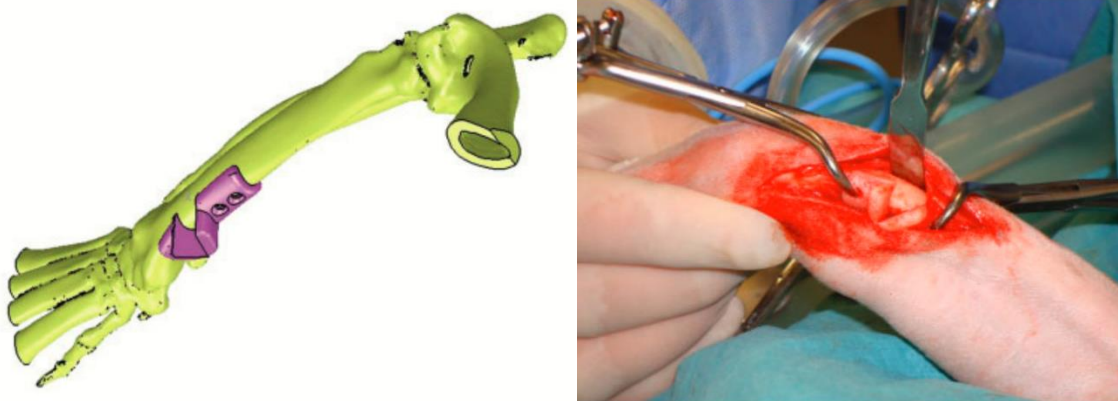


Figura 11 – Modelo de guia de serra ortopédica criada em modelo feito a partir de exame de imagem (esquerda) e uso de mesmo guia cirúrgico impresso em 3D em cirurgia ortopédica (direita) (Worth et al., 2019)

Além do uso em cirurgias ortopédicas, os guias cirúrgicos têm ampla indicação em neurocirurgias. Um estudo avaliou a precisão e a segurança dos guias cirúrgicos nas cirurgias de estabilização das vértebras toracolombares em cães, realizado com três modelos cadavéricos e quatro casos clínicos. Utilizando o exame de tomografia computadorizada para confecção de cada modelo, as trajetórias dos parafusos foram calculadas pelos cirurgiões e então foram criados guias personalizados para a broca ortopédica moldados para perfuração sobre as lâminas das vértebras T12 a L1 (Figura 12). Nos modelos cadavéricos, não houveram diferenças significantes no desvio dos parafusos comparados aos pontos de entrada e saída demarcados anteriormente. Nos casos clínicos, 26 dos 29 parafusos implantados sem penetrarem o canal vertebral e o desvio entre as trajetórias planejadas pré-operatórias e os corredores dos parafusos pós-operatórios dos implantes foi pequeno, não causando lesões à medula,

revelando precisão no método. Além disso, o uso da imagem do exame da tomografia computadorizada na criação dos guias cirúrgicos auxiliou os cirurgiões a evitarem lesão em grandes vasos sanguíneos (Fujioka et al., 2018).

