



CENTRO DE ENSINO UNIFICADO DE BRASÍLIA - CEUB
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO E SAÚDE - FACES

PEDRO HENRIQUE SOARES DE SOUZA DA SILVA

IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL DE JOELHO CANINO

Brasília

2022

PEDRO HENRIQUE SOARES DE SOUZA DA SILVA

IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL DE JOELHO CANINO

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

Brasília

2022

PEDRO HENRIQUE SOARES DE SOUZA DA SILVA

IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL DE JOELHO CANINO

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

Brasília, 28 de junho de 2022.

Banca examinadora

Prof. Me. Bruno Alvarenga dos Santos
Orientador

Prof^ª. Dra. Francislete Rodrigues Melo

Prof. Dr. Carlos Alberto da Cruz Júnior

IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL DE JOELHO CANINO

Pedro Henrique Soares de Souza da Silva

Resumo

A maior dificuldade no ensino de anatomia nos cursos de saúde atualmente é a realização das aulas práticas da matéria, principalmente pela dificuldade em adquirir, preparar e manter peças anatômicas naturais, que são frágeis e/ou escassas ou no emprego de manequins simuladores, que possuem preços elevados e proibitivos. Uma alternativa promissora para solucionar essa dificuldade, é a utilização da impressão tridimensional (3D), que é capaz de reproduzir estruturas anatômicas com alta fidelidade e tem se tornado uma tecnologia mais acessível nos últimos anos. O objetivo deste trabalho foi confeccionar um modelo anatômico de um joelho canino através da utilização de uma tomografia computadorizada (TC) e de imagens tridimensionais e bidimensionais disponíveis na internet. Foi possível confeccionar dois modelos anatômicos diferentes impressos com filamento de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) em uma impressora de modelagem por fusão e deposição em camadas (FDM), que se demonstraram satisfatórios, principalmente em relação ao baixo custo necessário para produzi-los.

Palavras-Chave: Prototipagem. Articulação femorotibial. Peça anatômica.

1. INTRODUÇÃO

O ensino da anatomia é uma das bases dos cursos da área da saúde, o estudo dessa matéria além de teórico, necessita da prática com as estruturas animais para aplicação do conhecimento, independente da modalidade descritiva, topográfica ou cirúrgica da matéria. Porém, nem todas as instituições de ensino possuem fácil acesso a peças anatômicas, devido ao custo de aquisição, dificuldade no preparo e manutenção. Geralmente as peças são conservadas em formol, sendo escassas e frágeis, o que limita a manipulação, principalmente de tecidos moles, que sofrem alterações na coloração e textura devido aos produtos utilizados. Dessa forma, o ensino de anatomia nas universidades requer uma modernização (BARTIKIAN *et al.*, 2019; MASSARI, 2020; SOUZA & SPERCOSKI, 2014)

Uma alternativa empregada para o estudo das estruturas sem o uso de cadáveres, é a utilização de imagens tridimensionais (3D) em softwares, nos quais é possível realizar revisões anatômicas e praticar habilidades cirúrgicas, porém, mesmo com a interação com as estruturas, a percepção e o entendimento da relação espacial entre as superfícies são limitadas pelo monitor bidimensional onde são vistas (BARTIKIAN *et al.*, 2019). Modelos realistas, como manequins de simulação, também são utilizados, mas o custo é elevado, tornando-os raros nas instituições de ensino. A prática influencia diretamente na habilidade e confiança do estudante em realizar um procedimento em um paciente real, assim como o sucesso de procedimentos cirúrgicos dependem dos treinamentos prévios e experiências práticas do médico responsável (PIRES; PAYO; MARCOS, 2022; GANGULI *et al.*, 2018)

Com o intuito de reduzir o custo e ainda assim ofertar a prática, a impressão 3D torna-se uma opção viável. A flexibilidade dessa técnica é o principal motivo para sua

utilização, onde o tempo de fabricação depende da forma de impressão, do tamanho e da complexidade do objeto, porém, ainda é menor do que outras técnicas para a obtenção de modelos anatômicos. (GANGULI *et al.*, 2018)

A impressão 3D ou manufatura aditiva começou a ser pesquisada no final da década de 70 e começo dos anos 80 por Charles Hull. Considerado o pioneiro da área e desenvolvedor da estereolitografia (SLA), técnica que utiliza resinas que são polimerizadas através da luz ultravioleta. Em 1986, Carl Deckard desenvolveu a *selective laser sintering*, que utiliza laser para fundir o pó criando um objeto. Em 1989, outra patente foi criada por Scott e Lisa Crump, onde o processo envolvia o aquecimento e extrusão de polímeros na impressão, a modelagem por fusão e deposição em camadas (FDM), onde o filamento entra na impressora e é aquecido até sair pelo bico extrusor, dessa forma, a parte por onde sai o filamento se move sobre uma base, depositando o material camada por camada, que pode necessitar da utilização de suportes durante a impressão, para que as estruturas permaneçam no lugar. A espessura das camadas, quantidade de suportes e preenchimento do objeto influenciam diretamente no tempo e quantidade de material utilizados na impressão. Essa é a técnica de impressão mais utilizada atualmente, devido ao custo benefício. Para esse tipo de impressora, os filamentos mais comuns são o acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) e o ácido polilático (PLA), que podem ser encontrados em diversas cores (WILHITE; WOLFEL, 2019; VAZ; KUMAR, 2021).

