

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS VETERINÁRIAS - PPGVET

LUIZ FELIPE SOUZA DE LIMA

**Anatomia 3D - Associação de técnicas anatomo radiográficas para
criação de biomodelos análogos aos biológicos**

Cuiabá - 2024

LUIZ FELIPE SOUZA DE LIMA

**Anatomia 3D - Associação de técnicas anatomo radiográficas para
criação de biomodelos análogos aos biológicos**

**Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em
Ciências Veterinárias da Faculdade de Medicina
Veterinária, da Universidade Federal de Mato Grosso,
para a obtenção do título de Doutor em Medicina
Veterinária, área de concentração: Clínica Médica e
Cirúrgica de Animais Domésticos e Silvestres.**

Orientador: Roberto Lopes de Souza, PhD.

Coorientador: Dr. Pedro Eduardo Brandini Nespoli

Cuiabá 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

L732a Lima, Luiz Felipe Souza de.

Anatomia 3D - Associação de técnicas anátomo radiográficas para criação de biomodelos análogos aos biológicos [recurso eletrônico] / Luiz Felipe Souza de Lima. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 88 f., il. color., pdf). -- 2024.

Orientador: Roberto Lopes de Souza.

Coorientador: Pedro Eduardo Brandini Nespoli.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Agronomia, Medicina Veterinária, Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Cuiabá, 2024.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://ri.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. Impressão 3D. 2. Tomografia Computadorizada. 3. diceCT. 4. Ensino. 5. Invesalius 3D. I. Souza, Roberto Lopes de, *orientador*. II. Nespoli, Pedro Eduardo Brandini, *coorientador*. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS VETERINÁRIAS
FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: ANATOMIA 3D - ASSOCIAÇÃO DE TÉCNICAS ANATOMO RADIOGRÁFICAS
PARA CRIAÇÃO DE BIOMODELOS ANÁLOGOS AOS BIOLÓGICOS**

AUTOR (A): Doutorando Luiz Felipe Souza de Lima

Tese defendida e aprovada em 26 de fevereiro de 2024.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Doutor Roberto Lopes de Souza (Presidente Banca/Orientador)
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso
 2. Doutor Marcelo Jorge Cavalcanti de Sá (Examinador Externo)
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande-UFCG
 3. Doutor Luiz Donizete Campeiro Junior (Examinador Externo)
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia-IFRO
 4. Doutora Lianna Ghisi Gomes (Examinadora Interna)
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso
 5. Doutor Paulo Roberto Spiller (Examinador Interno)
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso
 6. Doutora Valéria Dutra (Examinador Suplente)
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso
- Cuiabá, 26 de fevereiro de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **ROBERTO LOPES DE SOUZA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 26/02/2024, às 15:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **LUIZ DONIZETE CAMPEIRO JUNIOR, Usuário Externo**, em 26/02/2024, às 16:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **PAULO ROBERTO SPILLER, Técnico Administrativo em Educação do HOVET - Secretaria / FAVET - UFMT**, em 26/02/2024, às 16:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

DOUTORADO - Folha de Aprovação 8644492 SEI 23108.012729/2024-10 / pg. 1



Documento assinado eletronicamente por **LIANNA GHISI GOMES, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 26/02/2024, às 16:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcelo Jorge Cavalcanti de Sa, Usuário Externo**, em 27/02/2024, às 15:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6644492** e o código CRC **7CFD79A1**.

Resumo

A área da anatomia associada à dissecação de cadáveres é o método comumente utilizado para estudar a morfologia topográfica das estruturas dos tecidos e órgãos que compõem o animal. Outros métodos de ensino e técnicas anatômicas vêm sendo utilizados de forma complementar para auxiliar esta compreensão. A anatomia da imagem tem sido foco do refinamento e aprimoramento de técnicas que promovam o aumento do detalhamento das estruturas anatômicas de forma não invasiva e não destrutiva. O uso de técnicas de captação de imagens utilizando radiação-X combinado com a técnica de coloração contrastada em imersão de peças anatômicas fixadas, vem possibilitando que seja registrada informações morfológicas com baixo custo e de forma acessível. Imagens médicas combinadas com técnicas de impressão 3D têm sido um diferencial para abordagens clínicas cirúrgicas e didáticas. A segmentação de estruturas anatômicas em imagens médicas para impressão 3D de biomodelos tem se mostrado promissora em aplicações médicas. O uso de contraste a base de iodo em solução em peças anatômicas promove aumento da densidade tecidual e melhor resolução de captação da TC, ampliando o leque de possibilidades da medicina 3D. Sendo assim buscamos complementar os registros acerca desta área promissora que se mostra a diceCT com a captura de estruturas anatômicas complexas, refletindo na vantagem sobre o uso de biomodelos tanto de forma digital quanto física interativa. Neste trabalho, explicamos como digitalizar um conjunto de estruturas anatômicas em posição topográfica e como criar réplicas 3D digitais e impressas. Os biomodelos podem ser aplicados nas mais diversas áreas da medicina veterinária assim como em áreas relacionadas.

Palavras-chave: impressão 3D; Tomografia Computadorizada; diceCT.

Abstract

The area of anatomy associated with the dissection of cadavers is the method commonly used to study the topographic morphology of the structures of the tissues and organs that make up the animal. Other teaching methods and anatomical techniques have been used in a complementary way to help this understanding. The anatomy of the image has been the focus of refinement and improvement of techniques that promote increased detailing of anatomical structures in a non-invasive and non-destructive manner. The use of image capture techniques using X-radiation combined with the technique of contrasted staining in immersion of fixed anatomical parts, has enabled morphological information to be recorded at low cost and in an accessible way. Medical imaging combined with 3D printing techniques have been a differential for surgical and didactic clinical approaches. Segmentation of anatomical structures in medical images for 3D printing of biomodels has shown promise in medical applications. The use of iodine-based contrast in solution in anatomical specimens promotes increased tissue density and better CT capture resolution, expanding the range of possibilities of 3D medicine. Therefore, we seek to complement the records about this promising area that diceCT shows with the capture of complex anatomical structures, reflecting on the advantage over the use of biomodels both digitally and physically interactively. In this work, we explain how to digitize a set of anatomical structures in topographical position and how to create digital and printed 3D replicas. Biomodels can be applied in the most diverse areas of veterinary medicine as well as in related areas.

keywords: 3D print; computed tomography; diceCT.

SUMÁRIO

1 Introdução.....	8
2 Revisão de Literatura.....	11
2.1 Anatomia.....	11
2.2 Cadáveres.....	13
2.3 Tomografia Computadorizada.....	13
2.4 Impressão 3D.....	15
2.5 Segmentação de imagens médicas.....	17
2.6 Biomodelagem 3D.....	18
2.7 diceCT.....	19
2.8 Ensino e treinamento 3D.....	22
2.9 Biomodelos e a sustentabilidade.....	23
3 Modelo Animal.....	24
4 Material e Métodos.....	24
4.1 Preparo Anatômico.....	24
4.2 Captura de imagem.....	26
4.3 Edição e impressão 3D.....	26
4.3 Biomodelos.....	27
5 Resultados.....	27
6 Discussão.....	30
7 Conclusão.....	39
Referencias.....	41
Apêndice A – Artigo Científico Aceito.....	45

1 Introdução

Os avanços nas técnicas de imagem melhoraram drasticamente nossa capacidade de visualizar, estudar e compartilhar digitalmente arranjos anatômicos complexos, muitas vezes de difícil acesso, influenciando positivamente na capacidade de apreciar relações anatômicas complexas e compreender a natureza morfológica (Metscher, 2009; Jeffery et al., 2011; Gignac & Kley, 2014; Collings and Richards, 2019). A tomografia computadorizada (CT) tem proporcionado um aumento significativo na capacidade de detalhar e quantificar a morfologia dos tecidos de vertebrados como ferramenta de visualização não destrutiva, possuindo melhores resultados com tecidos de maior densidade (Gignac & Kley, 2014; Lima et al, 2022).

Técnicas de tomografia e microtomografia têm ganhado destaque devido a acessibilidade, popularização comercial e científica das técnicas. Entretanto, a radiação-x é relativamente pobre na diferenciação de estruturas de tecidos moles, como os sistemas nervosos, arranjos musculares e órgãos em geral, quando comparada ao resultado obtido com estruturas ósseas (Gignac & Kley, 2014; Li et al., 2016; Lima et al, 2019).

O recente desenvolvimento da técnica Tomografia Computadorizada com Contraste à Base de Iodo Difusível (diceCT), está começando a oferecer percepções anteriormente inatingíveis sobre as conformações morfológicas detalhadas dos arranjos de tecidos moles, em peças anatômicas íntegras de pequeno porte (Gignac & Kley, 2014; Li et al., 2016). A análise de segmentação de imagens tomográficas e micro tomográficas com alta resolução, facilitam a criação de modelos tridimensionais (3D) que podem ser facilmente renderizados, desenvolvendo imagens e modelos digitais, até modelos impressos usando métodos de prototipagem rápida (Lima et al, 2019).

Nem a coloração com contraste, nem as imagens de raios-X são novas ferramentas para pesquisadores anatômicos, mas a combinação delas é que se torna excepcionalmente poderosa. Essas técnicas são particularmente benéficas para estudar a anatomia musculoesquelética, porque as técnicas de contraste esclarecem a anatomia e a organização dos tecidos moles de forma mais vívida do que a ressonância magnética, quando devidamente padronizada (Metscher 2009; Jeffery

et al., 2011; Holliday et al, 2013; Gignac & Kley, 2018; Santana, 2018; Collings and Richards, 2019).

O iodo dissolvido, como agente de contraste, se difunde profundamente através das amostras preservadas, ligando-se às gorduras e carboidratos, aumentando a radiodensidade desses tecidos de maneiras previsíveis (Jeffery et al., 2011; Holliday et al, 2013; Gignac & Kley, 2014; Santana, 2018). Os mecanismos de coloração permanecem sem total entendimento quanto sua ação mecânica, física e química sob os tecidos de peças anatômicas fixadas em formalina e em álcool, entretanto é sabido que os trómeros de iodo se ligam aos carboidratos. A absorção total de contraste nos tecidos depende das diferentes concentrações e durações do tempo de imersão na solução, aumentando por sua vez, o grau de diferenciação entre tecidos moles nas imagens médicas. Então, as estruturas que anteriormente eram radiolúcidas tornam-se radiodensas, possibilitando distinguir entre ossos, músculos, glândulas, corpos gordurosos, epitélios e nervos, com base em suas afinidades pelo contraste (Metscher, 2009; Gignac, 2014, Gignac & Kley, 2018).

Recentemente, outros pesquisadores começaram a se basear no trabalho de Metscher (2009), aplicando seus protocolos tanto com a solução de iodo de Lugol quanto com outros corantes, em espécimes maiores de vertebrados pós-embrionários, incluindo corações, corpos neonatais, cabeça de roedores, aves e filhote de crocodilo (Cox e Jeffery, 2011; Holliday, 2013; Pauwels et al., 2013; Collings and Richards, 2019). Mesmo com resultados positivos para coloração e diferenciação das estruturas, ainda não se obteve a mesma qualidade de refinamento da técnica que Metscher (2009) demonstrou com seus espécimes muito menores usando uCT.

Em particular, os tamanhos maiores de vertebrados pós embrionários parecem fazer coloração completa de alguns tecidos mais difíceis, resultando na visualização incompleta de estruturas profundamente situadas, como o cérebro (Jeffery et al., 2011). Devido à quantidade de variáveis que influenciam a eficácia diceCT (corante, concentração, tempo, tamanho da amostra, protocolo de captação de imagem, modelo do equipamento de radiação...) não existe um protocolo único que possa ser recomendado para todas as amostras (Gignac et al, 2016). Pois o nível ideal de coloração é crucial para evitar a coloração incompleta das amostras, apresentando níveis de contraste desiguais dentro do mesmo tipo de tecido. Assim como para evitar a super coloração da amostra imersa, reduzindo a diferenciação entre os tecidos

adjacentes, podendo levar a distorções físicas (Metscher, 2009, b; Holliday et al., 2013; Gignac e Kley, 2014; Gignac et al., 2016) .

Atualmente não há registros científicos quanto ao uso do corante ioexol em peças anatômicas fixadas em formalina, nem estudos com peças anatômicas em animais de companhia, nem com captação feita com tomografia tradicional. Sendo estas metas a serem alcançadas, para que novos protocolos da técnica de diceCT, economicamente mais acessíveis possam contribuir e guiar positivamente estudos e pesquisas na área de anatomia veterinária.

2 Revisão de Literatura

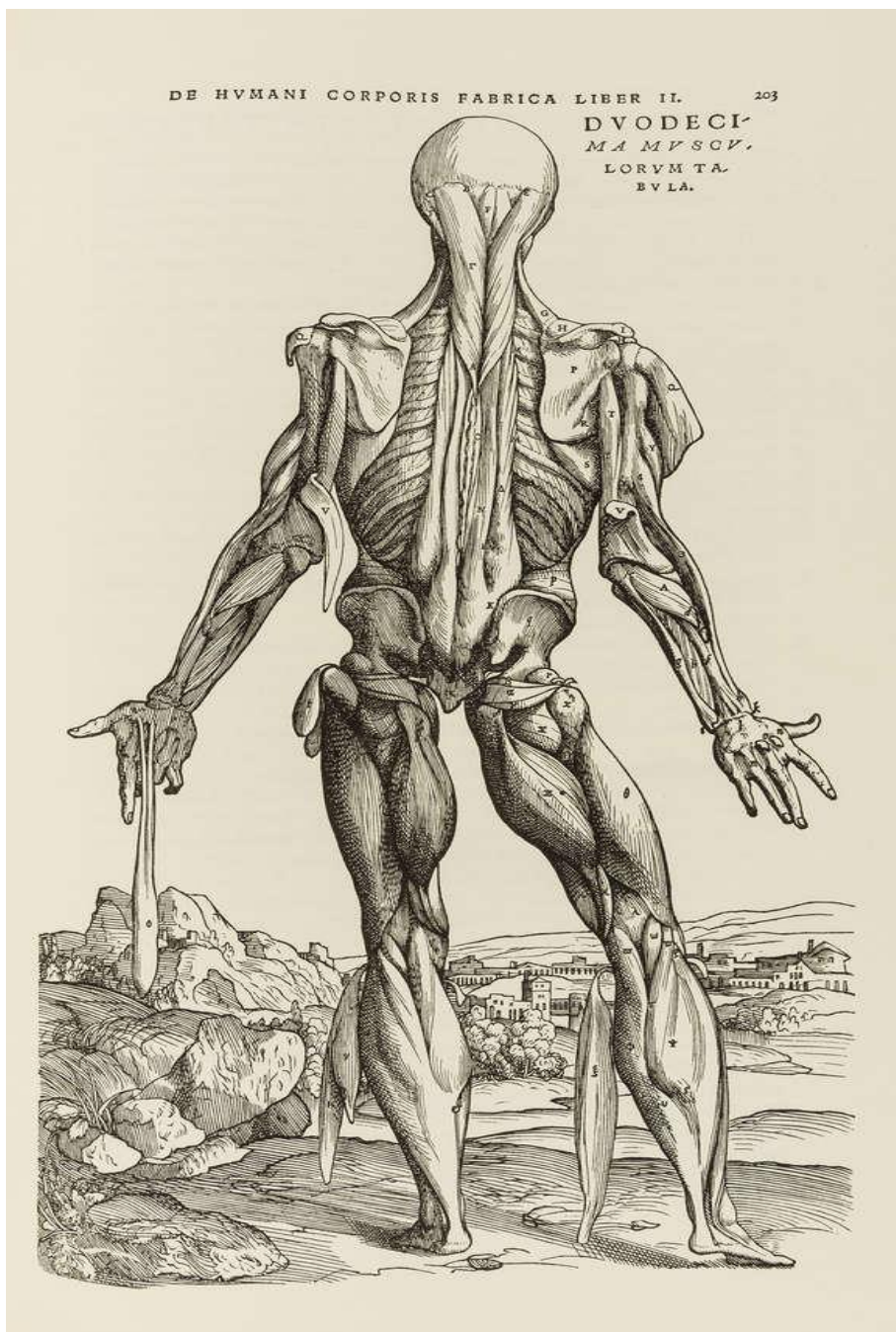
2.1 Anatomia

O conhecimento acerca da anatomia e da dissecação têm uma rica história que remonta aos tempos antigos, desempenhando um papel crucial no desenvolvimento da medicina e no avanço científico como um todo. No Antigo Egito, a mumificação era uma prática comum, e o conhecimento anatômico estava intrinsicamente ligado a esse processo. Os egípcios estudavam a estrutura humana ao realizar dissecações em cadáveres para entender a composição do corpo e preparar os corpos mumificados adequadamente (Manning, 2013).

A origem da anatomia animal também remonta à antiguidade, com os primeiros registros de estudos anatômicos datando do antigo Egito, no entanto, foi na Grécia antiga que a anatomia animal começou a ser sistematicamente explorada, com figuras como Aristóteles e Herófilo realizando dissecações de animais para obter conhecimentos mais específicos acerca dos componentes e do funcionamento do corpo (Strang, V., 2010).

Durante a Idade Média, a dissecação foi amplamente proibida pela Igreja Católica, que considerava essa prática como uma violação da sacralidade do corpo humano, enquanto a dissecação animal também enfrentava restrições éticas e religiosas. Foi somente com o advento do Renascimento e a corajosa atitude de Andreas Vesalius que a dissecação humana foi reintroduzida como uma ferramenta essencial para a compreensão da anatomia em 1514 na atual Bélgica. Vesalius desafiou abertamente as restrições religiosas ao conduzir dissecações detalhadas e minuciosas, que se tornaram a base de sua obra revolucionária "De Humani Corporis Fabrica - 1543" (Figura 1). Com o avanço da medicina moderna, a dissecação animal também se tornou parte integrante da educação veterinária, permitindo o estudo detalhado da estrutura e função dos animais (Manning, 2013; Swindle & Smith., 2014).

Figura 1: Ilustração pertencente ao De Humani Corporis Fabrica - 1543. Evidenciando um humano de costas com os arranjos musculares dissecados.



O conhecimento detalhado da anatomia é essencial para a prática clínica e cirúrgica, permitindo aos médicos veterinários realizar diagnósticos precisos, planejar procedimentos cirúrgicos, avaliar a resposta ao tratamento e melhorar a qualidade de vida dos pacientes animais. Além disso, a anatomia é um campo em constante evolução, com a descoberta de novas estruturas anatômicas, variações individuais, relações funcionais sendo exploradas continuamente com os avanços das diferentes

tecnologias. Essa busca contínua pela compreensão da anatomia é fundamental para a pesquisa científica, o desenvolvimento de novos tratamentos e a melhoria da saúde e bem-estar animal (Strang, V., 2010; Manning, 2013; Swindle & Smith., 2014)

2.2 Cadáveres

É inegável que o uso de cadáveres apresenta limitações no ensino da Anatomia, incluindo a redução do tempo de aula, a falta de equipe especializada para o preparo das peças e a escassez de recursos e investimentos para laboratórios de Anatomia dos Animais Domésticos (ESTAI; BUNT, 2016). Como consequência, muitas instituições têm optado por abandonar as práticas de dissecação, considerando-as dispendiosas e laboriosas, e têm buscado métodos alternativos para o ensino dessa disciplina.