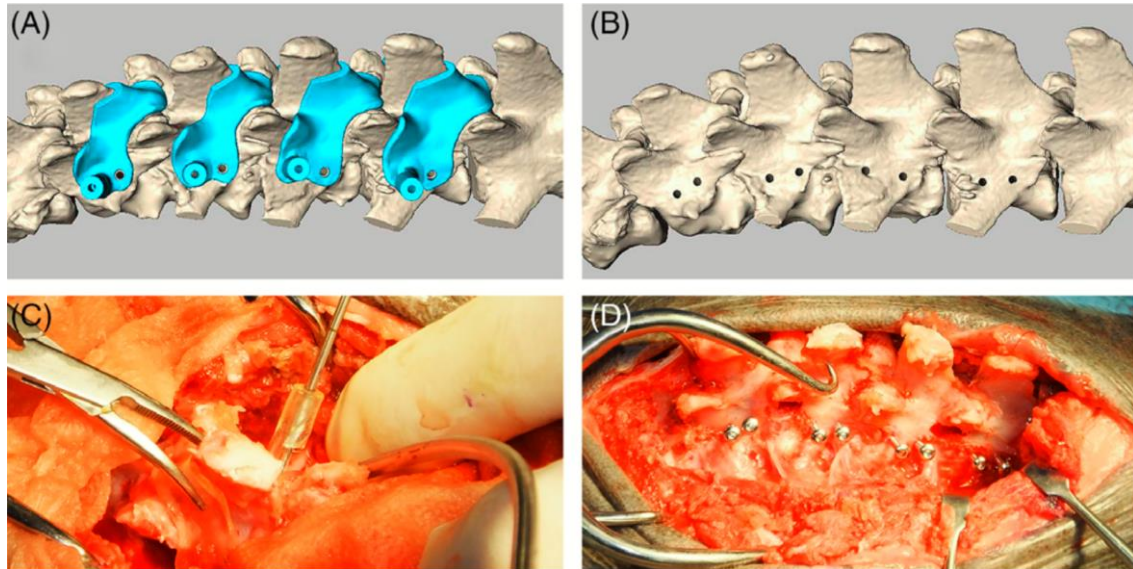


Figura 12 – Criação e uso dos modelos de guias cirúrgicos. (a) Modelagem dos guias cirúrgicos na lâmina das vértebras; (b) simulação do orifício criado pelo uso da broca e dos guias cirúrgicos; (c, d) uso dos guias cirúrgicos e posicionamento dos parafusos durante o período trans-operatório (Fujioka et al., 2019).

### **3. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A tecnologia de impressão 3D pode ser benéfica na cirurgia veterinária, em especial pelas variedades de raças e técnicas nos animais de companhia. Embora os métodos e sistemas precisos para o uso de modelos e guias 3D não tenham sido ainda determinados de forma conclusiva, acredita-se que o sistema de a manufatura aditiva seja útil para planejamento cirúrgico e para cirurgias em cães e gatos, principalmente para cirurgiões iniciantes e cirurgias que requerem maior precisão. Com base nos relatos apresentados, a aplicação da tecnologia de impressão 3D na cirurgia veterinária parece ser viável, resultando em excelente acurácia e poucas complicações trans e pós-operatórias.

#### 4. REFERÊNCIAS

Beer, P. *et al.* Influence of a customized three-dimensionally printed drill guide on the accuracy of pedicle screw placement in lumbosacral vertebrae: An ex vivo study. **Veterinary Surgery**, vol. 49,5, 977-988. Jul. 2020. DOI:10.1111/vsu.13417. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/vsu.13417>

Burn, J. B., *et al.* Use of 3-dimensional printing in surgical exploration of a nasolacrimal duct obstruction in a dog. **The Canadian veterinary journal = La revue veterinaire canadienne**, vol. 61(2), 129–134. Feb. 2020. PMID: PMC6973209. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6973209/>

Carwardine, D. R. *et al.* Three-Dimensional-Printed Patient-Specific Osteotomy Guides, Repositioning Guides and Titanium Plates for Acute Correction of Antebrachial Limb Deformities in Dogs. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**, vol. 34,1, 43–52. Jan. 2021. DOI:10.1055/s-0040-1709702. Disponível em: <https://www.thieme-connect.de/products/ejournals/abstract/10.1055/s-0040-1709702>

Choi, S. *et al.* New clinical application of three-dimensional-printed polycaprolactone/ $\beta$ -tricalcium phosphate scaffold as an alternative to allograft bone for limb-sparing surgery in a dog with distal radial osteosarcoma. **The Journal of veterinary medical science**, vol. 81(3), 434–439. Mar. 2019. DOI: 10.1292/jvms.18-0158. Disponível em: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jvms/81/3/81\\_18-0158/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jvms/81/3/81_18-0158/_article)