A aplicação da impressão 3D tem crescido na medicina, tanto humana quanto veterinária, principalmente na área de ortopedia, para produção de biomodelos, implantes complexos e guias cirúrgicos (HALEEM *et al.*, 2019; BERTTI *et al.*, 2020). Melhorias significativas utilizando essa tecnologia, como a redução no tempo do procedimento, foram observadas em cirurgias que apresentam maior desafio para o cirurgião, como fraturas com fragmentações ou deformidades ósseas, que podem necessitar de ferramentas e/ou implantes customizados para redução da fratura, fixação de placas e estabilização da trajetória da broca (TACK *et al.*, 2016; GANGULI *et al.*, 2021).

Na rotina clínica ortopédica, as alterações mais comuns encontradas nos pacientes ocorrem nos joelhos, que podem ser justificadas devido à complexidade da articulação, que é classificada como diartrose, por ser encapsulada e possuir líquido sinovial (FRANÇA, 2020). Também chamada de articulação femorotibial ou femorotibiopatelar, é formada pela parte distal do fêmur que possui côndilos arredondados e parte proximal da tíbia, uma região quase plana, denominada platô. Entre os côndilos femorais e platô tibial, existem os meniscos, que são estruturas cartilaginosas que auxiliam na estabilidade e rotação do joelho. O joelho é estabilizado por seis ligamentos: cruzado cranial, cruzado caudal, colateral medial, colateral lateral, femoropatelar e ligamento patelar (DIOGO, 2018; WANG *et al.*, 2020).

Nessas estruturas, uma alteração de grande prevalência é a luxação patelar, que atinge principalmente os cães de raças pequenas. Essa alteração é caracterizada pelo desvio da trajetória da patela no sulco troclear, que pode ser medial ou lateral e ocorrer de forma unilateral ou bilateral. Geralmente se apresenta de forma congênita, sendo relacionada a modificações no ângulo do colo femoral, fêmur distal e tíbia proximal (OLIVEIRA, 2019). Essa enfermidade pode ser observada no paciente utilizado para a produção da peça anatômica através da tomografia computadorizada (TC) neste trabalho.

Devido a importância dessa articulação, o emprego de peças anatômicas que a representam, possui diversas vantagens, como: elucidar abordagens clínicas e cirúrgicas de pacientes à seus tutores, o estudo de suas estruturas por alunos de veterinária nas aulas de anatomia e técnicas cirúrgicas, e principalmente para o treinamento e definição

de abordagens de procedimentos cirúrgicos, respeitando os princípios de bem estar e bioética, possibilitando reduzir a utilização de animais na aprendizagem (SOUZA *et al.*, 2012; HALEEM, 2019). Isto posto, esse artigo tem o objetivo de produzir e avaliar a viabilidade econômica e a fidelidade do uso da impressão 3D na obtenção de um modelo anatômico da articulação femorotibial canina.

2. METODOLOGIA

2.1 OBTENÇÃO DAS IMAGENS

As imagens utilizadas neste trabalho foram obtidas em uma tomografia computadorizada (TC) fornecida por um centro veterinário de diagnóstico por imagem do Distrito Federal e através de um modelo educacional criado pela St. George's University disponível na internet.

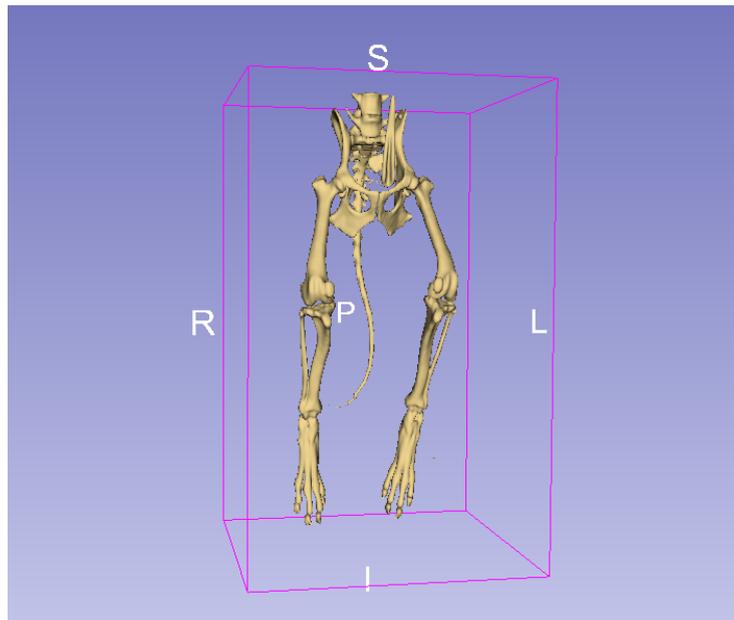
2.2 PRODUÇÃO DO JOELHO A PARTIR DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

Para a fabricação da peça gerada através da TC, foi utilizado o exame de um animal macho sem raça e porte definidos. O arquivo foi recebido em formato DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*), e possuía todas as estruturas anatômicas desde a região abdominal até os membros pélvicos do animal. O paciente apresentava luxação medial da patela nos dois membros pélvicos, e foi escolhido aleatoriamente o joelho direito para produção da peça anatômica.

Para leitura dos arquivos, foi utilizado o *Software* 3D SLICER® na versão 4.11.20210226 para Windows. No programa, através da aba de segmentações, foi utilizada a ferramenta Threshold, que através da densidade/intensidade do volume principal, permitiu definir quais as principais estruturas que seriam utilizadas para gerar a primeira imagem 3D, onde foi visualizado os ossos e vestígios de algumas estruturas como vasos e outros tecidos (Figura 1). Utilizando a ferramenta tesoura, de forma manual, todas as estruturas que não seriam utilizadas foram excluídas e foi possível dar acabamento em partes menos definidas dos ossos fêmur, tíbia e fíbula. (Figura 2).