Atualmente, uma abordagem mais eficaz para o ensino da Anatomia consiste na combinação de diversos recursos pedagógicos, que se complementam mutuamente. Essa abordagem abrange o uso de tecnologias digitais, como modelos anatômicos virtuais, softwares interativos e simulações, além de biomodelos sintéticos análogos aos biológicos. Essa integração de recursos pedagógicos proporciona uma experiência de aprendizado mais abrangente e acessível, permitindo aos estudantes explorar a anatomia de forma mais dinâmica e interativa (ESTAI; BUNT, 2016).

O conceito dos "3Rs" desempenhou um papel fundamental na comunidade acadêmica ao introduzir o conceito de "alternativas" no ensino. O primeiro "R" representa a substituição (replacement) de métodos que utilizam corpos de animais no ensino. O segundo "R" simboliza a redução (reduction) no número de animais utilizados em aulas práticas, o que é viável atualmente por meio da seleção adequada de estratégias de ensino. Por fim, o terceiro "R" destaca o refinamento (refinement), que visa minimizar qualquer desconforto ou sofrimento causado aos animais utilizados para fins experimentais e didáticos, assim como os tipos de materiais utilizados (RUSSEL; BURCH, 1992).

2.3 Tomografia Computadorizada

A Tomografia Computadorizada revolucionou o campo da imagem médica desde sua invenção. A técnica foi desenvolvida por Godfrey N. Hounsfield e Allan M.

Cormack na década de 1970, ganhando o Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina em 1979 por sua contribuição na área. O objetivo inicial da TC era superar as limitações das radiografias convencionais, proporcionando uma visão tridimensional do interior do corpo humano sem sobreposição na imagem, proveniente das estruturas captadas.

Através do uso de raios-X e computadores, a TC é capaz de gerar imagens transversais de alta resolução dos tecidos e órgãos, permitindo a detecção precoce de lesões, diagnóstico mais preciso e planejamento cirúrgico mais eficiente. O impacto da TC na medicina moderna é indiscutível, tendo se tornado uma ferramenta essencial em várias especialidades médicas, incluindo a radiologia, oncologia, cardiologia, neurologia e ortopedia. Na medicina veterinária, a TC desempenha um papel único no diagnóstico de doenças e lesões em animais de pequeno e grande porte, auxiliando na identificação de neoplasias, fraturas, doenças cardíacas e anomalias congênitas (Figura 2) (Hounsfield, 1973; Cormack, 1973; Bushberg et al., 2011; Schwarz et al., 2017).

Figura 2: Imagem tomografia em corte transversal de onça pintada de vida livre, atropelada apresentando coágulo sanguíneo no seio nasal direito. Imagem utilizada para abordagem clínica do HOVET-UFMT

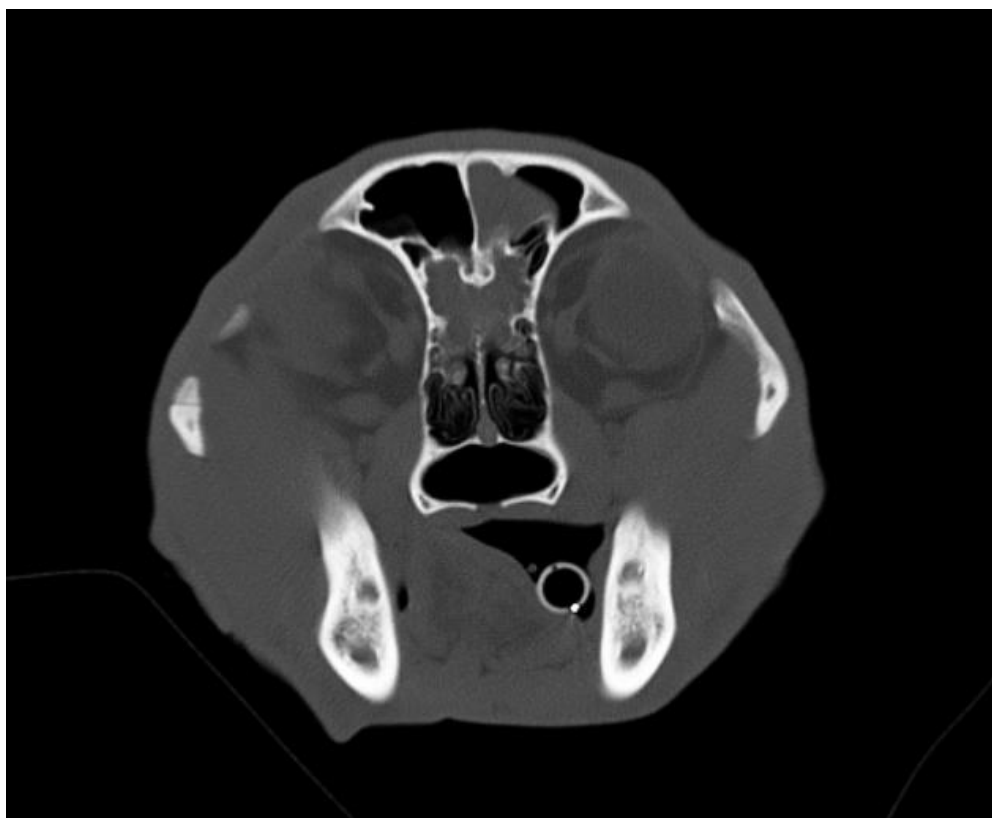


Imagem de acervo próprio

Outra opção é utilizar técnicas de diagnóstico por imagem para obter imagens bi (2D) e tridimensionais (3D) para o ensino de Anatomia, utilizando exames de TC para captar as estruturas desejadas, prioritariamente em tecidos mineralizados devido a sensibilidade da técnica radiográfica (CROY; DOBSON, 2003; OZKADIF; EKEN, 2012; SWAMY; SEARLE, 2012).

A TC tem corroborado no aprimoramento da capacidade de detalhamento e quantificação da morfologia dos tecidos de vertebrados. Oferecendo uma visualização não destrutiva e especialmente eficaz na análise de tecidos mais densos. Técnicas como a tomografia e a microtomografia têm se destacado devido à sua acessibilidade e popularização tanto no âmbito comercial quanto científico. No entanto, é importante ressaltar que a radiação-x apresenta limitações na diferenciação de estruturas de tecidos moles, como sistemas nervosos, arranjos musculares e órgãos em geral, quando comparada à facilidade da visualização de estruturas ósseas (Gignac & Kley, 2014; Li et al., 2016; Lima et al., 2019).

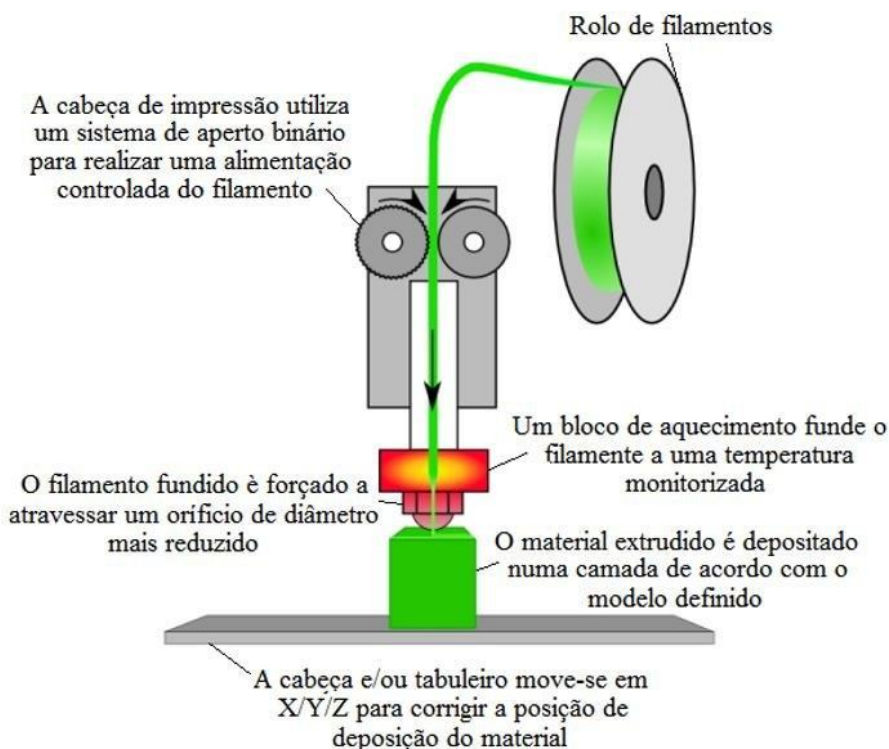
2.4 Impressão 3D

Nesse contexto de avanços de imagens médicas e novas tecnologias emergentes, a técnica de impressão 3D anatômica surge como uma ferramenta promissora; no entanto, seu uso ainda está em desenvolvimento na Medicina Veterinária, especialmente para aplicações educacionais em anatomia (HESPEL; WILHITE; HUDSON, 2014; REIS et al., 2017).

A impressão 3D FDM (Fused Deposition Modeling) é uma técnica revolucionária que desempenhou um papel crucial no desenvolvimento da impressão 3D como a utilizamos hoje em dia. Foi criada por Scott Crump, co-fundador da empresa Stratasys, no final da década de 1980. Em 1989, Crump obteve a patente para o FDM, um marco importante na história da impressão 3D (CRUMP, 1992). A técnica utiliza um material termoplástico que é fundido e depositado em camadas sucessivas para construir objetos tridimensionais (Figura 3). As aplicações iniciais da impressão 3D FDM estavam principalmente relacionadas à indústria, onde foi utilizada para prototipagem rápida e fabricação de peças complexas. No entanto, seu potencial na área médica foi rapidamente reconhecido (GROSS et al., 2014).

Figura 3: Esquema do princípio da impressão 3D por FDM, exemplificando o processo de saída do material, seu derretimento e deposição na plataforma de impressão.

Moreira, 2016.



A maioria das impressoras 3D utiliza o sistema de coordenadas cartesianas, com os eixos X, Y e Z, para posicionar e mover o bico extrusor ou o cabeçote de impressão e desta forma deposita o material fundido em camadas sobre uma plataforma de impressão (GROSS et al., 2014). Esse método é amplamente empregado na produção de peças anatômicas sintéticas para fins educacionais e clínicos, uma vez que permite a replicação de arranjos complexos e estruturas delicadas. Onde tem representado um avanço significativo na fabricação e prototipagem de produtos específicos e de difícil encontro no mercado, de forma economicamente viável e em tempo relativamente curto (GROSS et al., 2014).

Esta técnica possibilita a criação de modelos anatômicos precisos e personalizados em um tempo relativamente curto, auxiliando em procedimentos cirúrgicos, planejamento pré-operatório, no ensino e treinamento médico (VENTOLA, 2014). A impressão 3D FDM desempenhou um papel transformador na medicina, permitindo a fabricação de próteses personalizadas, implantes e dispositivos médicos

(VENTOLA, 2014). Além disso, a técnica tem sido utilizada na criação de guias cirúrgicos, que ajudam os cirurgiões a realizar procedimentos com maior precisão e segurança. A impressão 3D FDM também tem potencial para a criação de tecidos e órgãos artificiais, embora essa área ainda esteja em desenvolvimento e apresente desafios significativos (GROSS et al., 2014).

Desde então, a tecnologia de impressão 3D tem evoluído significativamente, tornando-se uma ferramenta amplamente utilizada em várias áreas, incluindo medicina, odontologia, veterinária, arquitetura, engenharia e design. O processo de impressão 3D é realizado por meio de camadas sucessivas de material, construindo objetos tridimensionais de forma progressiva.

2.5 Segmentação de imagens médicas

Exames tomográficos podem ser salvos no formato chamado DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) padrão amplamente utilizado para armazenar, transmitir e compartilhar imagens médicas e informações relacionadas. Introduzido pelo American College of Radiology (ACR) e pela National Electrical Manufacturers Association (NEMA) em 1983 (ACR-NEMA, 1985), o DICOM é essencial para a interoperabilidade entre diferentes sistemas e dispositivos médicos. No processo de segmentação de imagens em 3D, estruturas anatômicas ou regiões de interesse são extraídas a partir de imagens médicas 2D, que sobrepostas criam uma representação precisa do objeto no espaço 3D. Diversas técnicas de segmentação foram desenvolvidas, como métodos baseados em limiar de densidade, onde estruturas de mesmo intervalo de densidade são selecionadas simultaneamente nas projeções transversais as interpolando e gerando um objeto digital (Pham, Xu, & Prince, 2000).

Após a segmentação, uma malha poligonal é criada para representar o objeto em um ambiente de projeto auxiliado por computador (CAD) 3D. Essa malha, composta por vértices, arestas e faces, define a forma e a topologia da superfície do objeto de maneira análoga (Figura 4). A malha gerada possui versatilidade e portabilidade, sendo compatível com uma ampla gama de softwares de edição e visualização 3D, como Blender, MeshLab, Autodesk Maya, Meshmixer, entre outros. Essa compatibilidade permite a manipulação, modificação e análise detalhada dos

modelos 3D gerados a partir das malhas poligonais, facilitando o planejamento cirúrgico, o ensino e a pesquisa médica.

Figura 4: Esquema da malha de polígono gerada a partir de dados tomográficos de um felino evidenciando as estruturas ósseas. **(A)** Modelo 3D sólido, com a malha não perceptível. **(B)** Malha de polígono exposta, alta densidade de polígonos para resultar em melhor qualidade morfológica. **(C)** Imagem ampliada para melhor percepção de como a malha se porta para gerar as estruturas. **(D)** Imagem ampliada ao ponto da identificação dos polígonos em sua menor forma.

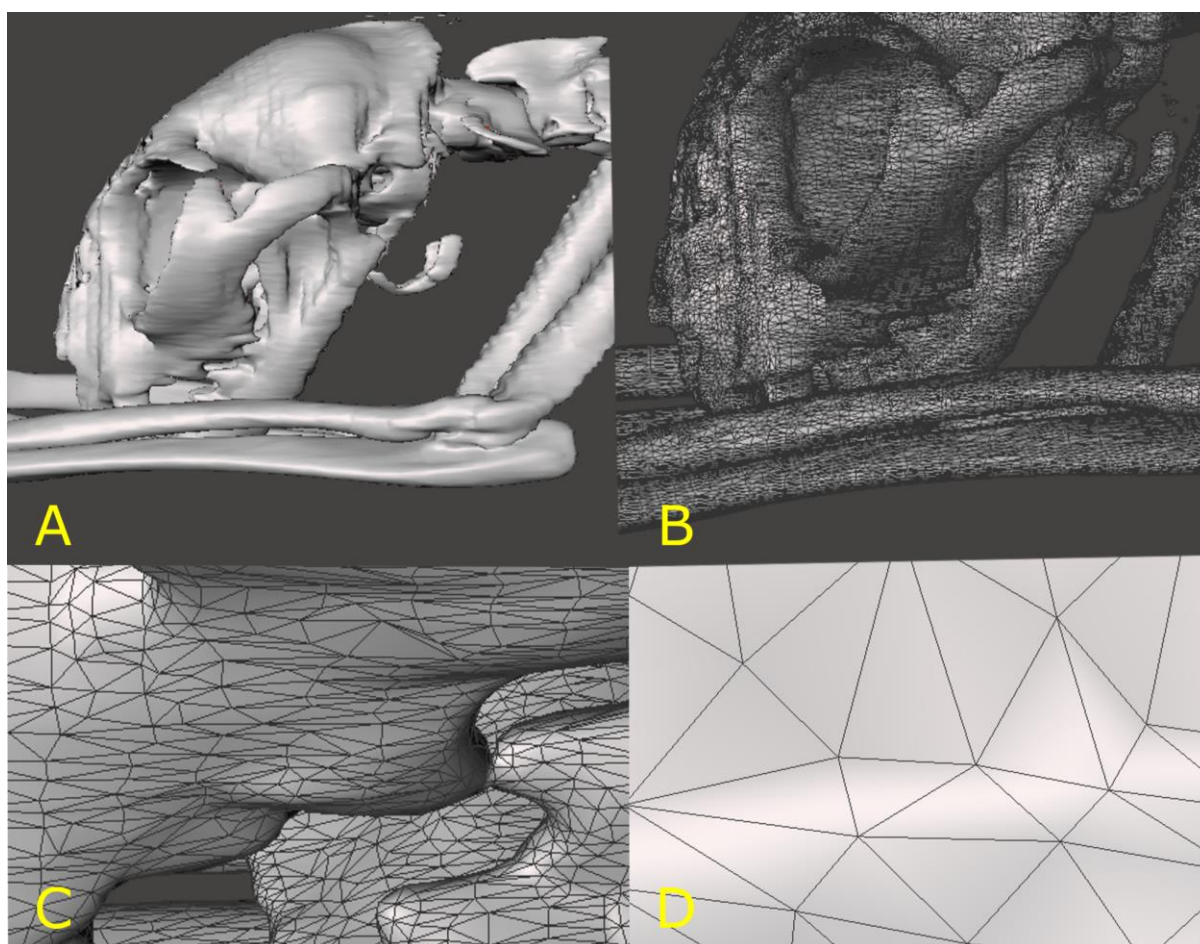


Imagem de acervo próprio

2.6 Biomodelagem 3D

A modelagem 3D é uma técnica que permite a criação de modelos virtuais tridimensionais de estruturas anatômicas por meio de softwares especializados, como os programas de desenho auxiliado por computador (CAD, do inglês Computer-Aided

Design). Esses softwares possibilitam a construção detalhada de objetos digitais, levando em consideração suas dimensões, proporções e características morfológicas (Ahn et al., 2018; Chepelev et al., 2018). Na área médica, a modelagem 3D tem sido amplamente utilizada para a criação de biomodelos, que são reproduções sintéticas de estruturas anatômicas reais. Esses biomodelos são obtidos a partir da combinação de técnicas de imageamento médico, como a tomografia computadorizada (TC) e a ressonância magnética, com a tecnologia de impressão 3D (Lima et al., 2020; Lim et al., 2021).

O desenho CAD é uma etapa fundamental no processo de modelagem 3D. Ele permite aos profissionais da área médica criar digitalmente modelos virtuais de alta precisão, representando com fidelidade as características anatômicas dos pacientes. Os desenhos CAD podem ser criados a partir de dados adquiridos de exames de imagem, como a TC, em que as informações tridimensionais são extraídas para a construção do modelo virtual (Meyer et al., 2019; Shi et al., 2021). A utilização de softwares CAD na modelagem 3D tem se mostrado uma ferramenta versátil e eficiente, permitindo a manipulação, visualização e análise dos modelos virtuais em diferentes perspectivas e detalhamentos (Ahn et al., 2018; Chepelev et al., 2018).

A biomodelagem, por sua vez, é a aplicação prática da modelagem 3D na área médica, em que os modelos virtuais são convertidos em objetos físicos por meio de tecnologias de impressão 3D (Gross et al., 2014; Lim et al., 2021). Essa técnica tem impactado significativamente diversas áreas da medicina, como o planejamento cirúrgico pré-operatório, o treinamento médico, a simulação de procedimentos e o ensino de anatomia (Grande Neto et al., 2016; Lima et al., 2022). A combinação da modelagem 3D com a impressão 3D tem proporcionado uma maior compreensão das estruturas anatômicas, auxiliando na tomada de decisões clínicas mais precisas e no desenvolvimento de procedimentos personalizados e minimamente invasivos (Gross et al., 2014; Lim et al., 2021).