Dorbandt, D. M., Joslyn, S. K., & Hamor, R. E. Three-dimensional printing of orbital and peri-orbital masses in three dogs and its potential applications in veterinary ophthalmology. **Veterinary Ophthalmology**, vol. 20(1), 58–64. Jan. 2017. DOI:10.1111/vop.12352. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/vop.12352>

Elford, J. H., Oxley, B., & Behr, S. Accuracy of placement of pedicle screws in the thoracolumbar spine of dogs with spinal deformities with three-dimensionally printed patient-specific drill guides. **Veterinary Surgery**. Vol. 49,2, 347 – 353. Feb. 2020. DOI:10.1111/vsu.13333. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/vsu.13333>

Fujioka, T. *et al.* A novel patient-specific drill guide template for stabilization of thoracolumbar vertebrae of dogs: cadaveric study and clinical cases. **Veterinary Surgery**, vol. 48(3), 336–342. Apr. 2019. DOI:10.1111/vsu.13140. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/vsu.13140>

Gaspar, B. R. & Neto, A. C. Three-dimensional printing educational anatomical model of the patellar luxation in dogs. **PLoS ONE**, vol. 16(7): e0255288, Jul. 2021. DOI: 10.1371/journal.pone.0255288. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0255288>

GIBSON, I., ROSEN, D., STUCKER, B. **Additive manufacturing technologies 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing**. 2. Ed. New York: Editora Springer, 2015.

Hall, E. L., Baines, S., Bilmont, A., & Oxley, B. Accuracy of patient-specific three-dimensional-printed osteotomy and reduction guides for distal femoral osteotomy in dogs with medial patella luxation. **Veterinary Surgery**. Vol. 48,4, 584 – 591. May 2019. DOI:10.1111/vsu.13126. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/vsu.13126>

Kamishina, H. *et al.* Clinical application of 3D printing technology to the surgical treatment of atlantoaxial subluxation in small breed dogs. **PLOS ONE**, vol. 14(5), e0216445. May 2019. DOI:10.1371/journal.pone.0216445. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0216445>

Kim S E. *et al.* Three-Dimensional Printing-based Reconstruction of a Maxillary Bone Defect in a Dog Following Tumor Removal. **In Vivo**, vol. 32(1), 63–70. Jan. – Feb. 2018. DOI: 10.21873/invivo.11205. Disponível em: <https://iv.iarjournals.org/content/32/1/63.abstract>

Larguier, L. *et al.* Accuracy and precision of measurements performed on three-dimensional printed pelvises when compared to computed tomography measurements. **Journal of Veterinary Science**, vol. 20(3), e22. May 2019. DOI:10.4142/jvs.2019.20.e22. Disponível em: <https://vetsci.org/DOIx.php?id=10.4142/jvs.2019.20.e22>

Li, X. *et al.* Prevention of late postpneumonectomy complications using a 3D printed lung in dog models. **European Journal of Cardio-Thoracic Surgery**, vol. 46(5), e67–e73. Nov. 2014. DOI:10.1093/ejcts/ezu296. Disponível em: <https://academic.oup.com/ejcts/article/46/5/e67/2755317?login=false>

Mattioli, G., Zanfabro, M., Bonazzi, M., & Martano, M. Use of a customized 3D-printed external splint for the correction of a severe pectus excavatum in a 3-month-old kitten. **Open veterinary journal**, vol. 12(1), 148–155. Jan. – Feb. 2022. DOI: 10.5455/OVJ.2022.v12.i1.18. Disponível em: <https://www.ejmanager.com/mnstemps/100/100-1630341414.pdf?t=1651088437>

Mejia, S., Stewart, N., Miller, A., Savicky, R., Monarski, C., Moore, G. E., & Keith, D. Accuracy of external measurements of 3-dimensional (3D) printed biomodels of the canine radius used in an in-hospital setting. **Canadian journal of veterinary research = Revue canadienne de recherche veterinaire**, vol. 83(3), 181–186. Jul. 2019. PMID: PMC6587886. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6587886/>

Noorani, Rafiq. **3D Printing: Tecnology, Applications, and Selection**. New York: CRC Press, 2018.