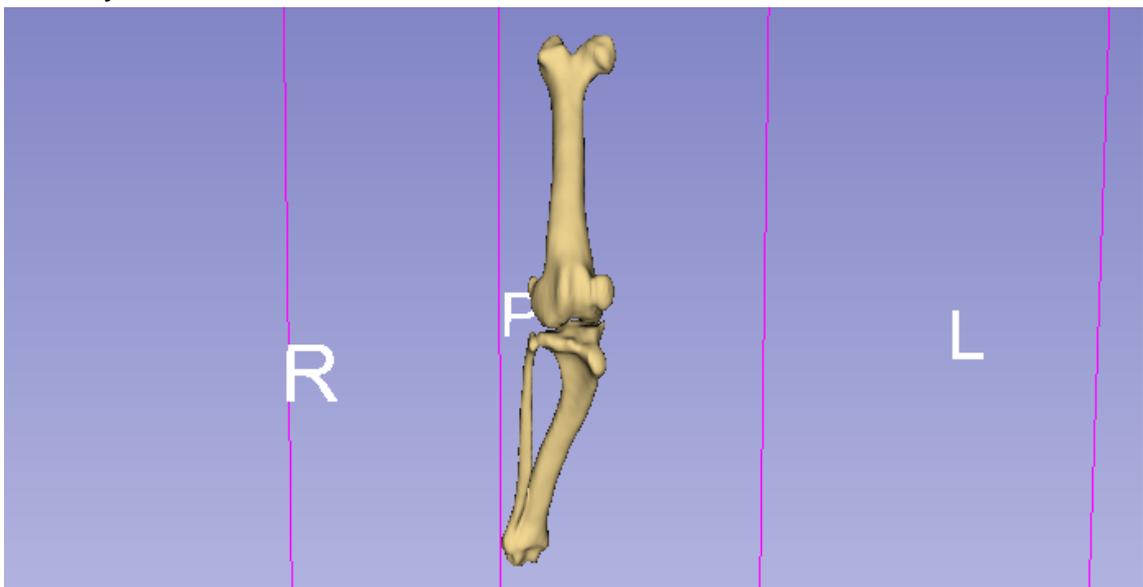
Após finalizado o arquivo com as estruturas desejadas, no próprio programa, foi possível exportar o arquivo em formato *Standard Tessellation Language* (STL) para que esse fosse reconhecido pela impressora.

Figura 1: Vista ventrodorsal de imagem 3D do esqueleto obtida através de TC.



Fonte: Arquivo pessoal, 2022

Figura 2: Vista craniocaudal da articulação femorotibial após processamento e isolamento das estruturas indesejadas

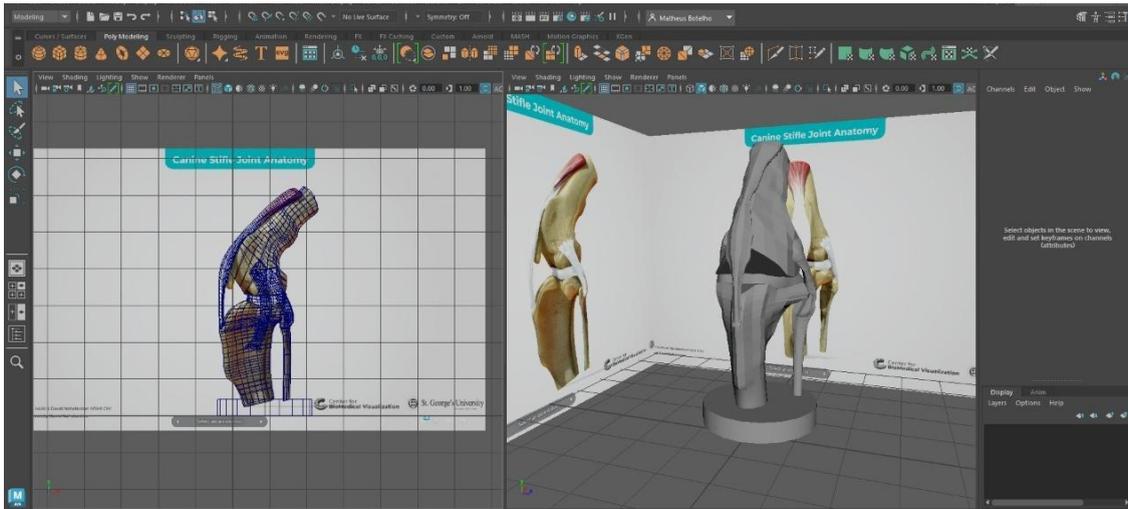


Fonte: Arquivo pessoal, 2022

2.3 PRODUÇÃO DO JOELHO A PARTIR DE MODELAGEM

Para a produção por meio da modelagem, foi utilizado um modelo educacional de um joelho esquerdo de um cão hígido, criado pela St. George's University disponível na internet como referência para a modelagem da peça anatômica. Através do *software* Autodesk® Maya®, utilizando sobreposição e comparação das estruturas, foram desenhadas a parte distal do fêmur, o tendão do quadríceps, os ligamentos: patelar, colateral medial e colateral lateral, os meniscos e a parte proximal da tíbia e fíbula. (Figura 3)