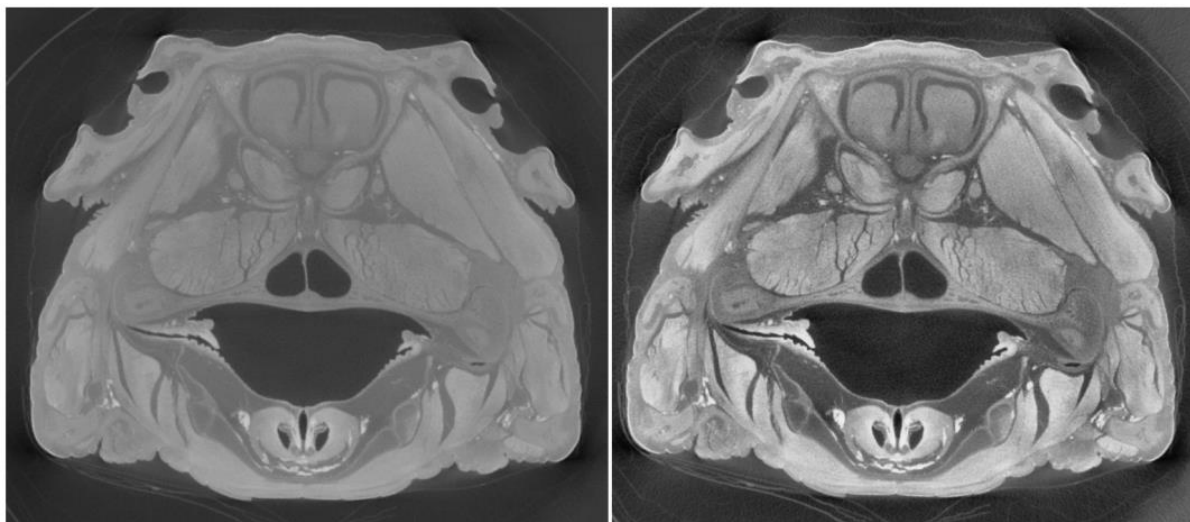
2.7 diceCT

A técnica recentemente desenvolvida de Tomografia Computadorizada com Contraste à Base de Iodo Difusível (diceCT) tem proporcionado novas perspectivas sobre as complexas conformações morfológicas dos arranjos de tecidos moles em peças anatômicas. A combinação da coloração com contraste e imagens de raios-X é uma abordagem excepcionalmente poderosa, sendo especialmente benéfica para

o estudo da anatomia dos tecidos moles. As técnicas de contraste fornecem uma visualização mais nítida e vívida da anatomia e organização dos tecidos moles mesmo quando as amostras são obtidas via TC (Jeffery et al., 2011; Holliday et al., 2013; Metscher, 2009; Gignac & Kley, 2018; Santana, 2018; Collings and Richards, 2019).

O mecanismo de ação da técnica de DiceCT baseia-se na capacidade do agente de contraste de se ligar a componentes específicos dos tecidos moles. O contraste à base de iodo tem afinidade por estruturas ricas em proteínas, como colágeno e elastina, presentes nos tecidos moles. Quando a peça anatômica é imersa em uma solução contendo o agente de contraste, ocorre a difusão do iodo nos tecidos moles, resultando em uma maior concentração de iodo nas áreas de interesse. Essa concentração de iodo aumenta a densidade radiográfica dos tecidos moles, permitindo uma melhor visualização e diferenciação das estruturas anatômicas em exames radiográficos como a TC. O tempo de imersão adequado permite que o agente de contraste se difunda de maneira uniforme nos tecidos, garantindo uma distribuição homogênea do contraste (Figura 5). Além disso, a concentração correta do agente de contraste garante uma melhor sinalização e aumento da densidade radiográfica nos tecidos moles (Metscher, 2009; Gignac & Kley, 2014; Li et al., 2016; Gignac & Kley, 2018)

Figura 5: DiceCT, cabeça de *Alligator mississippiensis* de dois anos em vistas transversais em microtomografia, a esquerda sem a execução da técnica e a direita com o resultado da técnica (Gignac et al., 2016)



Essa abordagem revolucionou a forma como a anatomia é estudada, proporcionando informações precisas sobre a organização e a função dos tecidos moles em diferentes espécies. Com a aplicação da técnica de DiceCT, pesquisadores têm obtido insights valiosos sobre a evolução, o desenvolvimento e a fisiologia dos organismos, contribuindo para avanços científicos em várias áreas, como a paleontologia, a morfologia comparativa das espécies e diversas áreas da medicina veterinária (Bailleul, O'Connor, & Schweitzer, 2019). A utilização de imagens tomográficas, aliada à análise de segmentação digital, facilita a criação de modelos 3D complexos que podem ser renderizados digitalmente e até mesmo replicados usando técnicas de prototipagem rápida (LIMA et al., 2020; LIMA et al., 2022).

Diversas equipes têm se baseado no trabalho de Metscher (2009) e aplicado seus protocolos de coloração com a solução de iodo de Lugol e outros corantes em espécimes maiores de vertebrados pós-embrionários. Esses estudos incluem corações, corpos neonatais, cabeças de roedores, aves e crocodilos com um ano de idade. Apesar de obterem resultados positivos na coloração e diferenciação das estruturas, ainda não se alcançou o mesmo nível de refinamento da técnica demonstrada por Metscher (2009) em seus espécimes muito menores usando micro TC.

Especificamente, o tamanho maior dos vertebrados pós-embrionários parece dificultar a coloração completa de alguns tecidos, resultando em visualização incompleta de estruturas profundamente localizadas, como o encéfalo. Devido à quantidade de variáveis que influenciam a eficácia da técnica diceCT, como o tipo de corante, concentração, tempo de imersão, tamanho da amostra, protocolo de captura de imagens e modelo do equipamento de radiação, não existe um protocolo único que possa ser recomendado para que todas as amostras obtenham sucesso. O nível ideal de coloração é crucial para evitar coloração incompleta das amostras, que pode resultar em contrastes desiguais dentro do mesmo tipo de tecido.

Um fator que deve ser atentado é o de evitar a super coloração das amostras imersas, o que pode reduzir a diferenciação entre tecidos adjacentes e levar a distorções na captura da imagem. Essas questões destacam a necessidade contínua de pesquisa e refinamento dos protocolos de coloração para a técnica diceCT, a fim de obter resultados mais consistentes e de alta qualidade em espécimes de diferentes tamanhos (Gignac et al., 2016; Metscher, 2009b; Holliday et al., 2013; Gignac & Kley, 2014; Gignac et al., 2016).

2.8 Ensino e treinamento 3D

No ensino de Anatomia Veterinária, os biomodelos 3D apresentam várias vantagens, permitindo que os professores disponibilizem amostras de diferentes espécies animais (inclusive aquelas em risco de extinção), casos de malformações e anomalias em maior quantidade e facilidade durante as aulas de teórico-práticas comparativa (THOMAS et al., 2016; LIMA et al., 2020). Esses modelos, produzidos a partir de material termoplástico, podem ser facilmente manipulados em casa, na sala de aula convencional ou até mesmo em uma biblioteca, já que seu uso como material didático não está restrito ao ambiente laboratorial.

Além disso, as peças sintéticas são alternativas ao uso de produtos químicos, como o formol, que é necessário para a preservação de peças orgânicas e a exposição do aluno a patógenos possivelmente presentes nos cadáveres (MCMENEMIN et al., 2014). Dessa forma, os biomodelos têm se mostrado economicamente viáveis em comparação com a obtenção, preparação e conservação de peças anatômicas originais de cadáveres, além de serem biosseguros aos que os utilizam e possíveis de serem reciclados quando necessário (CHEN et al., 2017).

Outra aplicabilidade se encontra no planejamento de cirurgias veterinárias, permitindo a simulação de técnicas cirúrgicas personalizadas. Isso proporciona uma abordagem de atendimento ao paciente mais individualizada e personalizada, permitindo o desenvolvimento de planos de procedimentos cirúrgicos específicos por meio da impressão prévia da região anatômica a ser operada (Figura 6). Dessa forma, a impressão de um modelo tangível da anatomia do paciente, que pode ser estudado antes da cirurgia, contribui para um treinamento mais eficaz dos Médicos Veterinários em comparação com a análise apenas de exames de diagnóstico por imagem em uma tela plana (GROSS et al., 2014; LIMA et al., 2019; LIMA et al., 2020).

Figura 6: Banco de biomodelos físicos criados a partir de impressão 3D FDM com filamento PLA. **(A)** Vários biomodelos sendo produzidos simultaneamente para atender a demanda das turmas de graduação. **(B)** Coluna vertebral na porção pélvica a ser impressa, o posicionamento da peça é fundamental para uma impressão de qualidade. **(C)** Banco de ossos físicos montado para uso na rotina do curso de medicina. **(D)** Treinamento ortopédico de técnicas variáveis

usando ferramentas cirúrgicas necessárias nos biomodelos físicos (LIMA, et al., 2022).

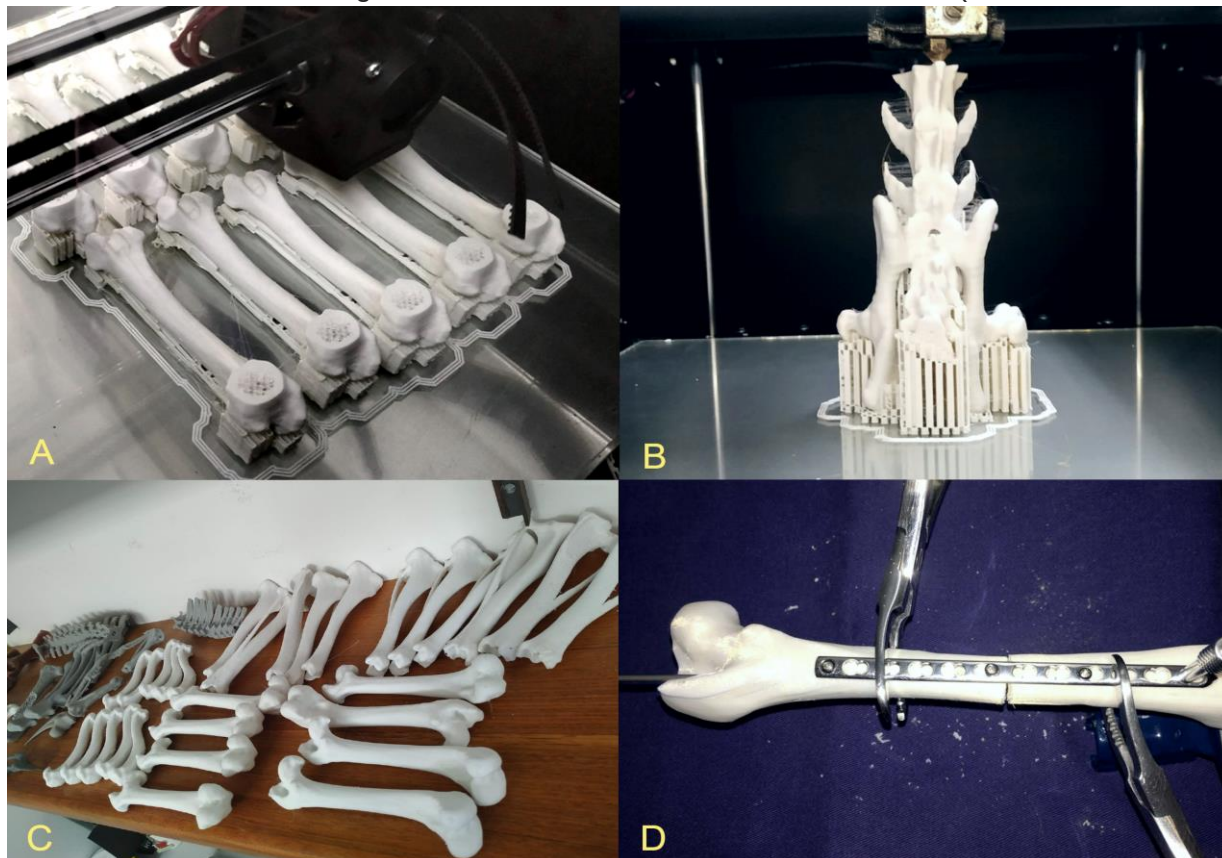


Imagem de acervo próprio

Sendo assim, a impressão 3D emerge como uma ferramenta valiosa no ensino voltado à clínica e cirurgia veterinária, apresentando um enorme potencial ao fornecer uma fonte abundante de materiais didáticos de alta qualidade. Os avanços nas técnicas de imagem têm aprimorado significativamente nossa capacidade de visualizar, estudar e compartilhar arranjos anatômicos complexos de maneira digital. Isso tem um impacto positivo na compreensão das relações anatômicas complexas e na apreciação da natureza morfológica, mesmo em casos de estruturas de difícil acesso (Jeffery et al., 2011; Metscher, 2009; Gignac & Kley, 2014; Collings and Richards, 2019).

2.9 Biomodelos e a sustentabilidade

A busca pela implementação dos 3Rs (Redução, Refinamento e Substituição) como uma meta global na área de pesquisa e ensino merece destaque, uma vez que visa preservar o meio ambiente e suas fontes naturais, reduzir o uso de animais na

rotina acadêmica e científica. Nesse contexto, os biomodelos anatômicos surgem como uma ferramenta valiosa, que pode ser utilizada por pesquisadores, educadores e profissionais da área médica. Esses modelos permitem explorar diferentes opções de tratamento, auxiliar na explicação de casos aos tutores dos pacientes e facilitar a análise conjunta da equipe de residentes para definir a melhor abordagem clínico-cirúrgica. Além disso, a utilização de filamentos biodegradáveis, como o PLA (ácido polilático), na impressão 3D de biomodelos traz benefícios significativos em termos de sustentabilidade. O PLA é um material derivado de fontes renováveis, como amido de milho ou cana-de-açúcar, e apresenta propriedades mecânicas adequadas para a fabricação de biomodelos precisos e duráveis. Sua capacidade de degradação em ambiente natural contribui para a redução do impacto ambiental gerado por resíduos plásticos. Essa abordagem eco-friendly está alinhada com as demandas atuais por práticas sustentáveis na medicina e educação. Portanto, o uso de filamentos biodegradáveis na impressão 3D de biomodelos promove não apenas a substituição do uso de animais vivos em experimentos, mas também um ambiente de aprendizado mais ético e sustentável" (SMITH et al., 2019; GARCIA et al., 2020; Lima et al., 2020; JONES et al., 2021; LIMA et al., 2022).

3 Modelo Animal

Este projeto utilizou como modelo cadáveres de dez cães adultos machos e quatro felinos, ambos as espécies sem raça definida, sem variações anatômicas, pertencentes ao setor de Patologia Veterinária do HOVET-UFMT. Assim como dez imagens de TC pertencentes ao banco de dados do Setor de Diagnóstico por Imagem, que continham a região pélvica de cães machos aleatórios em exames de rotina, também foram utilizadas como controles para a técnica de reproduzidor canino.

4 Material e Métodos

4.1 Preparo Anatômico

Os espécimes foram dissecados o mais fresco possível, não mais do que 24h após a hora da morte, os cadáveres foram mantidos dentro de uma câmara fria no

departamento de Patologia Geral do HOVET. Os espécimes caninos foram posicionados em decúbito dorso ventral, a região de interesse foi tradicionalmente dissecada em bloco, utilizando bisturi n23, pinça e tesoura. Individualmente dissecados tradicionalmente, isolando o crânio e vértebras cervicais do corpo, preservando pele, musculatura e demais tecidos. O coração e pulmões foram removidos em bloco. Assim como as articulações fêmoro-tíbio patelar, isoladas com secção na região medial do fêmur, tíbia e tarso. Para o sistema reprodutor fora delimitado a região abdominal do umbigo ao escroto, focando a preservação das estruturas interligadas; bexiga, próstata, vasos deferentes, escroto, testículos, corpo peniano e glândula. Logo após a dissecação foi inserida uma sonda na uretra para manter o canal aberto, as peças anatômicas frescas foram posicionadas topograficamente para fixação em formol.

Nos espécimes felinos um grupo contendo dois indivíduos foi realizado todos os procedimentos com tecido epitelial e em outro grupo de dois espécimes a técnica de fixação foi realizada após a remoção completa do de todo tecido epitelial. Então a solução de formalina 10% foi injetada no corpo hígido dos animais, utilizando seringa e agulha hipodérmica em pontos estratégicos, como; cavidade abdominal, porção cervical, supra orbital, cavidade torácica, região inguinal. A fim de garantir a fixação simultânea de áreas de maior dificuldade para penetração do formol em pele íntegra, nenhuma incisão foi realizada no cadáver.

Todos os sistema anatômicos foram alocados dentro de caixas plástica com tampa, seu interior foi forrado com um suporte macio adaptado, criando níveis de andaime para posicionar o conjunto de estruturas dissecadas em sua posição topográfica, inserindo papéis toalha macios entre todos os lados dos diferentes anatômicos estruturas. Com as peças posicionadas devidamente, adicionou-se cuidadosamente formol a 10% até sua total cobertura, mantendo-se em processo de fixação por 7 dias.

Todas as peças anatômicas passaram pelas mesmas quatro etapas do processo (dessecação, fixação, tomografia computadorizada, armazenamento em contraste) e foram utilizadas como seu próprio controle de imagem durante o processo. Após a fixação, os modelos foram submetidos à captura de imagem tomográfica tradicional, em seguida, colocados de volta na caixa plástica preenchida com formalina 10% agora com solução de contraste Iohexol 5%. Neste estudo, foi adotado o contraste não iônico do composto Iohexol, da marca Omnipaque®, na

concentração de 300 mg I/ml. A cada sete dias, as peças eram retiradas das caixas e novas tomadas tomográficas eram realizadas nas três semanas seguintes.

4.2 Captura de imagem

Para os exames tomográficos, as peças anatômicas foram retiradas da solução em que se encontravam, lavadas em água corrente para retirar o excesso de contraste, secos com papel toalha e colocados em suporte macio adaptado para manter a posição da morfologia topográfica durante os exames. Para a captação das imagens foi utilizado um SOMATOM® Spirit® CT, seguindo o protocolo; captura de janela de ósseo e janela de tecido mole, Fov 512mm, Kv 130, mAs 80, Slice 1,5mm, Pitch 1,5, captura helicoidal. As imagens foram então salvas e exportadas no formato Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) (SCHWARZ & O' BRIEN, 2011).

4.3 Edição e impressão 3D

A segmentação da imagem foi realizada via software livre, inVesalius®, utilizando a segmentação automática da estrutura, realizando o ajuste da densidade limiar dentro da faixa desejada para selecionar todo o conjunto de estruturas como uma peça única, utilizando a faixa de -700/+225 Hounsfield Unit (HU). Os modelos criados pela interpolação das imagens de mesma densidade foram salvos e exportados no formato .obj. Os arquivos foram abertos em uma versão educacional do software Meshmixer® para suavizar artefatos de captura, corrigir furos no objeto, torná-lo sólido para compatibilidade de fabricação e isolar diferentes estruturas (SILVA E GAMARRA ROSADO, 2014). No sistema urogenital canino a bexiga foi reconstruída usando a ferramenta "Inflar" para recriar a área incompleta. A uretra foi construída digitalmente usando a ferramenta "add tubes". Os modelos foram fragmentados em diferentes partes usando a ferramenta "plane cut" para facilitar o processo de impressão 3D e criar novas perspectivas para seu uso. O software Simplify3D® foi utilizado para estabelecer o protocolo de impressão para cada peça, utilizando como protocolo: Altura de camadas de 0,15mm, 3 camadas externas, 25% de preenchimento, suporte automático, temperatura da mesa a 60°C e bico da extrusora a 210°C, velocidade 40mm/s. Com o setup definido, os arquivos foram

enviados para uma impressora 3D Ender® 5 Pro, utilizando um filamento de Ácido Polilático (PLA) de 1,75mm da marca 3DLAB®.