Parr, W. *et al.* Development of a Customized Interbody Fusion Device for Treatment of Canine Disc-Associated Cervical Spondylomyelopathy. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**, vol. 32(01), 079–086. Jan. 2019. DOI:10.1055/s-0038-1676075. Disponível em: <https://www.thieme-connect.de/products/ejournals/abstract/10.1055/s-0038-1676075>

Plyusnin, A. *et al.* Biological response to an experimental implant for tibial tuberosity advancement in dogs: A pre-clinical study. **Research in Veterinary Science**, vol. 128, 183 – 196. Feb. 2020. DOI:10.1016/j.rvsc.2019.12.003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034528819307544?via%3Dihub>

Popov, V. V. *et al.* Additive manufacturing to veterinary practice: recovery of bony defects after the osteosarcoma resection in canines. **Biomedical Engineering Letters**, vol. 9(1), 97 – 108. Jan. 2019. DOI:10.1007/s13534-018-00092-7. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13534-018-00092-7>

Rho, Y. H. *et al.* Comparison between Novice and Experienced Surgeons Performing Corrective Osteotomy with Patient-Specific Guides in Dogs Based on Resulting Position Accuracy. **Veterinary Sciences**, vol. 8(3), 40. Feb. 2021. DOI:10.3390/vetsci8030040. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2306-7381/8/3/40>

Tanzer, M. *et al.* Characterization of bone ingrowth and interface mechanics of a new porous 3D printed biomaterial. **The Bone & Joint Journal**, vol. 101-B(6\_Supple\_B), 62–67. Jun. 2019. DOI: 10.1302/0301-620X.101B6.BJJ-2018-1472.R1. Disponível em: <https://online.boneandjoint.org.uk/doi/abs/10.1302/0301-620X.101B6.BJJ-2018-1472.R1>

Timercan, A., Brailovski, V., Petit, Y., Lussier, B., & Séguin, B. (2019). Personalized 3D-printed endoprotheses for limb sparing in dogs: Modeling and in vitro testing. **Medical Engineering & Physics**. Vol. 71, 17 – 29. Sep. 2019. DOI:10.1016/j.medengphy.2019.07.005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350453319301328?via%3Dihub>

Toni, C., Oxley, B., Clarke, S., & Behr, S. (2020). 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**, Vol. 34(1), 53 – 58. Jan. 2021. DOI:10.1055/s-0040-1716840. Disponível em: <https://www.thieme-connect.de/products/ejournals/abstract/10.1055/s-0040-1716840>

Willemsen K. *et al.* Patient-specific 3D-printed shelf implant for the treatment of hip dysplasia tested in an experimental animal pilot in canines. **Scientific reports**, vol. 12(1), 3032. Feb. 2021. DOI: 10.1038/s41598-022-06989-9. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jor.25133>

Willemsen, K. *et al.* Patient-specific 3D-printed shelf implant for the treatment of hip dysplasia: Anatomical and biomechanical outcomes in a canine model. **Journal of Orthopaedic Research**. Vol. 40(5), 1154 – 1162. May 2022. DOI:10.1002/jor.25133. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jor.25133>

Winer, J. N. *et al.* The application of 3-dimensional printing for preoperative planning in oral and maxillofacial surgery in dogs and cats. **Veterinary Surgery**,



vol. 46(7), 942–951. Oct. 2017. DOI:10.1111/vsu.12683. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/vsu.12683>

Worth, A., Crosse, K., & Kersley, A. Computer-Assisted Surgery Using 3D Printed Saw Guides for Acute Correction of Antebrachial Angular Limb Deformities in Dogs. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**, vol. 32(3), 241 – 249. DOI:10.1055/s-0039-1678701. Disponível em: <https://www.thieme-connect.de/products/ejournals/abstract/10.1055/s-0039-1678701>