Figura 3: Modelagem da peça anatômica no software Autodesk® Maya®

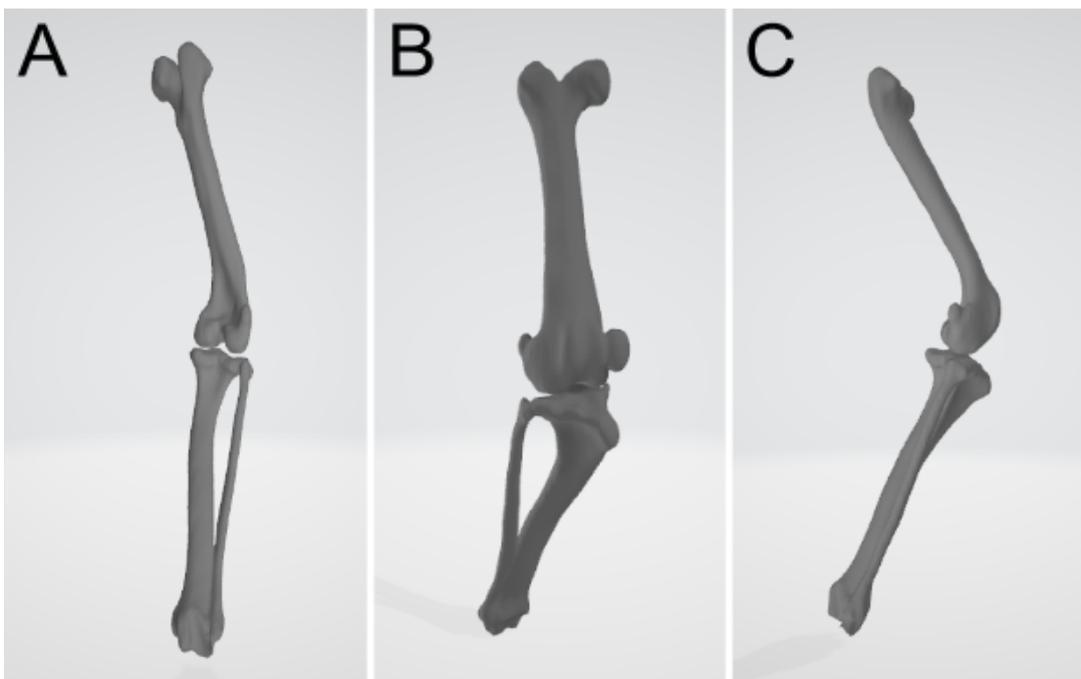


Fonte: Matheus Botelho, 2022

2.4 IMPRESSÃO DAS PEÇAS

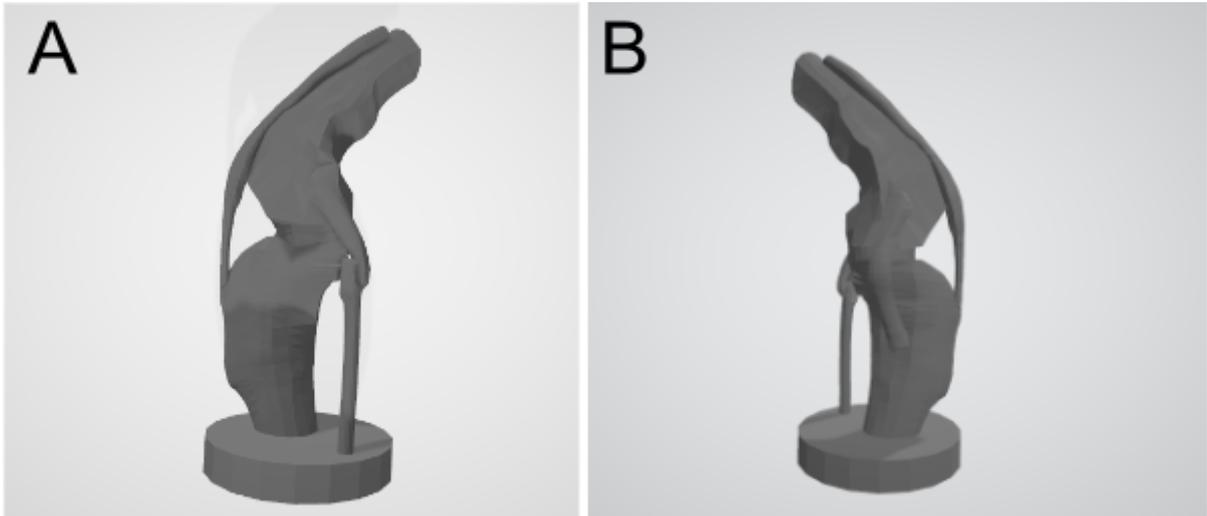
Os arquivos STL finalizados (figuras 4 e 5), foram exportados para o software Simplify3D® versão 4.1 para Windows, onde foi realizado o fatiamento das estruturas, a definição da espessura da camada de impressão em 0,15mm, o posicionamento da peça e dos suportes na mesa de impressão, o preenchimento (*infill*) da peça e dos suportes em 20% e o tamanho em polegadas do produto final. O arquivo foi transferido para um cartão de memória micro SD e inserido na impressora.