4.4 Biomodelos

Diferentes biomodelos foram elaborados e impressos, possuindo arranjos com componentes isolados e outros biomodelos com todas as partes conectadas em arranjos complexos. Os produtos finais foram inseridos na metodologia de ensino teórico e prático dos residentes do centro cirúrgico do HOVET-UFMT por seus professores responsáveis, permitindo à equipe discutir e simular diversas técnicas como; cateterismo urinário, coleta de material biológico, abordagens cirúrgicas, compreensão da topografia, patologias da próstata, técnica de palpação clínica, abordagens de castração. Tanto os biomodelos físicos quanto os digitais foram disponibilizados para toda a equipe cirúrgica e mantidos à disposição para uso diário. Para os alunos de graduação, foram utilizados apenas dados digitais como material de apoio educacional.

5 Resultados

Afirmamos que a dissecação tradicional e fixação em formalina 10% de arranjos complexos de tecidos moles permite a penetração do corante iohexol por difusão nos tecidos fixados em seu padrão topográfico. Proporcionando melhor definição de imagem capturada por tomografia computadorizada, mesmo as mais delicadas como os ductos deferentes do sistema reprodutor canino (Figura 7). Tornando mais clara a identificação dos componentes estruturais devido à sua cor mais branca nas imagens médicas que antes estavam dentro do espectro cinza e consequentemente melhorando beneficiando a técnica de segmentação de imagens médicas e a impressão 3D.

Figura 7: **(A)** Imagem transversal do sistema reprodutor de cão macho, evidenciando os diferentes gradientes de densidade tecidual, com osso peniano em coloração branca, uretra em coloração preta e demais estruturas dentro da variação de cinza. **(B)** Processo de impressão 3D FDM mostrando o interior da peça anatômica, sendo o seu preenchimento adaptável para a quantia desejável. **(C)** Etapa de impressão onde os ductos deferentes em

tamanho real são reproduzidos em cima de suportes de sustentação. **(D)** Peça anatômica finalizada em posição topográfica com os suportes de impressão removidos, seta indicando os ductos deferentes.

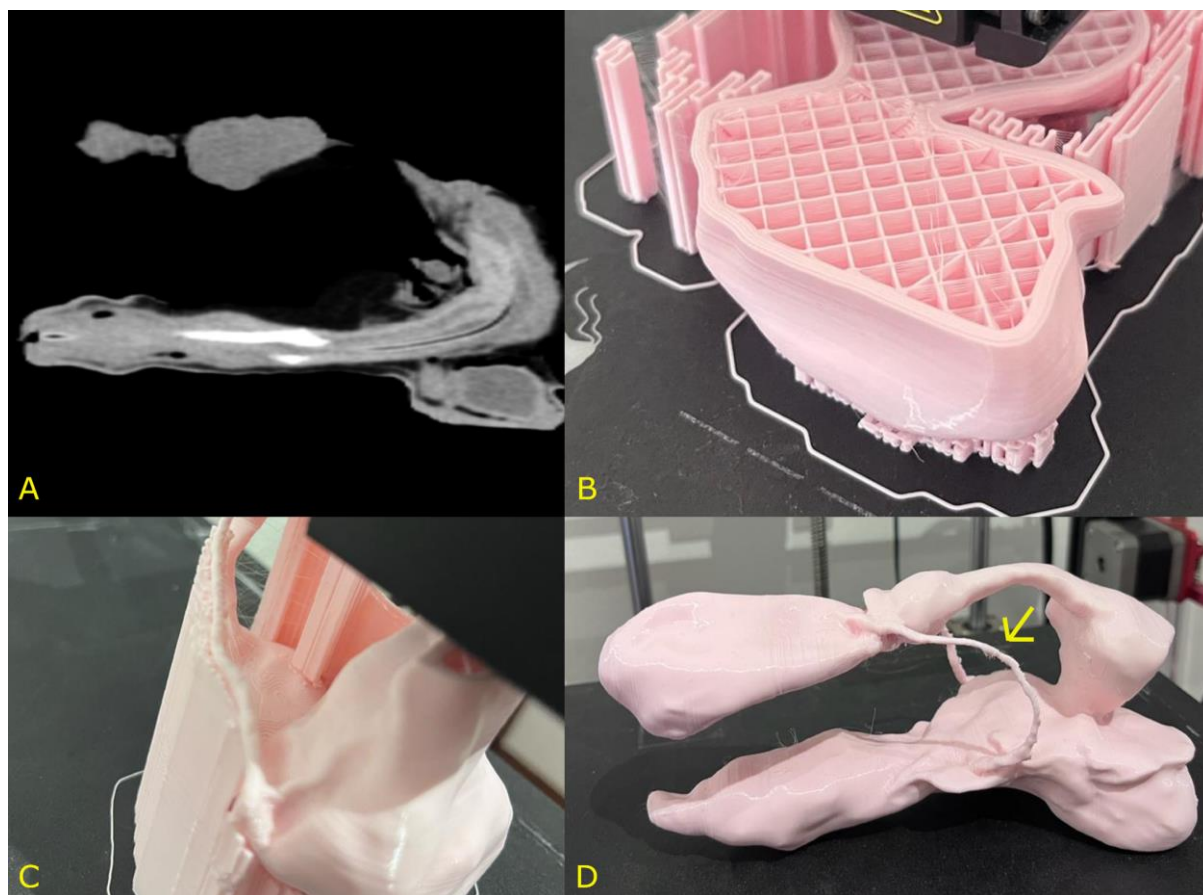


Imagem da própria pesquisa.

As peças dissecadas da região crânio-cervical, articulação fêmuro-tíbio-patelar e os espécimes felinos apresentaram um desempenho insatisfatório quanto a homogeneidade da coloração e viabilidade para segmentação das peças. Os modelos crânio-cervical apresentam uma penetração exacerbada na região de secção cervical devido a grande exposição direta à solução nos tecidos musculares, os tornando mais radiodensos que os tecidos presentes na região cranial dentro do mesmo intervalo de tempo imerso. Também se mostrou ineficaz o uso de iohexol para corar o tecido encefálico, sendo este agente inapto a transpassar a barreira hematoencefálica e assim alcançar o encéfalo (Figura 8).

Figura 8: Representação da região crânio cervical após imersão em contraste em secções tomográficas. **(A)** Reconstrução 3D com filtro MIP sem alteração pelo contraste. **(B)** imagem tomográfica lateral da região evidenciando a hipercoloração das estruturas dos tecidos moles

sem alterações no encéfalo. **(C)** Corte dorso-ventral onde a musculatura mandibular se encontra com a mesma radiodensidade das estruturas ósseas. **(D)** Corte transversal da região cervical, impossibilitando a distinção das estruturas adjacentes devido a hiperpigmentação.

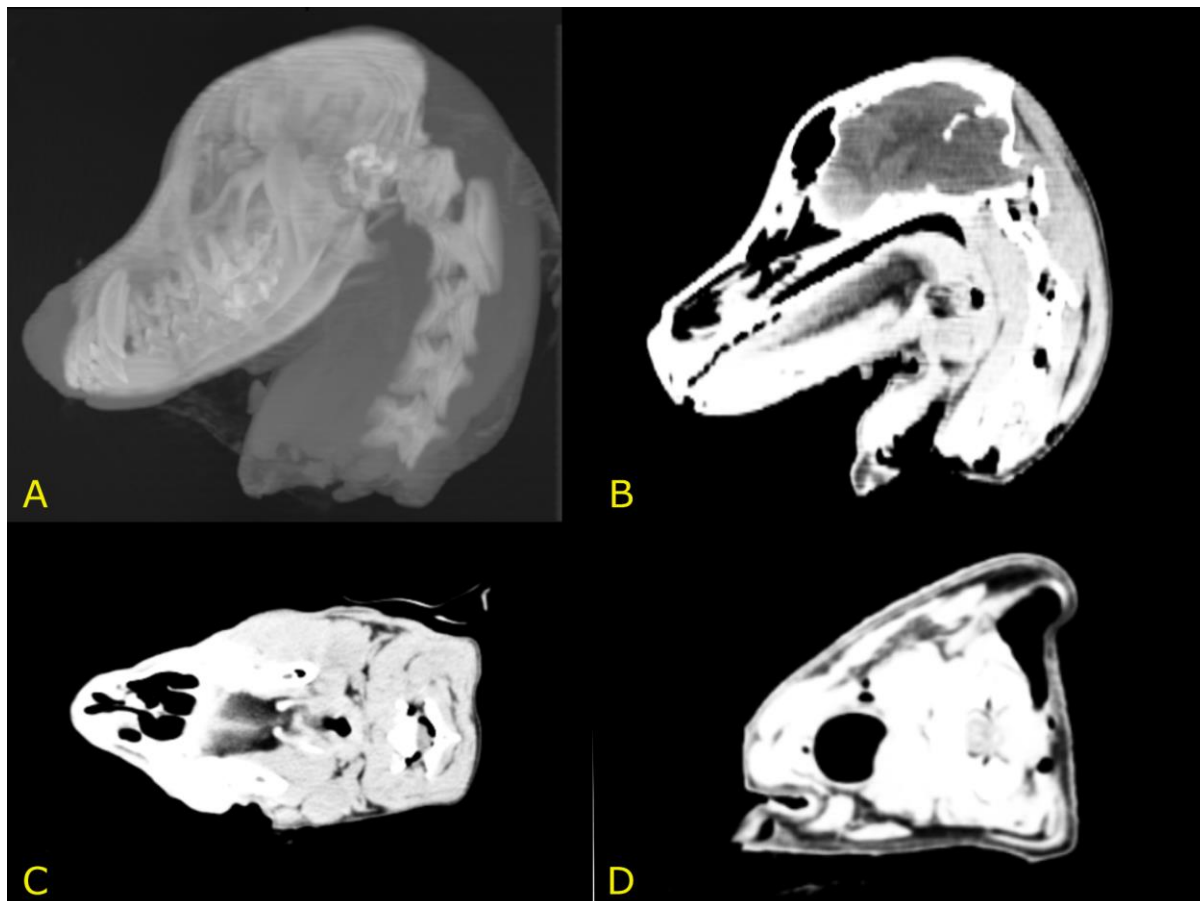


Imagem da própria pesquisa.

As estruturas da região articular desempenharam uma hiper-coloração também pela exposição direta do tecido muscular à solução, os inviabilizando para segmentação das estruturas articulares presentes, não sendo possível averiguar sua ação nas cápsulas articulares.

Ambos coração e pulmões se mostraram viáveis para execução da técnica de coloração por imersão, permitindo que a solução adentrar nas estruturas desejadas aumentando a sensibilidade da técnica radiográfica. Nos pulmões a alteração de densidade permitiu que além da delimitação lobular, os brônquios e bronquíolos ganhassem maior distinção estrutural devido a densidade negativa presente nos mesmos (Figura 9).

Figura 9: Corte transversal do coração e pulmões, tendo acúmulo de contraste dentro das câmaras cardíacas e nos lobos pulmonares. Devido ao contraste negativo os brônquios e bronquíolos se mostram em maior evidência.

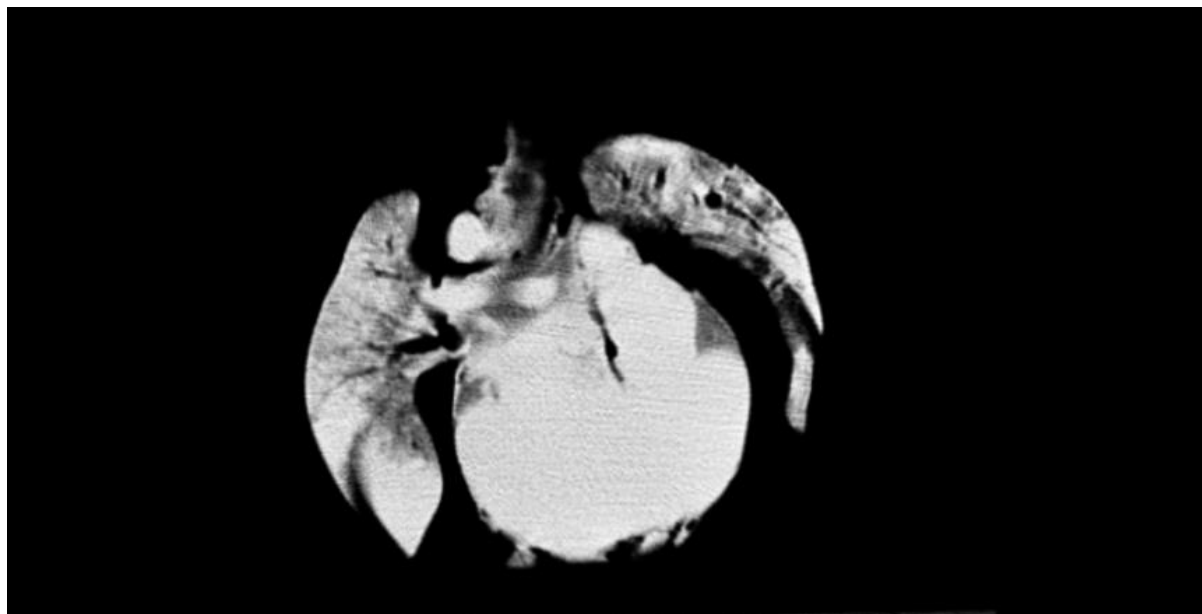


Imagem da própria pesquisa.

As peças sem exposição ao contraste, quando dissecadas, fixadas e submetidas à TC, apresentam menor refinamento de imagem devido à radiolucência e inespecificidade das estruturas, gerando mais artefatos de imagem no modelo 3D segmentado. A melhor qualidade de imagem foi alcançada quando as peças fixadas permaneceram duas semanas imersas em solução de 5%, não gerando melhores imagens após este tempo e concentração. Peças imersas em solução com concentração de 10% apresentaram uma coloração acentuada das áreas em contato direto com o agente e coloração incompleta em suas estruturas mais internas, inviabilizando a captação das imagens após sete dias imersas. Sendo este parâmetro não recomendado.

A segmentação digital automática em imagens tomográficas médicas de rotina se mostrou insatisfatória para seu uso como ferramenta para obtenção de arranjos anatômicos complexos. Reforçando às limitações da técnica de TC para tecidos moles, apresentando baixo grau de distinção e qualidade de identificação nos exames radiográficos, impossibilitando a realização da interpolação das imagens para a segmentação completa das estruturas desejadas.

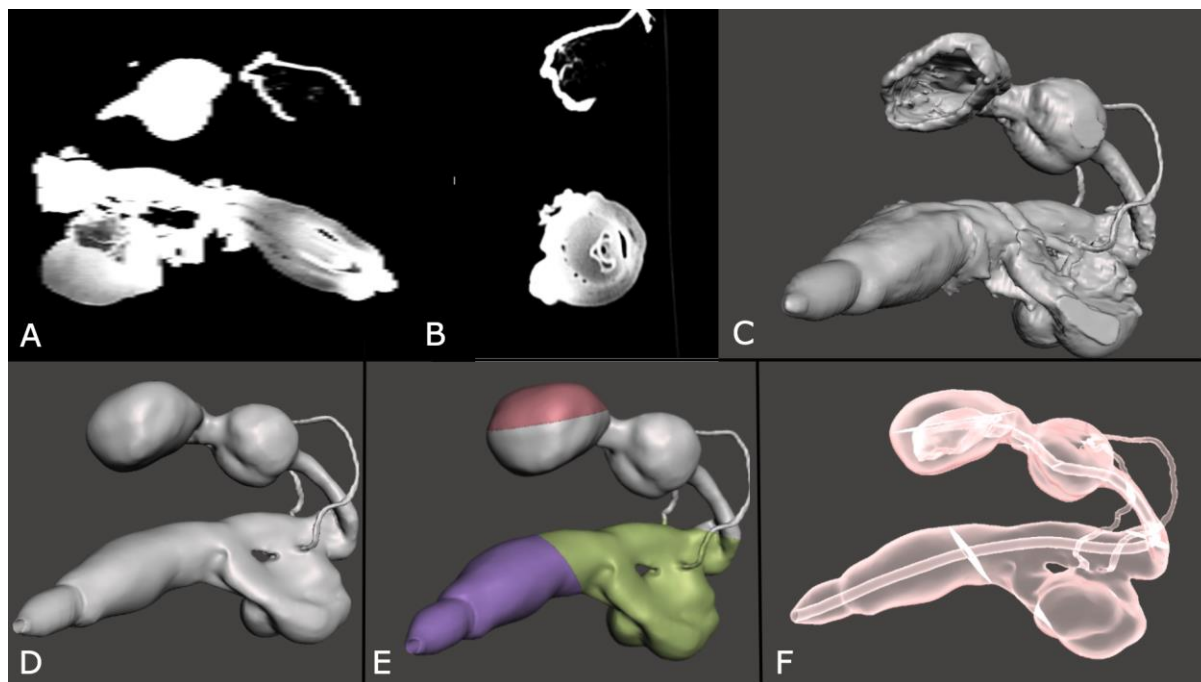
6 Discussão

Os biomodelos podem ser aplicados por educadores e profissionais para esclarecer diferentes opções de tratamento, explicar o caso aos tutores e analisar a melhor abordagem, promovendo o planejamento clínico-cirúrgico ao simular as estruturas envolvidas e gerando bem-estar do paciente. Em sala de aula, o uso dessa ferramenta promoveu uma boa assimilação e refletiu positivamente na curva de aprendizado, pois permitiu aos alunos transitem entre o mundo físico e o virtual de forma dinâmica e interativa (SINGHAL et al., 2016; REIS et al. , 2017; BORDELO et al., 2018). Os biomodelos anatômicos impressos em 3D oferecem a vantagem de casos de treinamento mesmo em tecidos não mineralizados com acurácia. Visto que as dimensões da peça impressas em 3D são as mesmas que as capturadas pela tomografia, possuindo menos de $\pm 2\%$ de variação dimensional geral (LIMA et al., 2020; NGUYEN et al., 2023).

Mesmo com a sonda introduzida na uretra do sistema urogenital canino, devido à solução líquida, uma parte residual permaneceu no lúmen do ducto, gerando imagens sólidas, como se o canal tivesse colapsado. Tal ocorrência pode ser resolvida no processo de edição do modelo digital no software Meshmixer, com a ferramenta “adicionar tubos”. Permitindo que o canal fosse criado entre dois pontos pré-designados, posteriormente seu posicionamento permitiu que o tamanho da luz do tubo fosse regulado em milímetros em ambas extremidades, facilitando a uniformidade no canal e garantindo sucesso na sondagem total do canal uretral até o lúmen da vesícula urinária (Figura 10). É um marco para a medicina e áreas afins, a possibilidade de criar biomodelos físicos específicos que dificilmente seriam encontrados comercialmente. Os avanços nas técnicas de imagem médica em modelos anatômicos permitem maior amplitude para a medicina digital, melhorando drasticamente nossa capacidade de visualizar digitalmente, entender, estudar e compartilhar arranjos anatômicos complexos de tecido mineralizado e com uso da técnica de diceCT também os tecidos moles, que muitas vezes possuem de difícil acesso (GIGNAC & KLEY, 2014; LI et al., 2016; CHEN et al., 2017).