Figura 4: Prints do arquivo STL dos ossos fêmur, tíbia, fíbula e patela gerados através de TC - **A:** vista caudal, **B:** vista cranial e **C:** vista latero medial



Fonte: Arquivo pessoal, 2022

Figura 5: Print do arquivo STL do joelho gerado a partir de modelagem - **A:** vista lateral e **B:** vista medial



Fonte: Arquivo pessoal, 2022

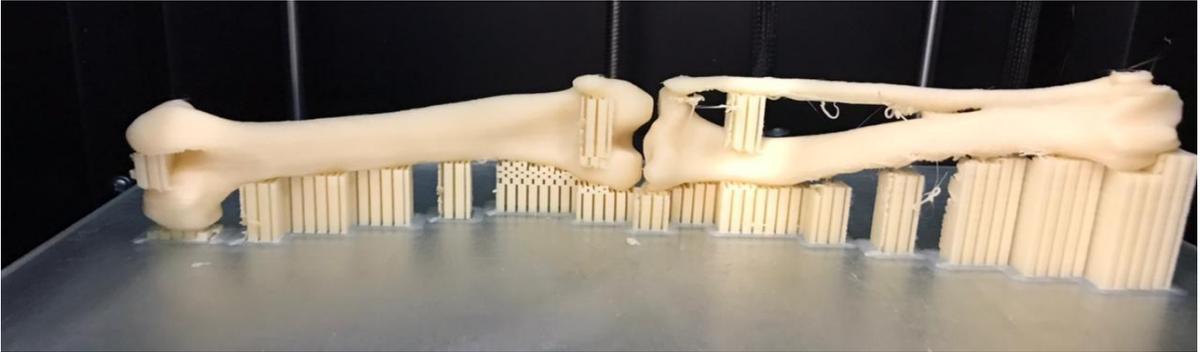
A impressora utilizada foi a GTmaX 3D - Core H4 (figura 6), nela definimos a temperatura da extrusora em 200°C e 90°C na mesa que recebe o material. Para que a base do objeto não se soltasse da mesa durante o processo, foi utilizado um adesivo líquido para impressão FDM. O filamento escolhido para fabricação foi o ABS de 1,75mm de diâmetro de cor branca, para maior fidelidade visual (figura 7).

Figura 6: Impressora 3D GTmaX 3D - Core H4



Fonte: Arquivo pessoal, 2022.

Figura 7: Final da impressão da peça gerada através de TC com os suportes

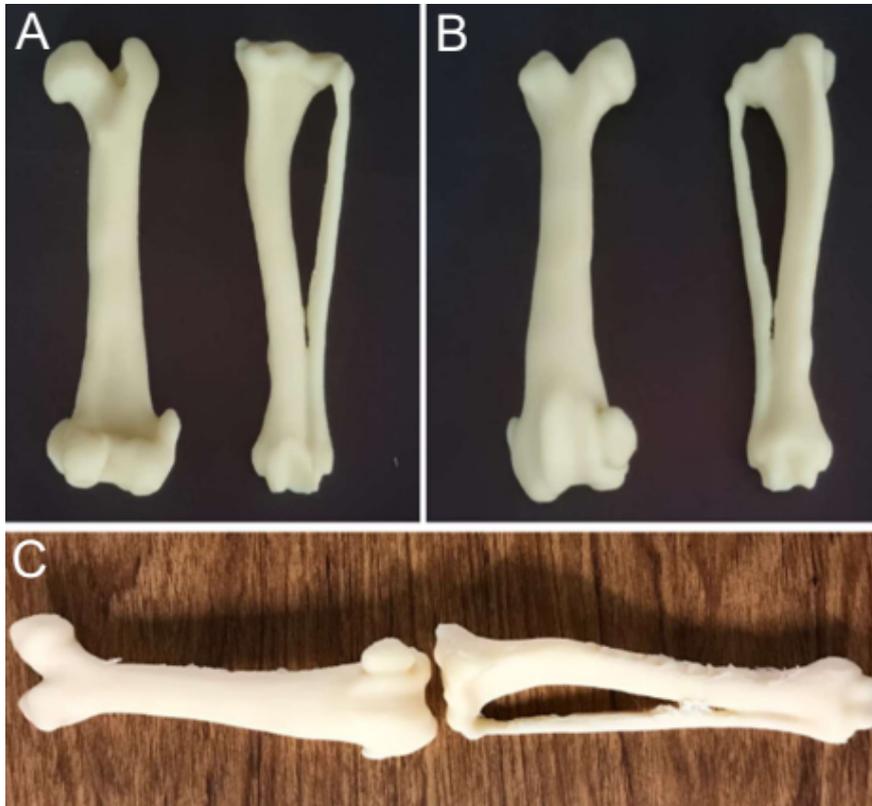


Fonte: Arquivo pessoal, 2022

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi possível obter através da impressão 3D, um joelho canino direito dividido em 2 partes gerado através da prototipagem rápida de uma TC (figura 8), pesando 50 gramas e com 27 centímetros de comprimento quando posicionado na forma anatômica (figura 8 C), que levou 3 horas para criação do arquivo STL e 5 horas para impressão, e um joelho canino obtido através da modelagem em software, pesando 81 gramas e com 16 centímetros de altura, que levou em média 11 horas para modelagem e 6 horas para impressão (figura 9)

Figura 8: Ossos impressos gerados a partir de TC - **A:** vista caudal, **B:** vista cranial, **C:** vista cranial das peças antes do ligamento.



Fonte: Arquivo pessoal, 2022

Figura 9: Modelo produzido através de modelagem. **A:** vista cranial, **B:** vista caudal, **C:** vista medial e **D:** vista lateral.