Figura 10. Capturas de tela dos procedimentos de edição de imagens 3D. (A) Imagem tomográfica lateral do trato urogenital corada com iohexol, exibida no software inVesalius, com bexiga, próstata, testículos e pênis visíveis. (B) Imagem tomográfica em corte transversal do complexo anatômico corado, com bexiga e corpo do pênis visíveis. (C) Reconstrução da

malha poligonal obtida via segmentação digital. (D) Biomodelo anatômico editado com texturas suavizadas, bexiga e uretra reconstruídas digitalmente. (E) Imagem dos cortes planos feitos na peça para facilitar a impressão e estudo. (F) imagem do interior do biomodelo, mostrando os cortes planos, a uretra e o lúmen da bexiga.



A impressão 3D FDM mostrou resultados bastante satisfatórios replicando biomodelos submetidos a técnica de diceCT, com alto grau de realismo morfológico e resistência ao manuseio dos envolvidos. Devido a escolha do uso de PLA termoplástico, os modelos são biosseguros, biodegradáveis e recicláveis, favorecendo a preservação do meio ambiente, das fontes renováveis e colaborando para a redução do uso de animais no ensino e pesquisa. Vale ressaltar que é necessário adequar o protocolo para cada modelo anatômico complexo, quando aplicado para outras áreas de interesse. A habilidade e malícia do profissional de edição e impressão 3D são essenciais para otimizar o processo de prototipagem, minimizar erros e tentativas ao longo do processo (CHEN et al, 2017; BORDELO et al., 2018; LIMA et al, 2019; LIMA et al, 2020).

O processo para produção manufaturada dos biomodelos é economicamente vantajoso, além do valor educacional, foi possível demonstrar sua rentabilidade para produção dos biomodelos do sistema urogenital canino, sendo possível replicar modelos em um curto tempo de impressão, utilizando uma baixa quantidade de material PLA e refletido em baixo valor individual para a produção. Neste experimento

o tempo de impressão, custo e peso médio por peça foi de 18h 04min, R\$18,32 e 150,66g (Tabela 1).

Tabela 1. Valores individuais e tempo médio de impressão, valor por grama de filamento de PLA, peso em gramas de PLA e dimensões do sistema urogenital de cães machos.

	Tempo de Impressão 3D	Custo de Filamento/R\$	Peso de PLA/g	Dimensão X-Y-Z mm
Modelo 1	17h 23min	17,05	110,25	75,39 / 84,91 / 175,20
Modelo 2	12h 04min	12,94	107,08	86,78 / 88,99 / 166,01
Modelo 3	14h 15min	15,15	126,21	75,45 / 82,33 / 159,64
Modelo 4	20h 25min	26,89	224,12	78,99 / 101,72 / 183,01
Modelo 5	17h 31min	17,42	145,18	76,33 / 85,97 / 177,37
Modelo 6	27h 41min	29,09	242,42	95,13 / 107,14 / 221,04
Modelo 7	14h 14min	13,15	109,55	70,51 / 79,41 / 163,85
Modelo 8	15h 49min	15,07	120,60	76,61 / 82,90 / 171,05
Modelo 9	19h 49min	19,39	161,55	82,66 / 93,10 / 192,09
Modelo 10	17h16min	17,05	159,64	75,39 / 84,91 / 175,20
Médias	18h 04min	18,32	150,66	79,32 / 89,14 / 178,44

Fonte: Dados da própria pesquisa.

A aplicação no dia a dia do centro cirúrgico clínico promoveu discussões de casos e simulações de forma dinâmica, gerando muito entusiasmo na equipe e proporcionando uma compreensão clara e direta dos temas abordados. Alguns residentes utilizaram material físico e digital para exemplificar a área de cirurgia e os cuidados pós-cirúrgicos necessários aos tutores. A técnica da sonda uretral foi a mais realizada pelos envolvidos no treinamento e a que mais gerou tensão na equipe antes das aulas. Após o treinamento livre, os residentes sentiram-se aptos a realizar a técnica na rotina clínica quando necessário (BORDELO et al., 2018; REIS et al., 2017). Os alunos da graduação demonstraram grande interesse pelas aulas que utilizaram o biomodelo digital, e também aprovaram o uso do aplicativo como material de apoio para estudo a distância. Recomendamos que em estudos futuros o uso de questionários para coleta de dados focais seja aplicado em ensino e treinamento para melhor compreensão do impacto e do processo de aprendizagem.

A produção do biomodelo permite que as instituições criem e ampliem bibliotecas didáticas, sem a preocupação de criar novas instalações para armazenamento e descarte de material biológico. No centro cirúrgico, alguns modelos ósseos, estruturas de malformação congênita e sistema urogenital do cão ficaram a disposição em prateleiras ao longo da área comum do centro cirúrgico, facilitando a dinâmica de seu uso na rotina diária (LIMA et al., 2019; LIMA et al., 2020). Os modelos em formato digital (.obj e .stl) são compatíveis com os aplicativos gratuitos (EMB3D, Exocad) para visualização e interação com as estruturas 3D, disponíveis para computadores, tablets e smartphones. Sendo uma ferramenta poderosa com fácil compatibilidade de uso, portabilidade e armazenamento pessoal (Figura 11).

Figura 11: Processo de criação e ampliação de bibliotecas educacionais físico-digitais. (A) Captura de imagens médicas via TC, equipamento SOMATOM Spirit®. (B) Processo de prototipagem rápida de estruturas anatômicas digitalizadas e editadas. (C) Biomodelo didático de partes do trato urogenital impresso em PLA e conectado por sonda uretral. (D) Utilização do modelo digital de forma interativa em multiplataformas de acessibilidade, de forma a otimizar o ensino e o acesso à informação.

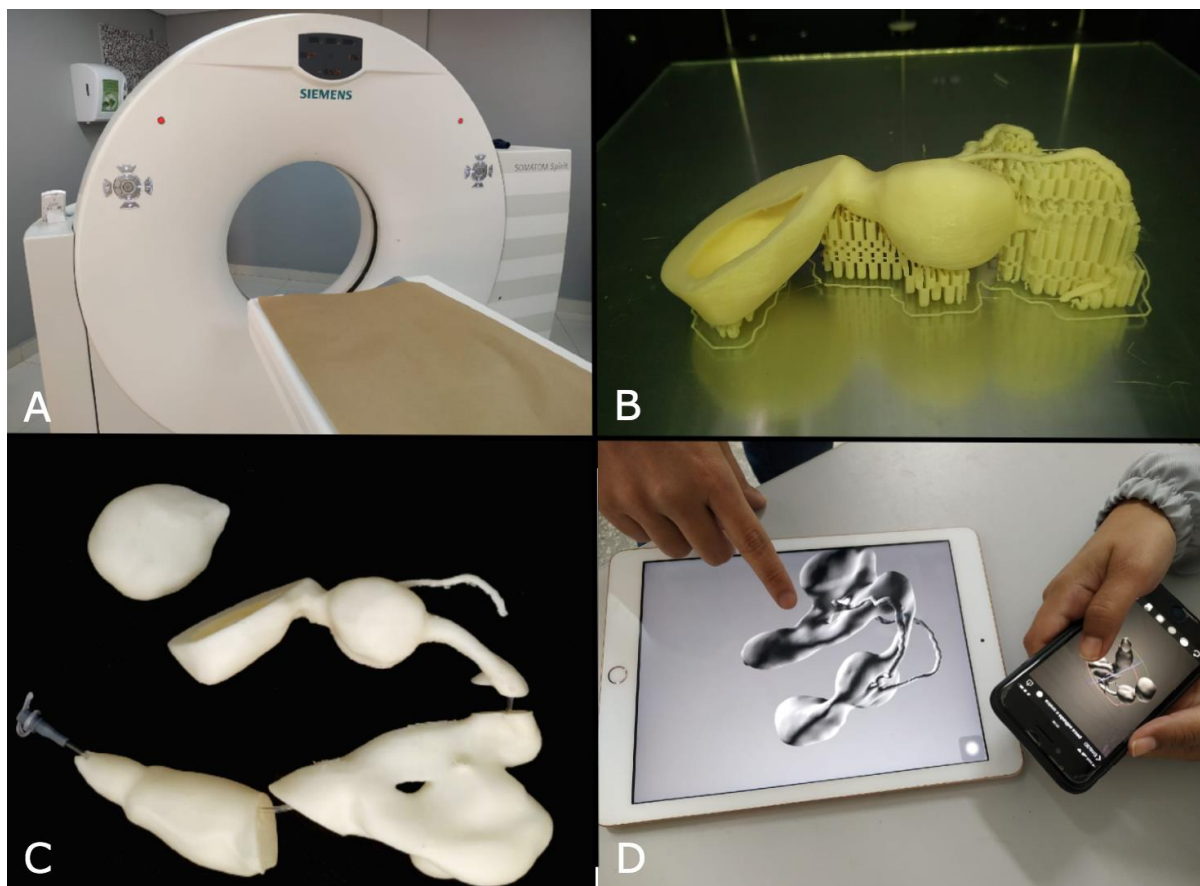


Imagem da própria pesquisa.

A técnica de imersão de peças anatômicas fixadas em solução com contraste tem sido aplicada em embriões, invertebrados e pequenos vertebrados pós-embrionados capturados por mCT, aumentando exponencialmente a qualidade dos dados obtidos. Seu sucesso está ligado ao correto grau de penetração dos trómeros de iodo e sua ligação aos tecidos moles, diferenciando-os entre si (GIGNAC & KLEY, 2014). É um protocolo oneroso para ser replicado em espécimes de companhias inteiras, como cães e gatos adultos devido ao volume total necessário para imersão em solução de contraste. A utilização da parte dissecada e imersa é uma opção a ser considerada para a captação dos arranjos de forma mais rápida e econômica devido às dimensões físicas das estruturas.

Os espécimes felinos, ambos os com tecido epitelial e os que foram removidos, apresentaram similaridades em sua ineficiência. No processo de imersão em solução uma grande quantidade de agente teve contato com a região orotraqueal o que promoveu uma coloração acelerada na luz da região crânio-cervical, gerando um padrão heterogêneo na coloração. Os espécimes os quais o tecido epitelial havia sido

removido apresentaram mais eficiência na absorção do agente para região abdominal de forma uniforme quando comparado com os espécimes com epitélio (Figura 12 e Figura 13).

Figura 12: Imagens seccionais do felino via CT sete dias imersos em contraste. **(A)** região cranial apresentando indiferenciação entre a musculatura mandibular, ossos do crânio e mandíbula evidenciados em branco. **(B)** arranjo muscular dos membros torácicos, com evidência da escápula como parâmetro. **(C)** região abdominal com presença de arranjos musculares e órgãos do trato gastrointestinal em escala de cinza e presença de gases em preto na parte inferior das estruturas. **(D)** Região Pélvica com os arranjos musculares em escala de cinza e femur, tibia, fibula e vértebras em branco.

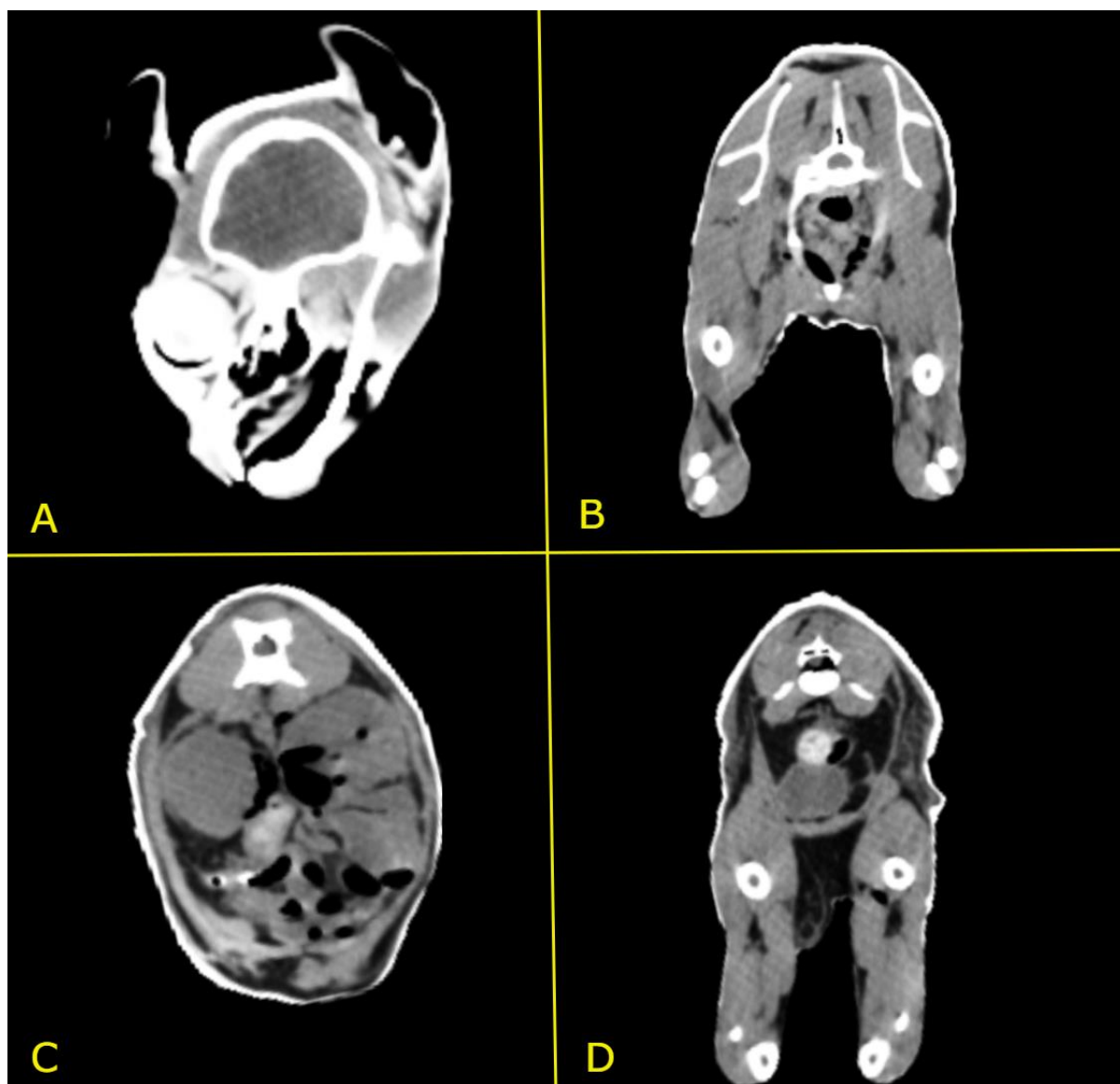


Imagem da própria pesquisa.

Figura 13 Imagens seccionais do felino imerso a 14 dias em solução de iohexol 10%. **(A)** Região cranial com intensa penetração de contraste via oral e ocular, com indiferenciação entre a musculatura. **(B)** Discreta penetração do agente de contraste nos tecidos na região dos membros torácicos e forte aderência ao tecido epitelial em torno do animal. **(C)** Região abdominal apresentando forte aderência do contraste no tecido epitelial e início na diferenciação entre vísceras e musculatura dorsal e dos músculos abdominais. **(D)** Região pélvica com acúmulo de contraste no tecido epitelial e discreta diferenciação entre os grupos musculares dorsais e do membro.

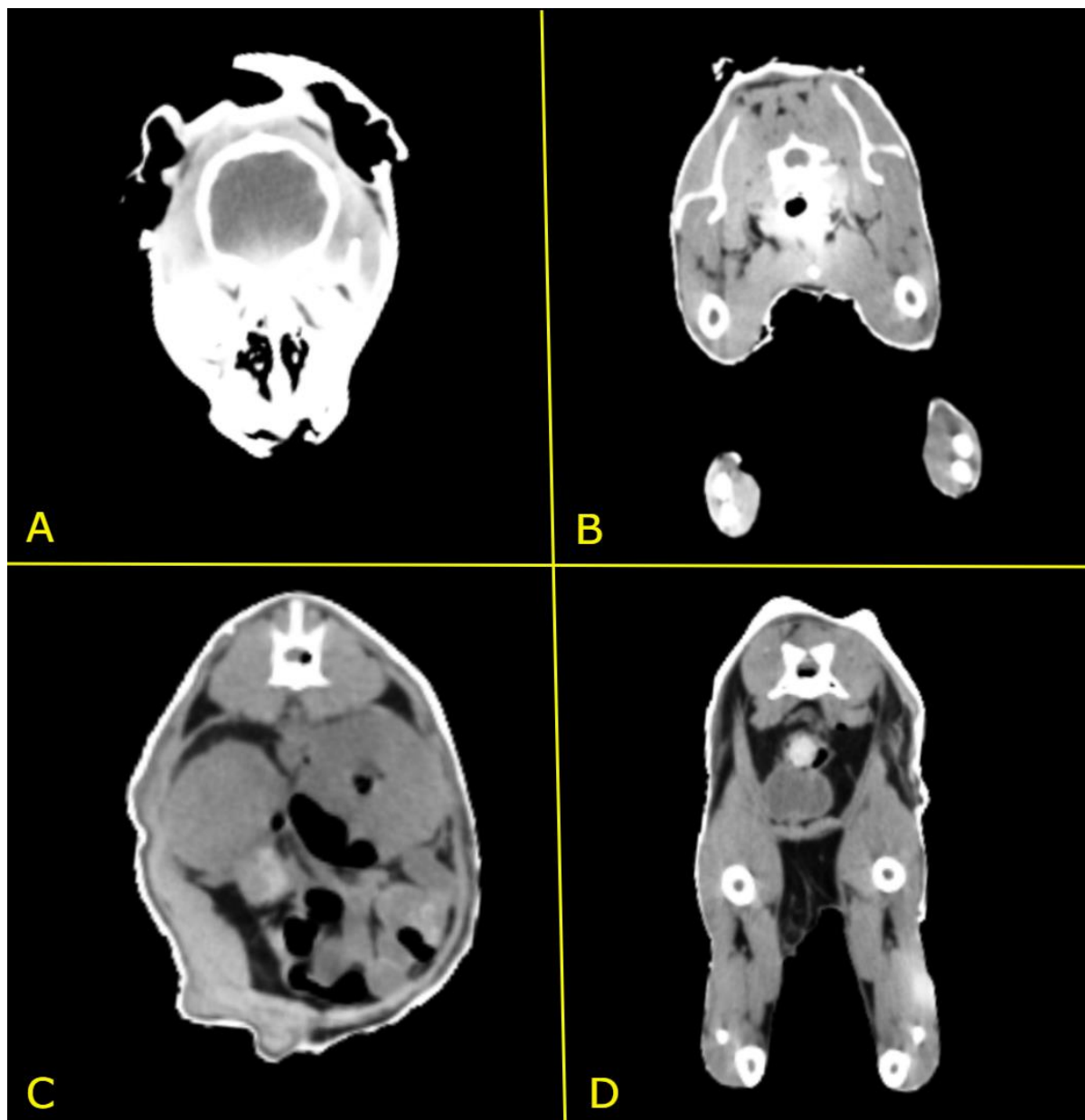


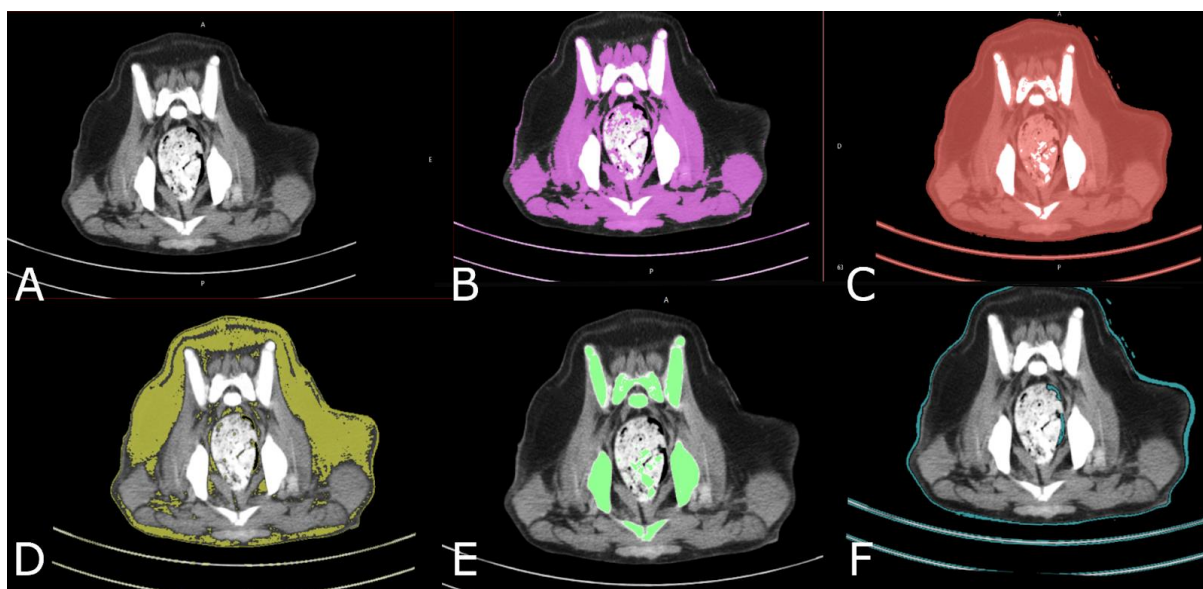
Imagem da própria pesquisa.

Imagens médicas de rotina usadas para obter o sistema urogenital masculino do cão mostraram-se ineficazes no processo de segmentação. Este processo

depende da delimitação de pixels de um mesmo conjunto para criar uma área nas projeções tomográficas dentro de uma mesma escala de cores (densidade), formando assim um objeto tridimensional através da interpolação das imagens captadas. Sendo facilmente identificado é executado com tecido mineralizado devido ao contraste visual dos pixels brancos com os demais cinzas e pretos.

Quando a técnica é aplicada em exames de rotina para extração do aparelho urogenital, o software produz modelos anatômicos inespecíficos, interligando as estruturas musculares esqueléticas e as vísceras do aparelho digestivo com o aparelho urogenital. Os limiares de densidade predefinidos do software foram aplicados com resultados insatisfatórios para o objetivo proposto, com os filtros aplicados; tecidos mole, muscular, adiposo, epitelial e ósseo (Figura 14). A técnica de segmentação manual não foi aplicada neste projeto devido ao seu alto nível de complexidade e habilidades necessárias para execução.

Figura 14. Imagens do banco de dados de rotina médica do HOVET-UFMT de cães machos, mostrando a região pélvica em cortes transversais de um cão macho submetido à segmentação automática. (A) Imagem tomográfica sem aplicação de segmentação, controle. (B) Segmentação com limiar de tecido muscular, variando de -5 a +135 HU. (C) Segmentação com limiar de partes moles variando de -700 a +225 HU. Segmentação com limiar de tecido adiposo, variando entre -205 e -51HU. (D) Segmentação com limiar de tecido ósseo variando de +226 a +1931 UH. (E) Segmentação com limiar de tecido epitelial, variando entre -718 e -177 UH.



Fonte: Dados da própria pesquisa.

O processo de dissecar as estruturas específicas, fixá-las e corá-las sequencialmente com um agente de contraste para que possam ser digitalizadas mostra-se trabalhoso, mas extremamente eficaz na geração de modelos digitais análogos aos biológicos. Essa técnica permite que uma equipe de ciência básica produza de forma autônoma um arranjo anatômico complexo digital sem a necessidade de conhecimento de modelagem virtual. Tanto a técnica de dissecação quanto o uso de contraste na rotina médica são processos bem conhecidos, assim como a captação de imagens radiográficas, sendo o diferencial técnico a etapa de fixação em posição topográfica utilizando suportes estruturais moldados individualmente e a associação das técnicas, garantindo que as estruturas fossem impregnadas com o agente iohexol e coradas, facilitando a identificação da morfologia completa no processo de segmentação. Estudos em impressão 3D de estruturas anatômicas obtidas por TC são um marco para a anatomia clínica-cirúrgica, e o uso de agentes de contraste em arranjos anatômicos de tecidos moles fixos é uma forma de ampliar as possibilidades de digitalização de modelos complexos. Gerando assim dados morfométricos físicos e digitais com alta precisão, biossegurança, passíveis de serem reciclados, com grande versatilidade de aplicações em instituições de ensino superior e pesquisa.

7 Conclusão

Afirmamos que a utilização de peças anatômicas frescas, isoladas, fixadas em formol a 10% e posteriormente submersas em solução concentrada de iohexol a 5% para captação via TC é uma combinação de técnica de grande valia para a área anatômica para captação e confecção de modelos de total sistema urogenital de cães machos. Possibilitando a criação de biomodelos digitais interativos com alta resolução e protótipos fac-símiles utilizando material sustentável e reciclável.

A utilização do meio de contraste em partes anatômicas fixas de animais domésticos, associado às técnicas de TC e impressão 3D, tem muito a contribuir em diversas áreas da medicina veterinária, tanto na teoria quanto na prática. Impulsionando o surgimento de mais bibliotecas digitais, coleções de casos rotineiros, ampliando as abordagens teórico-práticas dos procedimentos e facilitando o compartilhamento de dados entre os profissionais.

O custo do filamento e do equipamento associado ao tempo de produção das réplicas dos biomodelos mostrou-se um ponto bastante vantajoso para a equipe veterinária, possibilitando a obtenção dos modelos impressos em até 24 horas após a captura tomográfica. Este estudo veio corroborar a expansão das aplicações de diceCT visando a replicação completa do processo de obtenção de biomodelos, sendo uma forma inovadora e ousada de capturar arranjos anatômicos complexos de animais de companhia fixados em formol impregnado com contraste iohexol.

Mais estudos nesta área são necessários para que haja um refinamento das técnicas de diceCT para sistemas complexos, com outros agentes e áreas anatômicas de interesse. É meta alcançar o desenvolvimento de materiais didáticos médicos de baixo custo e ecologicamente corretos, realistas, morfologicamente confiáveis e de fácil acesso em todo o mundo, reduzindo o uso de animais em aulas, pesquisas e auxiliando na aplicação dos 3Rs.

Referências

AHN, S. J., et al. (2018). 3D-printed patient-specific applications in orthopedics. **Orthopedic Research and Reviews**, 10, 49-56. DOI: 10.2147/ORR.S166414

ACR-NEMA. (1985). Digital imaging and communications in medicine (DICOM). American College of Radiology, **National Electrical Manufacturers Association**. Recuperado de <http://dicom.nema.org/>

BAILLEUL, A. M., O'Connor, J. K., & Schweitzer, M. H. (2019). Evolutionary implications of mineralized soft tissues in amniotes. **BioEssays**, 41(1), e1800257. DOI: 10.1002/bies.201800257

BUSHBERG, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt Jr, E. M., & Boone, J. M. (2011). The essential physics of medical imaging. Lippincott Williams & Wilkins

CHEN, S. et al. The role of three-dimensional printed models of skull in anatomy education: a randomized controlled trail. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1-11, 2017.

CASTROS, S., Guillemot, F., & Fricain, J. C. (2016). Laser-assisted bioprinting for creating on-demand patterns of human osteoprogenitor cells and nano-hydroxyapatite. **Biofabrication**, 8(2), 025019.

CHEPELEV, L., et al. (2018). Radiological Society of North America (RSNA) 3D printing Special Interest Group (SIG): guidelines for medical 3D printing and appropriateness for clinical scenarios. **3D Printing in Medicine**, 4(1), 1-12. DOI: 10.1186/s41205-018-0030-y

CORMACK, A. M. (1973). Representation of a Function by Its Line Integrals, with Some Radiological Applications. **Journal of Applied Physics**, 34(9), 2722-2727. DOI: 10.1063/1.1702676

CROY, B. A.; DOBSON, H. Radiology as a tool for teaching veterinary anatomy. **Journal of Veterinary Medical Education**, v. 30, n. 3, p. 264-269, 2003.

CRUMP, S. (1989). Apparatus and method for creating three-dimensional objects. Patent No. US5121329A.

ESTAI, M.; BUNT, S. Best teaching practices in anatomy education: A critical review. **Annals of Anatomy-Anatomischer Anzeiger**, v. 208, p. 151-157, 2016.

GARCIA, J. et al. 3D printing with sustainable PLA of medical grade: filament properties, printed objects and environmental impacts. **Materials Today Communications**, v. 25, p. 101643, 2020.

GIGNAC, P. M., & Kley, N. J. (2014). Iodine-enhanced micro-CT imaging: methodological refinements for the study of the soft-tissue anatomy of post-embryonic vertebrates. **Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution**, 322(3), 166-176. DOI: 10.1002/jez.b.22537

GRANDE NETO, F., et al. Uma revisão sobre prototipagem rápida: princípios, processos e aplicações na área médica. Proceedings of the 23rd **ABCM International Congress of Mechanical Engineering**, 2016. DOI: 10.12957/9788578110791

Gross, B. C., et al. Applications of 3D printing in cardiovascular diseases. **Nature Reviews Cardiology**, 11(2), 109-117, 2014. DOI: 10.1038/nrcardio.2013.181

GROSS, B. C. et al. Evaluation of 3D printing and its potential impact on biotechnology and the chemical sciences. **Analytical Chemistry**, v. 86, n. 7, p. 3240-3253, 2014.

GUERRA NETO, C. L. B. et al. **Tecnologia 3D na saúde**: uma visão sobre órteses e próteses, tecnologias assistivas e modelagem 3D. Natal: SEDIS-UFRN, 2018.

HESPEL, A.; WILHITE, R.; HUDSON, J. Invited review-applications for 3D printers in veterinary medicine. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 55, n. 4, p. 347-358, 2014.

HOUNSFIELD, G. N. (1973). Computerized transverse axial scanning (tomography): Part I. Description of system. **The British Journal of Radiology**, 46(552), 1016-1022. DOI: 10.1259/0007-1285-46-552-1016

MANNING, S. T. Brief History of Anatomy. **Radiologic Technology**, v. 84, n. 5, p. 519M-538M, 2013. DOI: 10.1097/RCT.0b013e318299a6e6.

JONES, R. et al. Sustainable 3D Printing: Combining Biopolymers with Recycled Reinforcement Materials. **Macromolecular Materials and Engineering**, v. 306, n. 10, p. 2100172, 2021.

LI, Z. et al. Comparison and Evaluation of the Effectiveness of Two Approaches of Diffusible Iodine-Based Contrast-Enhanced Computed Tomography (diceCT) for Avian Cephalic Material. **J. Exp. Zool.**, p. 352–362, 2016. DOI: 10.1002/jez.b.22692

LIM, K. S., et al. (2021). Three-dimensional printing and its applications in the management of complex anatomical abnormalities. **Journal of Clinical Medicine**, 10(7), 1396. DOI: 10.3390/jcm10071396

LIMA, F. J., et al. Segmentação de imagens de tomografia computadorizada para aplicação em prototipagem rápida. **Revista Engenharia Biomédica**, 36(2), 76-84, 2020.

LIMA, L. F. S. et al. Photogrammetry and 3D prototyping: A low-cost resource for training in veterinary orthopedics. **Ciência Rural**, v. 49, n. 12, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20180929>

LIMA, L. F. S. et al. 3D printing as a diagnostic tool for congenital malformation in a brachycephalic dog. **Ciência Rural**, v.50:8, e20190589, 2020. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190589>

LIMA, L. F. S. et al. Reduce, Reuse and Recycle: Associations of New 3D Technologies Focused on Improving Practical and Theoretical Veterinary Education. **London Journals Press - Health Research**, [S.l.], v. 22, n. 7, p. Compilation 1.0, 2022.

MCMENAMIN, P. G. et al. The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. **Anatomical Sciences Education**, v. 7, n. 6, p. 479-486, 2014.

MEYER, J. P., et al. (2019). Additive manufacturing techniques and their biomedical applications. **International Journal of Nanomedicine**, 14, 6039-6054. DOI: 10.2147/IJN.S218546

MURPHY, S. V., & Atala, A. (2014). 3D bioprinting of tissues and organs. **Nature biotechnology**, 32(8), 773-785.

OZKADIF, S.; EKEN, E. Modernization process in veterinary anatomy education. **Energy Education Science and Technology - Part B**, v. 4, n. 2, p. 957- 62, 2012.

PHAM, D. L., Xu, C., & Prince, J. L. (2000). Current methods in medical image segmentation. **Annual Review of Biomedical Engineering**, 2(1), 315-337. DOI: 10.1146/annurev.bioeng.2.1.315

REIS, D. A. L. et al. Biomodelos ósseos produzidos por intermédio da impressão 3d: uma alternativa metodológica no ensino da anatomia veterinária. **Revista de Graduação USP**, v. 2, n. 3, p. 47-53, 2017.

RUSSEL, W. M. S.; BURCH, R. L. **The Principles of humane experimental technique**. England: Universities Federation for Animal Welfare, 1992.

SHI, Y., et al. (2021). Applications of 3D printing in craniofacial surgery: a review. **Frontiers in Surgery**, 8, 643990. DOI: 10.3389/fsurg.2021.643990

SMITH, J. et al. Sustainable 3D Printing Materials for Health Applications: A Review. **Advanced Healthcare Materials**, v. 8, n. 15, p. 1901379, 2019.

STRANG, V. (2010). The history of veterinary anatomy education: Part 1—antiquity to the Renaissance. **Journal of Veterinary Medical Education**, 37(2), 108-116. DOI: 10.3138/jvme.37.2.108

SWAMY, M.; SEARLE, R. F. Anatomy teaching with portable ultrasound to medical students. **BMC Medical Education**, v. 12, n. 1, p. 99, 2012.

SWINDLE, M. M., & Smith, A. C. (2014). History of animal anatomy. In F. S. Hafez & J. J. Hafez (Eds.), **Reproduction in Farm Animals** (8th ed., pp. 1-10). Wiley-Blackwell.

Apêndice A - Artigo Científico Aceito

Primeiro Autor

Periódico: Observatorio de La Economía Latinoamericana - A4

Publicado: 28/06/2023

Disponível: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/806>

3D capturing anatomic complex biomodel in medicine veterinary: how to prepare, digitize and replicate the male canine urogenital system.

Captura 3D de biomodelos anatômicos complexos na medicina veterinária: como preparar, digitalizar e replicar o sistema urogenital canino macho.

Abstract

Medical images combined with 3D printing techniques have been a differential for clinical surgical and didactic approaches. The segmentation of anatomical structures in medical images for their 3D printing of biomodels has been showing promise in medical applications. The use of iodine contrast in solution on anatomical specimens promotes an increasing the density and better caption resolution of CT, expanding the range of possibilities for 3D medicine. With the capture of a complex anatomical arrangement, there is an advantage over the use of biomodels both in a digital and physical interactive way. In this article, we explain how to digitize a set of anatomical structures of the canine urogenital system in topographic position and how to create 3D digital and printed replicas. The biomodel can be applied in the most diverse areas of veterinary medicine and related fields.

Keywords: 3Dprinting, Digital medicine, DiceCT

Resumo

Imagens médicas combinadas com técnicas de impressão 3D têm sido um diferencial para abordagens clínicas cirúrgicas e didáticas. A segmentação de estruturas anatômicas em imagens médicas para impressão 3D de biomodelos tem se mostrado promissora em aplicações médicas. O uso de contraste a base de iodo em solução em peças anatômicas promove aumento da densidade tecidual e melhor resolução de captação da TC, ampliando o leque de possibilidades da medicina 3D. Com a captura de um arranjo anatômico complexo, há uma vantagem sobre o uso de biomodelos tanto de forma digital quanto física interativa. Neste artigo, explicamos como digitalizar um conjunto de estruturas anatômicas do sistema urogenital canino em posição topográfica e como criar réplicas 3D digitais e impressas. O biomodelo pode ser aplicado nas mais diversas áreas da medicina veterinária assim como em áreas relacionadas.

Palavras-chave: impressão 3D, medicina digital, DiceCT

1. Introduction

3D printing has provided a revolution in the area of additive manufacturing for creating objects aimed at medical anatomical education. More precisely regarding the use of raw materials, the rapid prototyping system adds material in liquid or solid form in horizontal layers on the X and Y axes superimposed by a new layer on its Z axis in vertical lift, generating the object from the gradual union of material (BIGLINO, et al., 2011). Due to its dynamic overlapping of layers to easily generate a complex object, this technique has been opening previously unimaginable possibilities (GIANSETTO, 2015). Veterinary Medicine has benefited greatly in the areas of creating an anatomical collection for educational purposes, surgical training, implants and prostheses for specific patients, as well as a valuable object for communication and clarification of the case between professional and tutor (LIMA et al., 2020, MIMOUNE, et al., 2023).

The use of anatomical biomodels obtained via computed tomography (CT) has provided advances and facilities for the medical routine both in educational institutions and in the labor market, being a gold standard tool for understanding orthopedic cases. However, this technique has been used for mineralised areas with more impact due limitations for capturing soft tissue data and sets of different structures due to low density of the cells and unspecified image data (GIGNAC & KLEY, 2014; BORDELO et al., 2018; LIMA et al., 2020). Making it difficult, nearly impossible, to identify and differentiate the viscera, muscles and adjacent tissues, since the tissue density is low and within the same range of radiopacity threshold.

Since the creation of diffusible iodine-based contrast-enhanced computed tomography (diceCT), new possibilities for capturing complex three-dimensional anatomic arrays using contrast agents and radiographic images have emerged for microtomography (mCT) (METSCHER., 2009; COX & JEFFREY, 2011). The combination of techniques proved to be of great value in optimizing the understanding of anatomy and generating 3D material for teaching, research and training in the medical field, both digitally and physically (METSCHER, 2009; GIGNAC & KLEY, 2014; CHEN et al, 2017). The use of very small anatomical pieces preserved and immersed in contrast allowed the penetration potential using Lugol's solution (I2KI) and capturing by mCT to better be identified (METSCHER., 2009). This experimental model promoted a growing development of new protocols for the improvement of the microCT techniques with contrast agents impregnated in anatomical specimens for

better capturing images of soft tissues. When replicated in post-embryonated animals in microCT, the technique faced limitations of Lugol's perfusion in the innermost tissues, causing incomplete visualization of the structures (JEFFERY et al., 2011; GIGNAC & KLEY, 2014).

It has been a global goal to implement the 3Rs (reduce, recycle and reuse) in the research and teaching field, directly collaborating with the preservation of the environment and minimizing the use of animals in scientific academic routine. Anatomical biomodels can be applied by researchers, educators and professionals to clarify different treatment options, explain the case to tutors and analyze the best approach, promoting clinical-surgical planning with residents team (SINGHAL et al., 2016; REIS et al., 2017; BORDELO et al., 2018, LIMA et al., 2020). The urogenital system of male dogs is one of the first challenges faced by students and young professionals, whether for surgical training in castration or bladder obstructions in the clinical routine. In this article, we describe the protocol for obtaining 3D anatomic replicas of the urogenital system of male dogs in its topographic position and replicating with 3D printing by fused deposition modeling (FDM) technique.

Animal Model

This project used as model cadavers of ten male adult dogs without definite race, without anatomical variations, belonging to the sector of Veterinary Pathology of the HOVET-UFMT. Ten CT images belonging to the database of the Image Diagnosis Sector - HOVET that contained the pelvic region of random male dogs in previous routine examinations were also used as controls for the technique.