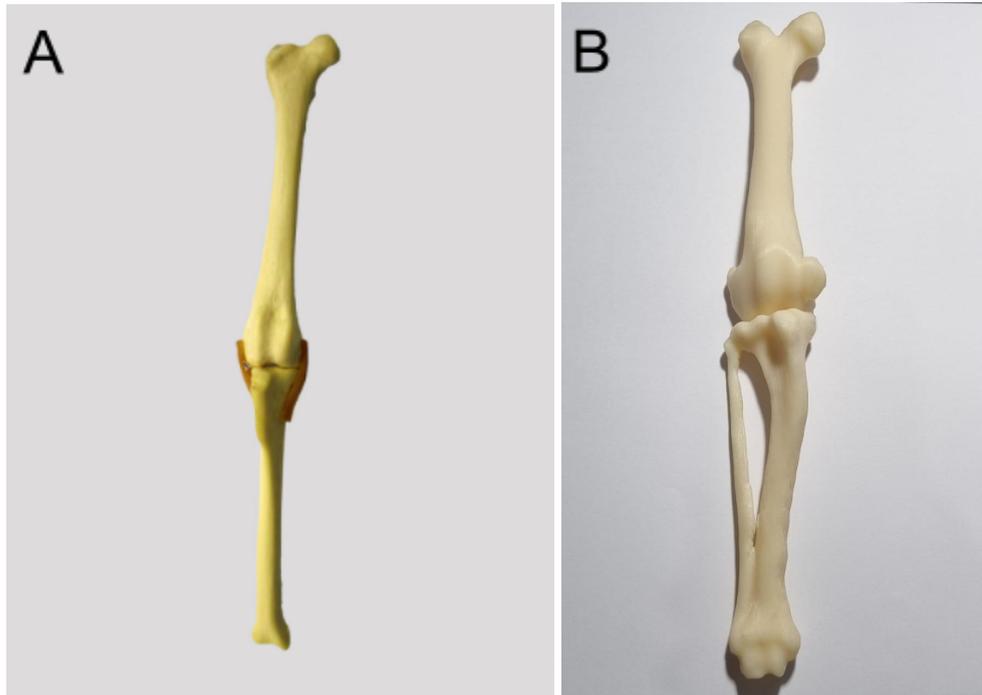
Fonte: Arquivo pessoal, 2022

Entre as 2 formas de gerar a peça anatômica, a utilização da TC na obtenção do arquivo STL demonstrou-se mais eficiente em economia de tempo e fidelidade as estruturas da imagem utilizada como referência, o que vai de acordo com a literatura, que afirma que impressões 3D realizadas a partir de exames de imagem possuem maior fidelidade as estruturas e podem ser produzidas em poucas horas (TACK *et al.*, 2016. ZAMBORSKY *et al.*, 2019), porém o tempo final para ambas as técnicas, pode ser reduzido com o aprimoramento das habilidades no uso dos *softwares*.

A impressora utilizada permite usar o mínimo de 0,05mm de espessura entre as camadas, entretanto, as peças foram impressas utilizando 0,15mm. Uma menor espessura permite demonstrar maiores detalhes, o que aumenta o tempo necessário para a impressão mas não altera a quantidade de material utilizado, porém não seria notada diferença nesse caso já que a tomografia utilizada foi realizada em uma máquina com média resolução de imagem. O que é reforçado pela literatura, que demonstra que o nível de detalhes depende da qualidade da imagem a ser utilizada como referência. (WILHITE; WOLFEL 2019. BARTIKIAN *et al.*, 2019)

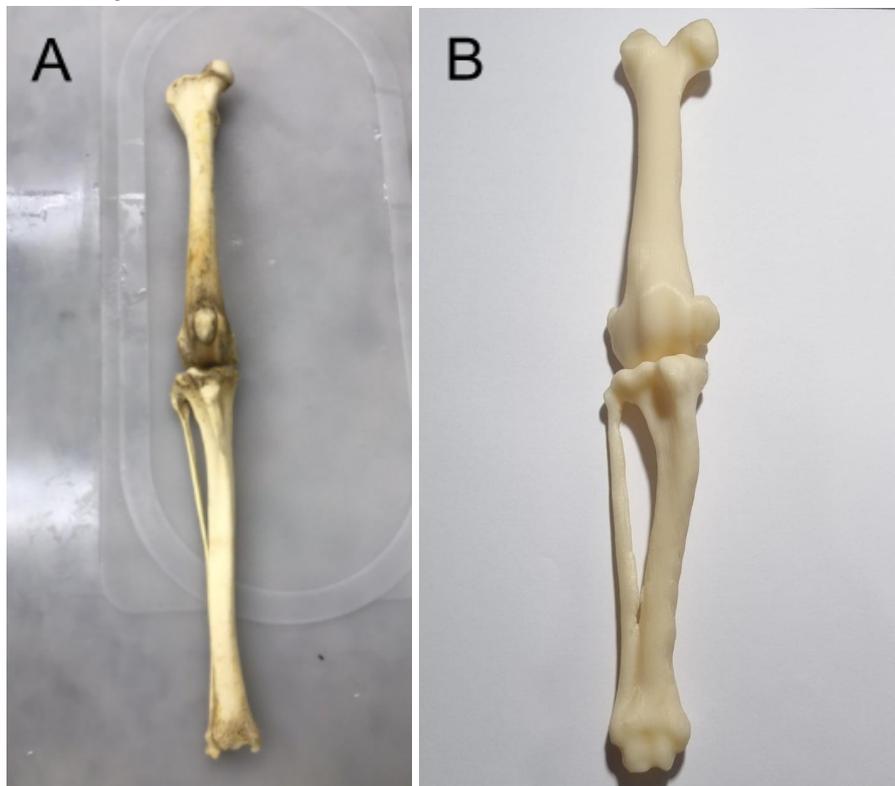
Em comparação com peças sintéticas encontradas no mercado (figura 10), o resultado estético foi bem semelhante, apresentando menor definição em alguns acidentes ósseos na região proximal do fêmur e parte distal da tíbia, além de não possuir elásticos representando os ligamentos colaterais, que por não localizar um material com as características visuais e sensoriais semelhantes, não conseguiram ser reproduzidos de forma satisfatória neste estudo. Ao comparar com as peças naturais presentes no laboratório da instituição (figura 11), as diferenças são a textura porosa que não foi possível reproduzir na impressão, assim como os acidentes ósseos trocanter menor, fossa supracondilar e toda a parte distal da tíbia/fíbula. A peça impressa foi produzida utilizando um animal com luxação patelar, então apresenta a patela aderida a parte medial do fêmur (figura 10 B), alteração que não está presente nos outros modelos comparados.