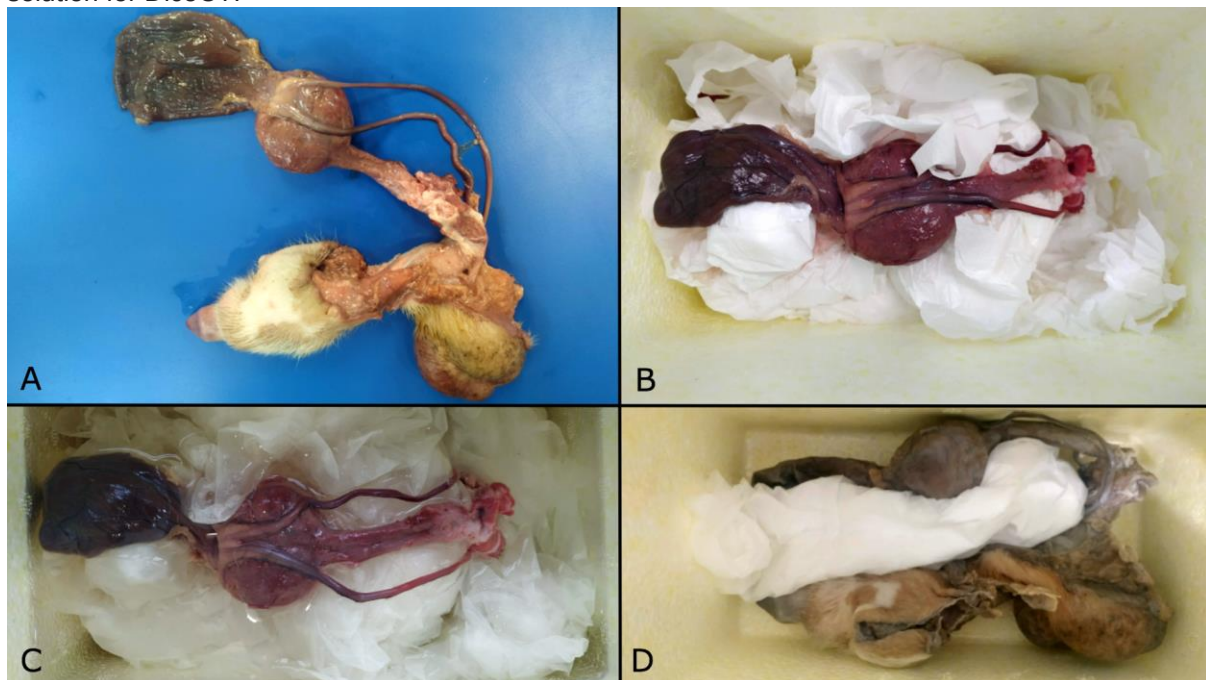
2. Material and methods

2.1 Anatomical Preparation

The specimens were dissected as fresh as possible, no more than 24h after death hour, in the meantime the corpses were maintained inside a cold chamber in the Pathology department of the Hospital. The specimens were positioned in the dorsoventral decubitus, the region of interest was traditionally dissected in a block, using scalpel n23, tweezers and scissors. Delimiting the abdominal area from the navel to the scrotum, to preserve the interconnected structures; bladder, prostate, vas deferens, scrotum, testicles, penile body and glans. Soon after the dissection a probe

was inserted into the urethra to keep the channel open, the fresh anatomical pieces were positioned topographically for fixation in formalin. The anatomic system was located inside a plastic box with a lid, its interior was lined with an adapted soft support, creating scaffold levels to position the set of dissected structures in their topographical position, by inserting soft towel papers between all sides of the anatomical different structures. With the piece in place, 10% formalin was carefully added until it was completely covered, keeping it in the fixation process for 7 days (Figure 1).

Figure 1. Preparation of the complex anatomical arrangement. (A) lateral view of male canine urogenital tract dissected en bloc. (B) Dorsal view of anatomic piece positioned above soft support scaffolds. (C) Piece being carefully immersed and 10% formalin, maintaining its morphological topography. (D) Anatomical piece completely fixed in formalin and accommodated to be immersed in the contrast solution for DiceCT.



Data from the survey itself.

All anatomical pieces went through the same four process steps (desiccation, fixation, CT scans, storage in contrast) and were used as their own image control during the process. After fixation, the models were submitted to traditional tomographic image capture, then put stored back in the plastic box filled with 10% formalin now with 5% Iohexol contrast solution in it. Every seven days, the pieces were removed from the boxes and new tomographic captures were taken during the following three weeks.

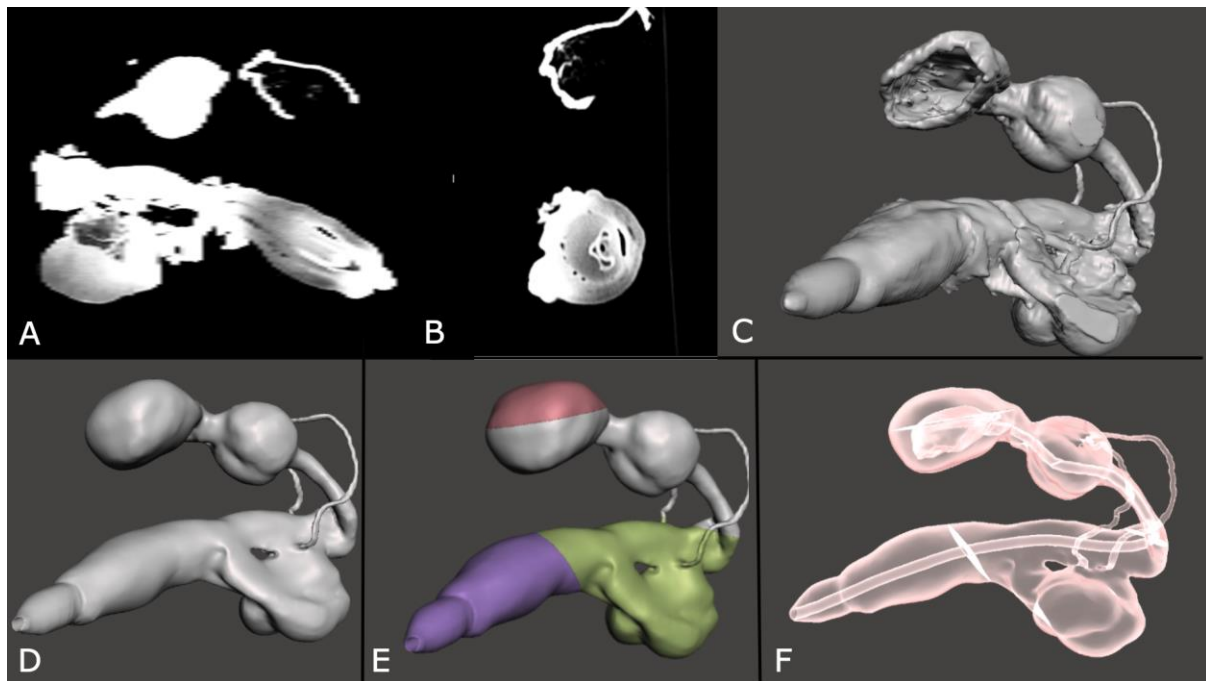
2.2 Image capture

For tomography scans, the urogenital system was removed from the solution, washed in running water to remove the excess of contrast, dried with paper and placed on soft adapted support to keep in morphological position during scans. For image capture, a SOMATOM® Spirit® CT was used, following the protocol; bone and soft tissue window capture, Fov 512mm, Kv 130, mAs 80, Slice 1.5mm, Pitch 1.5, helical capture. The images were then saved and exported in Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) format (SCHWARZ & O' BRIEN, 2011)

2.3 Editing and 3D printing

Image segmentation was performed via free software, inVesalius®, using automatic segmentation of the structure, performing adjusting the threshold density inside the desired range to select the entire set of structures as one piece, using the range of -700/+225 Hounsfield Unit (HU). The created models were then saved and exported as .obj format. The files were opened in an educational version of Meshmixer® software to smooth out capture artifacts, fix holes in the object, make it solid for manufacture compatibility and isolate different structures (SILVA E GAMARRA ROSADO, 2014). Part of the bladder was reconstructed using the "Inflate" tool to recreate the incomplete area. The urethra was digitally constructed using the "add tubes" tool. Models were fragmented into different parts using the "plane cut" tool to facilitate the 3D printing process (Figure 2) and to create new perspectives for its use. The Simplify3D® software was used to establish the printing protocol for each part, using as protocol: 0.15mm layers height, 3 outside shells, 25% filling, automatic support, table temperature at 60°C and extruder nozzle at 210°C, speed 40mm/s. With the setup defined, the files were sent to a 3D printer Ender® 5 pro, using a 1.75mm Polylactic Acid (PLA) filament of the 3DLAB® brand.

Figure 2. Screenshots of 3D image editing procedures. (A) Lateral tomographic image of the urogenital tract stained with iohexol, displayed in the inVesalius software, with visible bladder, prostate, testicles and penis. (B) Cross-sectional tomographic image of the stained anatomical complex, with visible bladder and penis body. (C) Reconstruction of the polygon mesh obtained via digital segmentation. (D) Edited anatomical biomodel with smoothed textures, digitally reconstructed bladder and urethra. (E) Image of the plane cuts made on the piece to facilitate printing and study. (F) image of the interior of the biomodel, showing the plane sections, the urethra and the bladder lumen.

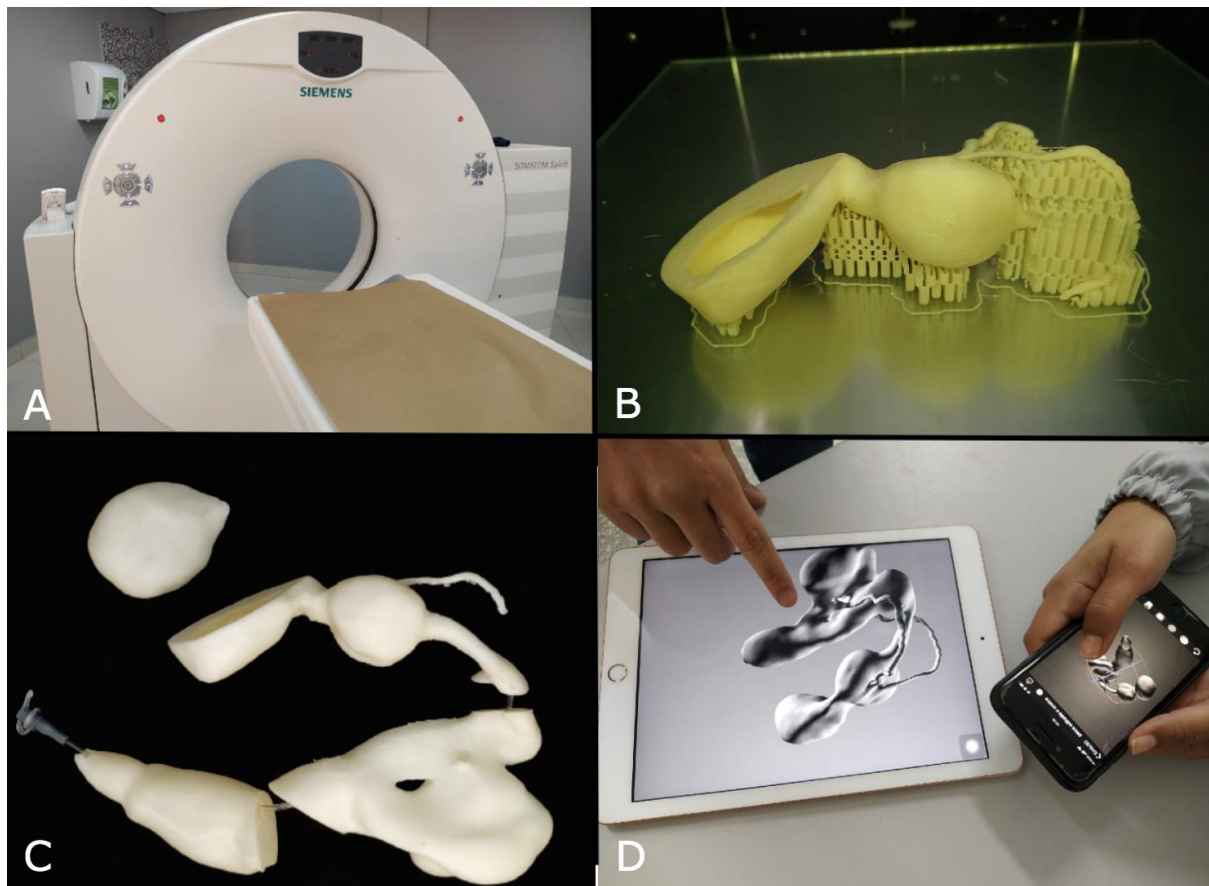


Data from the survey itself.

2.4 Biomodels

Different pieces were printed, pieces with components isolated and others models with all parts connected as complex arrangements. The biomodels were inserted in the theoretical and practical teaching methodology of the residents of HOVET-UFMT surgical center by their responsible teachers, allowing the team to discuss and simulate various techniques such as; urinary catheterization, collection of biological material, urinary clearance, understanding of topography and prostatal pathologies, clinical palpation, castration approaches. Both the physical and digital biomodels were made available to the entire surgical team and kept available for daily uses (Figure 3). For undergraduate students, only digital data as education support material was used with.

Figure 3. Process for creating and expanding physical-digital educational libraries. (A) Capture of medical images via CT, SOMATOM Spirit® equipment. (B) Rapid prototyping process of digitized and edited anatomical structures. (C) Didactic biomodel of parts of the urogenital tract printed in PLA and connected by a urethral probe. (D) Use of the digital model in an interactive way in accessibility multiplatforms, in order to optimize teaching and access to information.



Data from the survey itself.

3. Results and Discussion

We affirm that the traditional dissection and fixation in formalin of complex arrangements of soft tissues allows the penetration of the dye iohexol by diffusion in the tissues fixed in its topographical pattern, providing a better definition captured by tomography. Making the identification of structural components clearer due to their whiter color in medical images, the stained pieces had greater accuracy of captured structures, even the most delicate ones such as the vas deferens. Being the best level of image quality when the pieces reached 2 weeks immersed in a 5% solution, not generating better images after this time and concentration. Parts without exposure to contrast, when dissected, fixed and submitted to CT, present lower image quality and present more image artifacts in the final 3D model. The quality of the biomodel is associated with the amount of pixels captured in the tomographic examination that will be converted into polygons creating a digital mesh, these values are expressed in the morphological refinement that the biomodel will present when segmented. A biomodel with a more developed polygon mesh presents greater morphological fidelity than a

piece with lower image capture definition (MITSOURAS et al., 2015). Automatic digital segmentation in routine medical tomographic images is unsatisfactory for its use as a tool for obtaining complex anatomical arrangements (Figure 4). Due to the limitations of the CT technique, soft tissues have a low degree of distinction and identification quality, making it impossible to carry out the complete segmentation of the desired structures (JEFFERY et al., 2011; NGUYEN et al., 2023).

Biomodels can be applied by educators and professionals to clarify different treatment options, explain the case to tutors and analyze the best approach, promoting clinical-surgical planning by simulating the structures involved, reducing surgery time, reducing time under anesthesia and improving the wellbeing of patients. In classroom, the use of this tool promotes good assimilation and reflects positively on the learning curve, as it allows students to move between the physical and virtual world in a dynamic and interactive way (SINGHAL et al., 2016; REIS et al., 2017; BORDELO et al., 2018). 3D printed anatomical biomodels provide the advantage of training cases even in non-mineralized tissues with accuracy. Since the dimensions of the part captured by tomography are the same as the printed biomodels, having less than $\pm 2\%$ of general dimensional variation (LIMA et al., 2020; NGUYEN et al., 2023).

Even with the probe introduced into the urethra, due to the liquid solution, a residual part remained in the duct lumen, generating solid images, as if the channel had collapsed. Such an occurrence can be resolved in the process of editing the digital model in the Meshmixer software, with the “add tubes” tool. Allowing the tube to be created between two pre-designated points, later its positioning allowed the size of the tube light to be regulated in millimeters on both sides, facilitating uniformity in the channel and guaranteeing success in the total probing of the urethral canal to the lumen of the urinary bladder. It is a milestone for medicine and related fields, the possibility of creating specific physical biomodels that would be difficult to find commercially. Advances in medical imaging techniques in anatomical models enable greater breadth for digital medicine, dramatically improving our ability to digitally visualize, understand, study and share complex anatomical arrangements of mineralised and soft tissue, often difficult to access (Figure 3) (GIGNAC & KLEY, 2014; LI et al., 2016; CHEN et al., 2017).

FDM 3D printing proved to be very satisfactory results replicating biomodels, with a high degree of morphological realism and resistance to the handling of those involved. Due to the use of thermoplastic PLA, the models are biosafe and

biodegradable, supporting the preservation of the environment, renewable sources and reducing the use of animals in teaching and research. It is noteworthy that it is necessary to adapt the protocol for each complex model, when applied for other areas of interest. The skill and malice of the 3D editing and printing professional are essential to optimize the prototyping process, minimize errors and trials throughout the process (CHEN et al, 2017; BORDELO et al., 2018; LIMA et al, 2019; LIMA et al, 2020). The process for manufactured production of the biomodels is economically advantageous, in addition to the educational value, it was possible to demonstrate its profitability for production, being possible to replicate models in a short printing time, using a low amount of PLA material and reflected in low individual value for production. In this experiment the printing time, weight and average cost was; 18H 04min, R\$18.32 and 150.66g (Table 1).

Table 1. Individual values and average printing time, value per gram of PLA filament, weight in grams of PLA and dimensions.

	3D Print time	Filament Cost/R\$	PLA filament weight/g	Dimension X-Y-Z mm
Model 1	17h 23min	17,05	110,25	75,39 / 84,91 / 175,20
Model 2	12h 04min	12,94	107,08	86,78 / 88,99 / 166,01
Model 3	14h 15min	15,15	126,21	75,45 / 82,33 / 159,64
Model 4	20h 25min	26,89	224,12	78,99 / 101,72 / 183,01
Model 5	17h 31min	17,42	145,18	76,33 / 85,97 / 177,37
Model 6	27h 41min	29,09	242,42	95,13 / 107,14 / 221,04
Model 7	14h 14min	13,15	109,55	70,51 / 79,41 / 163,85

Model 8	15h 49min	15,07	120,60	76,61 / 82,90 / 171,05
Model 9	19h 49min	19,39	161,55	82,66 / 93,10 / 192,09
Model 10	17h16min	17,05	159,64	75,39 / 84,91 / 175,20
Average data	18h 04min	18,32	150,66	79,32 / 89,14 / 178,44

Source: Data from the survey itself.