Figura 10: Comparação entre as peças anatômicas. **A:** Peça sintética encontrada para venda na internet. **B:** Peça impressa por técnica de FDM.



Fonte: **A:** ossos.com.br, 2022 **B:** Arquivo pessoal, 2022

Figura 11: Comparação entre as peças anatômicas. **A:** Peça natural disponível no laboratório da instituição de ensino **B:** Peça impressa



Fonte: **A e B:** Arquivo pessoal, 2022

Quanto ao custo de produção, ao somar o valor do filamento utilizado e energia elétrica, o custo de produção para a peça gerada através de TC foi de R\$ 7,62 (tabela 1) e da peça gerada através de modelagem foi de R\$ 8,78 (tabela 2). Modelos anatômicos semelhantes podem ser encontrados para venda entre R\$ 71,00 e R\$168,00. O que vai de acordo com os artigos pesquisados, onde a impressão 3D demonstra ser uma alternativa de menor custo para obtenção de modelos anatômicos, mas também de guias para planejamento cirúrgicos. (ALEMAYEHU *et al.*, 2021)

Tabela 1: Custos para impressão da peça gerada através de TC

Insumos	Custos
71 gramas de material utilizadas para impressão	R\$ 6,47
Custo com energia elétrica	R\$ 1,15
Valor	R\$ 7,62

Fonte: Arquivo Pessoal, 2022.

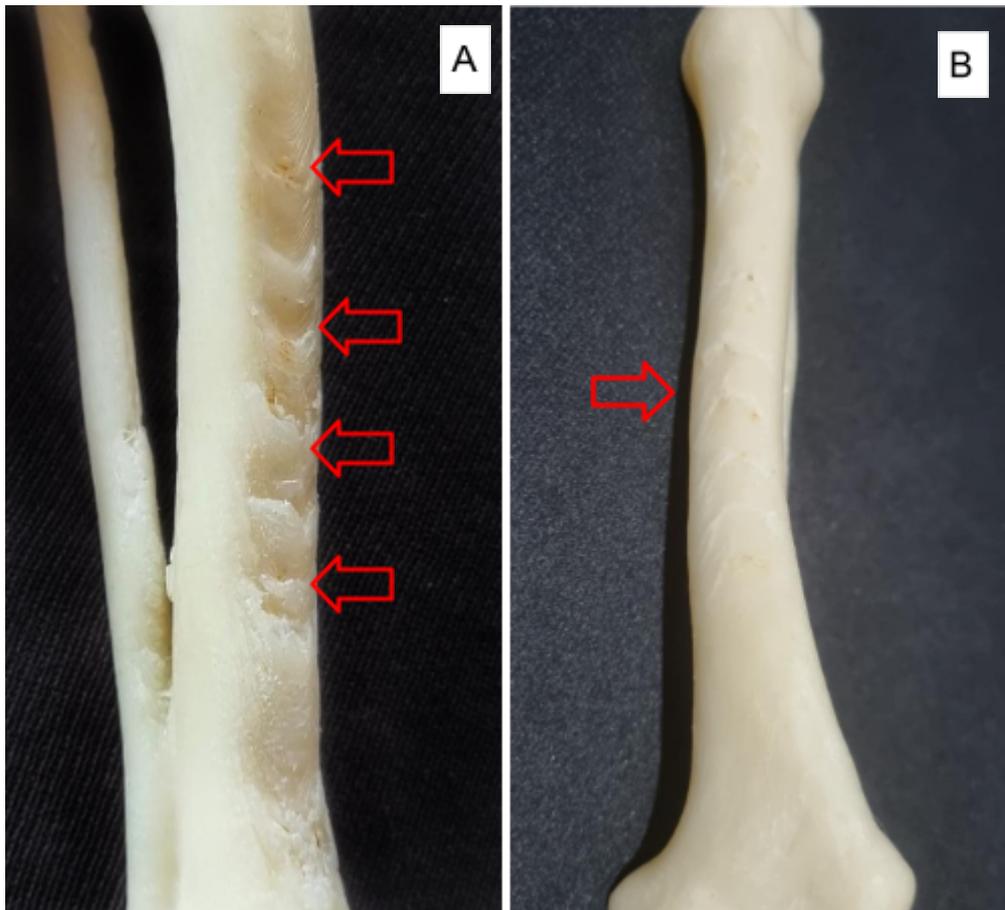
Tabela 2: Custos para impressão da peça gerada por modelagem

Insumos	Custos
83 gramas de material utilizadas para impressão	R\$ 7,43
Custo com energia elétrica	R\$ 1,35
Valor	R\$ 8,78

Fonte: Arquivo Pessoal, 2022.

Os suportes gerados em uma das peças prejudicou o acabamento final, promovendo uma textura indesejada, mas que foi amenizado com a utilização de uma micro retífica para o lixamento da superfície (figura 10). Ocasões como essas podem ser amenizadas configurando a peça para ser impressa em outro posicionamento ou alterando as configurações do preenchimento e localização dos suportes. (VAZ; KUMAR, 2021) Porém novos testes não foram realizados devido a quebra de uma das peças da impressora.

Figura 12: A: Alterações causadas pelos suportes de impressão antes do lixamento
B: Peça após o lixamento com micro retifica



Fonte: Arquivo pessoal, 2022

As peças demonstraram-se resistentes a testes de força realizados através da torção, flexão, compressão e tração manual, porém, as partes que possuem menor espessura na peça modelada sofreram rupturas, que foram solucionadas com o uso de cola instantânea. Essas rupturas podem ser solucionadas alterando o sentido da impressão, o que influencia na resistência da peça, que deve ser perpendicular ao lado de menor espessura (WILHITE; WOLFEL, 2019; BARTIKIAN *et al.*, 2019)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Por meio deste estudo, considera-se que foi possível desenvolver e produzir de forma satisfatória os modelos anatômicos propostos, principalmente pelo baixo valor monetário necessário para produzi-los. Recomenda-se realizar novos testes com a finalidade de gerar peças a partir de outras estruturas anatômicas e refinar a técnica para chegar mais próximo da densidade e textura dos modelos reais, além de avaliar a viabilidade da produção de estruturas de animais maiores, devido ao aumento exponencial dos custos e necessidade de impressoras maiores.

REFERÊNCIAS

ALEMAYEHU, Dereje Gobena; ZHANG, Zhi; TAHIR, Elena; GATEAU, Djovensky; ZHANG, Dang-Feng; MA, Xing. Preoperative planning using 3D printing technology in orthopedic surgery. **BioMed Research International**, v.2021, 2021.

BARTIKIAN, Mickael; FERREIRA, Alice Teixeira; GONÇALVES-FERREIRA, Antoine; NETO, L. 3D printing anatomical models of head bones. **Surgical and Radiologic Anatomy**, v.41, n.10, p. 1205-1209, 2019.

BERTTI, João Vinicius Pacheco; SILVEIRA, Erick Eduardo da; ASSIS 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, p.1653-1658, 2020.

DIOGO, Lúcia Maria Izique. **Elastografia Acoustic Radiation Force Impulse (ARFI) das estruturas do joelho canino**. 2018. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. 2018.

FRANÇA, Gustavo Lúcio Monteiro de. **Anatomia das articulações sinoviais do quadril, do joelho e tarsocrural em bugios (Alouatta belzebul Linnaeus, 1766)**. 2020. Tese (Doutorado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

GANGULI, Anurup; PAGAN-DIAZ, Gelson; GRANT, Lauren; CVETKOVIC, Caroline; BRAMLET, Mathew Bramlet; VOZELINIK, John; KESAVADAS, Thenkurussi; BASHIR, Rashid Bashir. 3D printing for preoperative planning and surgical training: a review. **Biomedical microdevices**, v.20, n.3, p.1-24, 2018.

HALEEM, Abid; JAVAID, Mohd; SUMAN, Rajiv. 3D printing applications for veterinary field. **Indian J. Anim. Health**, v.58, n.2, p.171-173, 2019.

MASSARI, Catia Helena de Almeida Lima. **Plataforma de ensino em anatomia animal: conteúdos didáticos para o ambiente virtual de aprendizagem e impressão 3D como técnica anatômica**. 2020. (Tese de Doutorado em Ciências Veterinárias). Universidade de São Paulo. 2020.

OLIVEIRA, Ana Maria Cabrita de Almeida. **Luxação medial da patela em cães**. 2019. (Dissertação de Mestrado). Universidade de Évora, Portugal. 2019.

PIRES, José Luís; PAYO, Pablo; MARCOS, Ricardo. utilização de simuladores para o ensino da punção de agulha fina em medicina veterinária. **Journal of Veterinary Medical Education**, v.49, n.1, p.138-143, 2022.

SOUZA, Aline Luize de Moraes; ASSUMÇÃO, Rômulo Ferreira de; GUIMARÃES, Luísa Faustino; RODRIGUES, Ana Bárbara Freitas. Utilização de métodos didáticos alternativos para o estudo da anatomia veterinária. **PUBVET**, V.6, p. Art. 1423-1428, 2012.

DE SOUZA, Rodrigo; SPERCOSKI, Katherinne. DISSECÇÃO E APRENDIZAGEM DE ANATOMIA ANIMAL NA GRADUAÇÃO. **2º congresso do setor de ciências agrárias e ambientais**, Guarapuava, nov. 2014.

TACK, Philip; VICTOR, Jan; GEMMEL, Paul; ANNEMANS, Lieven. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. **Biomedical engineering online**, v.15, n.1, p.1-21, 2016.

VAZ, Vanessa Marcia; KUMAR, Lalit.. 3D printing as a promising tool in personalized medicine. **Aaps Pharmscitech**, v.22, n.1, p.1-20, 2021.

WANG, Yuyan; GLUDISH, David; HAYASHI, Kei; TODHUNTER, Rory; KROTSCHKECK, Ursula; JOHNSON, P. Johnson; CUMMINGS, Bethany; SU, Jin REESINK, Heidi. L. Synovial fluid lubricin increases in spontaneous canine cruciate ligament rupture. **Scientific reports**, v.10, n.1, p.1-10, 2020.

WILHITE, Ray; WÖLFEL, Inga. 3D Printing for veterinary anatomy: An overview. **Anatomia, histologia, embryologia**, v.48, n. 6, p.609-620, 2019.

ZAMBORSKY, R.; KILIAN, M.; JACKO, P.; BERNDIC, M.; HUDAK, R. Perspectives of 3D printing technology in orthopaedic surgery. **Bratislavské lekárske listy**, v. 120, n. 7, p. 498-504, 2019.