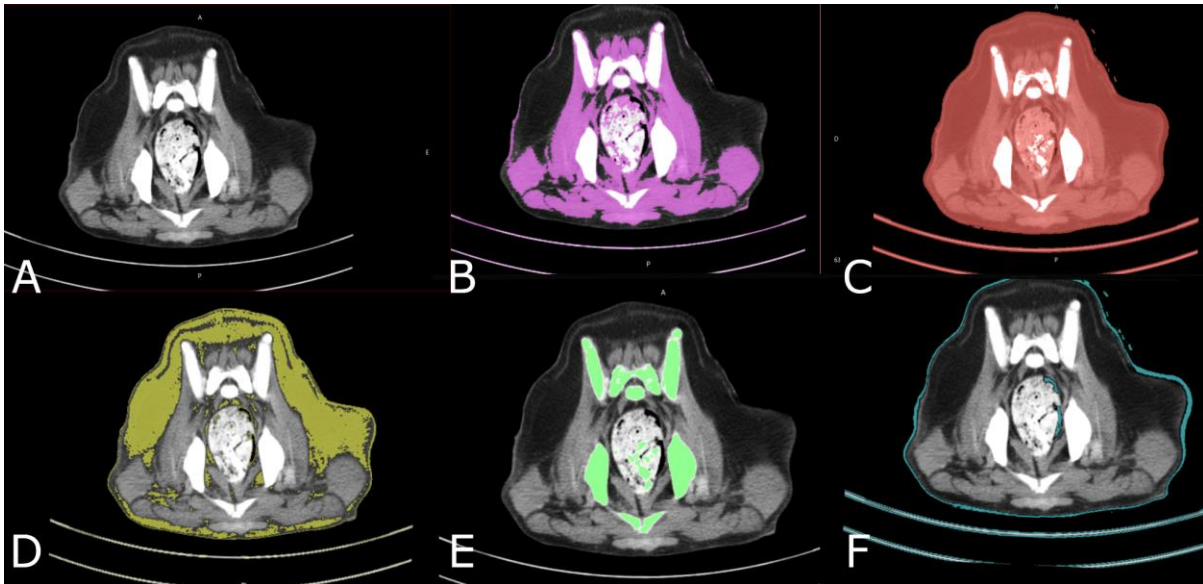
The application in the daily routine of the clinical surgical center promoted cases discussions and simulations in a dynamic way, generating a lot of enthusiasm in the team and providing a clear and dynamic understanding of the topics covered. Some residents used both physical and digital material to exemplify the area of surgery and the post-surgical care needed by tutors. The urethral probe technique was the most performed by those involved in the training and the one that generated the most tension in the team before classes. After free training, residents felt able to perform the technique with precision in their clinic routine when needed (BORDELO et al., 2018; REIS et al., 2017). Undergraduate students showed great interest in classes that used the digital biomodel, and also approved the use of the app as a support material for remote study. We recommend that in future studies the use of questionnaires to collect focal data must be used when applied in teaching and training for a better understanding of the impact in the learning process.

The production of the biomodel allows institutions to create and expand didactic libraries, without worrying about creating new facilities for the storage and disposal of biological material. In the surgical center, some models as bones, malformation structures and urogenital systems were on shelves along the common area, facilitating the dynamics of their use in the daily routine (LIMA et al., 2019; LIMA et al., 2020). Models in digital format (.obj and .stl) are compatible with the free apps (EMB3D, Exocad) to visualize and interact with the 3D structures, available for computers, tablets and smartphones. Being a powerful tool with easy usage compatibility, portability and personal storage.

The immersion technique of specimens fixed in contrast has been applied to embryos, invertebrates and small post-embryonated vertebrates captured in mCT, progressively increasing the physical dimension of the specimens. Its success is linked to the correct degree of penetration of iodine trimers and their binding to soft tissues, differentiating them from each other (GIGNAC & KLEY, 2014). It is an expensive protocol to replicate it in whole adult dog specimens due to the total volume required for immersion in contrast solution. The use of the dissected and immersed part is an option to be considered for capturing the arrangements in a faster and more economical way due to the physical dimensions of the structures.

Routine medical imaging used to obtain the dog's male urogenital system proved to be ineffective in the segmentation process. This process depends on the delimitation of pixels from the same set to create an area in the tomographic projections within the same color scale (density), thus forming a three-dimensional object. Being easily identified and executed with mineralized tissue due to the visual contrast of the white pixels with the other gray and black ones. When the technique is applied in routine exams for extraction of the urogenital system, the software produces nonspecific anatomical models, interconnecting skeletal muscle structures and the viscera of the digestive system with the urogenital system. The software's native predefined density thresholds were applied with unsatisfactory results for the proposed objective, with the applied filters; soft, muscular, adipose, epithelial and bone tissues (Figure 4). The manual segmentation technique was not applied in this project due to its high level of complexity and required skills.

Figure 4. Images from the HOVET-UFMT medical routine database, showing the pelvic region in cross-sections of a male dog submitted to automatic segmentation. (A) Tomography image without application of segmentation, control. (B) Segmentation with muscle tissue threshold, ranging from -5 to +135 HU. (C) Segmentation with soft tissue threshold, ranging from -700 to +225 HU. Segmentation with adipose tissue threshold, ranging between -205 and -51HU. (D) Segmentation with bone tissue threshold, ranging from +226 to +1931 HU. (E) Segmentation with epithelial tissue threshold, ranging between -718 and -177 HU.



Source: Data from the survey itself.

The process of dissecting the structures, fixing them and sequentially staining with a contrast agent so that they can be scanned proves to be laborious, yet extremely effective in generating digital models analogous to biological ones. This technique allows a basic science team to autonomously produce a digital complex anatomical arrangement without the need for virtual modeling knowledge. Both the dissection technique and the use of contrast in the medical routine are well-known processes, as well as the capture of radiographic images, being the technical differential the fixation step in a topographic position using individually molded structural supports, as well as of the piece fixed in iohexol contrast solution, ensuring that all structures were wrapped and stained, facilitating the identification of the complete morphology in the segmentation process. Studies on 3D printing of anatomical structures obtained from CT are a milestone for surgical anatomy, and the use of contrast agents in anatomical arrangements of fixed soft tissues is a way to expand the possibilities of digitizing complex structures. Thus creating physical and digital morphometric data with high precision, biosafety, capable of being recycled, with great versatility of applications in higher education and research institutions.

4. Conclusions

We affirm that the use of fresh anatomical specimens, fixed in 10% formalin and subsequently submerged in a concentrated iohexol solution of 5% for capture via CT is a combination of a technique with great value for the anatomical area to capture and

create models of complete urogenital system of male dogs. Enabling the creation of interactive digital biomodels with high resolution and prototype facsimiles using sustainable and recyclable material. The use of contrast agent in fixed anatomical parts of domestic animals, associated with CT and 3D printing techniques, has much to contribute in several areas of veterinary medicine, both in theory and in practice. Driving the emergence of more digital libraries, collections of routine cases, expanding the theoretical-practical approaches to procedures and facilitating the sharing of data between professionals. The cost of the filament and the equipment associated with the time for producing replicas of the biomodels proved to be a very advantageous point for the veterinary team, making it possible to obtain printed models within 24 hours after the tomographic capture. This study came to corroborate the expansion of diceCT applications aimed at complete replication of the process of obtaining biomodels, being an innovative and bold way to capture complex anatomical arrangements of companion animals fixed in formalin impregnated with iohexol contrast. More studies in this area are needed so that there is a refinement of diceCT techniques for complex systems, with other agents and anatomical areas of interest. It is a goal to achieve the development of low-cost and ecological friendly medical teaching materials, with realistic, morphologically reliable and easily accessible worldwide, reducing the use of animals in classes, research and helping the application of the 3Rs.

5. References

- BIGLINO, G., et al. (2011). 3D-manufactured patient-specific models of congenital heart defects for communication in clinical practice: feasibility and acceptability. **BMJ Open** ;5:e007165. doi:10.1136/bmjopen-2014-007165. Available in: <https://bmjopen.bmj.com/content/5/4/e007165>. Accessed: Mar. 25, 2022.
- BORDELO, J. P. A., DIAS, M. I. R., CARDOSO, L. M. M. L. et al. (2018). A 3D printed model for radius curvus surgical treatment planning in a dog. **Pesqui Vet Bras** 38, 1178–1183. <https://doi.org/10.1590/1678-5150-PVB-5209>. Available in: <https://www.scielo.br/j/pvb/a/NtRHDcmgHwNhVy3ndr8HbZk/?format=pdf&lang=en>. Accessed: Aug. 27, 2021.

CHEN, S. et al. The role of three-dimensional printed models of skull in anatomy education: A randomized controlled trail. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–11, 2017. Available from: <<http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-00647-1>>. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28373643/>. Accessed: Feb. 07, 2022.

COX, P. G., JEFFERY, N. (2011). Reviewing the morphology of the jaw-closing musculature in squirrels, rats, and guinea pigs with contrast-enhanced microCT. **The Anatomical Record**, 294:915–928. <https://doi.org/10.1002/ar.21381.d>. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21538924/>. Accessed: Nov. 09, 2022.

GIANSETTO, T. (2015): Intérêts de l'utilisation, a visées pédagogique et médicale, de l'impression en trois dimensions en osteologie. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 76 p. Available in: https://oatao.univ-toulouse.fr/14482/1/Giansetto_14482.pdf. Accessed: May. 13, 2020.

GIGNAC, P. M.; KLEY, N. J. Iodine-Enhanced Micro-CT Imaging: Methodological Refinements for the Study of the Soft-Tissue Anatomy of Post-Embryonic Vertebrates. **J. Exp. Zool.**, n. 322B, p. 166–176, 2014. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24482316/>. Accessed: May. 13, 2020.

JEFFERY, N. et al. Micro-computed tomography with iodine staining resolves the arrangement of muscle fibres. **Journal of Biomechanics**. v. 44 p. 189–192. 2011. doi:10.1016/j.jbiomech.2010.08.027. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20846653/>. Accessed: Apr. 05, 2021.

LI, Z. et al. Comparison and Evaluation of the Effectiveness of Two Approaches of Diffusible Iodine-Based Contrast-Enhanced Computed Tomography (diceCT) for Avian Cephalic Material. **J. Exp. Zool.**, p. 352–362, 2016. DOI: 10.1002/jez.b.22692. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27511594/>. Accessed: May. 13, 2020.

LIMA, L. F. S. et al. Photogrammetry and 3D prototyping: A low-cost resource for training in veterinary orthopedics. **Ciência Rural**, v. 49, n. 12, 2019.

<http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20180929>. Available in:
<https://www.scielo.br/j/cr/a/xtn5cHjPYKTqt46dZ4czRbp> Accessed: Apr. 17, 2020.

LIMA, L. F. S. *et al.* 3D printing as a diagnostic tool for congenital malformation in a brachycephalic dog. **Ciência Rural**, v.50:8, e20190589, 2020.
<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190589>. Available in:
<https://www.scielo.br/j/cr/a/4Dc5tzvRJTHTWtFdTp46z4p>. Accessed: Oct. 12, 2022.

METSCHER, B. D. MicroCT for comparative morphology: simple staining methods allow high-contrast 3D imaging of diverse non-mineralized animal tissues. **BMC Physiology**, v. 9, n. 11, p. 01-14, 2009. DOI:10.1186/1472-6793-9-11. Available in:
<https://bmcpophysiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1472-6793-9-11>. Accessed: Mar. 18, 2020.

MIMOUNE, M. F. O., KHELEF, A. B. D. K., KAIDI, R. (2023). 3D printer uses in veterinary medicine: a review. **VETERINARSKA STANICA** 54 (2).
<https://doi.org/10.46419/vs.54.2.9>. Available in: <https://hrcak.srce.hr/279024>.
 Accessed: Jun. 15, 2023.

MITSOURAS, D. *et al.* Medical 3D Printing for the Radiologist. **Radiographics**, 35:1965–1988, 2015. DOI:10.1148/rg.2015140320. Available in:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26562233/>. Accessed: Jul. 15, 2021.

NGUYEN, P., STANISLAUS, I., MCGAHON, C., PATTABATHULA, K., *et al.* (2023). Quality assurance in 3D-printing: A dimensional accuracy study of patient-specific 3D-printed vascular anatomical models. **Frontiers in Medical Technology**, 5:1097850.
<https://doi.org/10.3389/fmedt.2023.1097850>. Available in:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26562233/> . Accessed: Jun. 25, 2023.

REIS, D. D. A. L. dos *et al.* Biomodelos Ósseos Produzidos por Intermédio da Impressão 3D: Uma Alternativa Metodológica no Ensino da Anatomia Veterinária. **Revista de Graduação USP**, v. 2, n. 3, p. 47, 2017. Available in:
<https://www.revistas.usp.br/gradmais/article/view/133789>. Accessed: Aug. 8, 2020.

SCHWARZ, T. and O ' BRIEN, R. CT CT Acquisition Principles. in: **Veterinary Computed Tomography**. Oxford: WILEY-BLACKWELL, 2011. p. 9-27. Available in: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118785676.ch2> Accessed: Aug. 8, 2020.

SILVA, F.; GAMARRA-ROSADO, V. G. Biomodelagem virtual para diagnóstico e planejamento cirúrgico usando softwares livres. **Informática na educação: teoria e prática**, v. 17, n. 1, p. 125–143, 2014. Available in: <http://seer.ufrgs.br/index.php/InfEducTeoriaPratica/article/view/38000&>. Accessed: May. 20, 2020.

SINGHAL, A. J. et al. Improved Surgery Planning Using 3-D Printing: a Case Study. **Indian Journal of Surgery**, v. 78, n. 2, p. 100–104, 2016. Available in: <http://dx.doi.org/10.1007/s12262-015-1326-4>. Accessed: Aug. 8, 2020.

Primeiro autor

Periódico: London Journals Press - Medical and Health Research

Publicado: 06/09/2022

Disponível: https://journalspress.com/LJMHR_Volume22/Reduce-Reuse-and-Recycle-Associations-of-new-3D-technologies-focused-on-improving-practical-and-theoretical-veterinary-education.pdf

Digital Veterinary: associations of new 3D technologies focused on improving practical and theoretical veterinary education.

Keywords: 3D printing, accessibility, biomodels, 3R, medical training.

Luiz Felipe Souza de Lima, Anna Julia Brandao Paes de Barros, Edson Moleta Colodel, Pedro Brandini Nespoli, Roberto Lopes de Souza.

Abstract

Practical training is essential for learning and mastering various medical approaches, being a differential for quality professional training. As a result, over the years, cadavers and live animals have been used for such execution, and these options are ethically questionable in several areas. Currently, there are emerging techniques that seek to offer an alternative to the use of animals in education in an economically viable and skillful way. Using computed tomography images, free software for tissue segmentation, polygon mesh editing and a 3D FDM printer with PLA filament to create biomodels that are biosafety, rigid to support orthopedic training, recyclable and biodegradable. With these tools it was possible to set up a virtual and physical database of canine and feline skeletal anatomy with direct application in academic teaching in veterinary medicine.

Introduction

Corpses have always been a common choice in veterinary education over the years for training various clinical surgical techniques, however this option is always dependent on fresh specimens, free of infectious contagious pathogens, zoonotic and/or pathological dependent. Another option is the use of live animals, exposing the patient to an error rate on the part of unexpected candidates, which can generate irreversible injuries and even lead to death, conflicting with ethical issues. However, in recent years, there has been a growing trend in universal medical education to place more emphasis on the practical teaching of clinical and surgical procedures more commonly performed in private practice, thus requiring new means to achieve this goal

of finding both physical and digital alternatives that are not harmful to animals for application in teaching (GRIFFON, 2000; KNIGHT, 2007; WARAN et al., 2013; REIS et al., 2017; MASHARI et al., 2018).

The use of Computed Tomography (CT) combined with the use of CAD software and the Rapid Prototyping (RP) technology has been a bold and innovative method to generate synthetic biomodels analogous to biological, and can be used easily with students and veterinary medical teams for several trainings. These techniques have been providing clinicians and surgeons with the planning and best approach for each situation encountered in the routine and which instruments to adopt to treat the patient in the most efficient and safe way (PLOCH et al., 2016; BORDELO et al., 2018).

Virtual biomodeling is the necessary step to obtain a digital model, which reproduces the morphological characteristics identical to that of a determined anatomical structure found *in vivo*. 3D modeling software uses images from CT, magnetic resonance exams or photogrammetry to build a replica of a structure in the polygon mesh language (FREDIEU et al., 2015; BORDELO et al., 2018). Prototyping, or physical biomodeling, is obtaining physical biomodels through 3D printing, building a model from scratch through the extrusion of melted material with overlapping layers on the Z axis, being the technique of Fused Deposition Modeling (FDM) the most economically accessible (SILVA & GAMARRAROSADO, 2014). 3D printing is a unique tool when used with medical images, having a considerable positive impact in the fields of modern medicine. Pieces can be made to assist complex surgeries, training professionals in delicate surgeries, enabling the creation of personalized pieces, with high morphological realism of the anatomical structures, providing clarification for preoperative planning and their training in several areas (GRAUVOGEL et al., 2012; WARAN et al., 2013; PLOCH et al., 2016; SHI CHEN, 2017). Physical and digital anatomical models can be created in a short period of time according to the skill of the team involved or a professional facilitator, in addition to being able to use free digital editing software, reducing the cost of producing the models (HESPEL et al., 2014; FREDIEU et al., 2015; BORDELO et al., 2018).

The availability of these materials reduces the need for biological or commercial anatomical models, being applied to an alternative form of study, promoting good assimilation and allowing students to move between the physical and virtual world in a dynamic and interactive way (SILVA & GAMARRAROSADO, 2014; FREDIEU et al., 2015; REIS et al., 2017). It can also be applied to clarify tutors or guardians, exploring treatment options and approaches, performing simulations with the structures to be addressed. Alternative methodologies to animal studies is a necessity within the scientific community, with the 3Rs program (reduce, recycle and reuse), a goal to be

achieved in research, and met through the use of biomodels created by RP (FREDIEU et al., 2015; PLOCH et al., 2016; SINGHAL et al., 2016; BORDELO et al., 2018).

The accuracy of biomodels is suitable for orthopedic applications, enabling training and planning for both simple and complex surgeries such as total hip arthroplasty, for example, in addition to generating the opportunity to tangentially handle the model and make immediate comparisons (FREDIEU et al., 2015; GRAUVOGEL et al., 2012; MASHARI et al., 2018). The use of 3D FDM printers promotes low production costs and allows the generation of clinically identical replicas, with no distortions, providing dimensional accuracy compared to other PR technologies (HESPEL et al., 2014). This represents an advance in the accessibility of new technologies for use by surgeons in training prior to surgery, reducing the use of animals, valuable time and costs in the operating room (HARRYSSON, 2003; ASMA and EDDINE, 2014; MASHARI et al., 2018).

The objective of this study was to create a canine and feline bone bank, both physical and digital, for theoretical and practical educational purposes in the veterinary surgical clinical area in a fast, economically viable manner, with realistic quality and portability, helping to reduce the need for use of animals and corpses in veterinary orthopedic training.

Animal model

For this experiment, a cadaver of an adult dog and an adult cat without defined breed were used as experimental models, both obtained from ethical sources at the Veterinary Pathology sector of the Veterinary Hospital of the Universidade Federal de Mato Grosso-Cuiabá. The canine specimen had no bone fractures or deformity, the feline specimen had multiple complete fractures in its right pelvic limb due to the cause of death, being run over by a car.

Methods

The specimens were properly dissected by hand with a scalpel, removing all muscles and soft tissues, preserving only bone structures. The canine specimen was completely disarticulated, preserving the skull, pelvis and limbs. The feline specimen was dissected in two stages, dislocating the limbs and discarding the fractured one. In the first moment, the complete spine separated from the long bones was used, in the second moment the long bones were disjointed and isolated for further data capture.

The bones were scanned using the SOMATON Spirit Siemens® device in the Diagnostic Imaging sector at HOVET-UFMT Cuiabá, using the helical computed tomography technique, with the Kv and mAs values generated automatically by the equipment in each protocol adopted. In the first moment, the pelvic and thoracic limbs of the dog were scanned, using the Long Bones protocol, bone window with 1.5 mm

spacing between the slices with 0.5 mm image overlap. In a second moment the dog's skull, jaw and pelvis was scanned under the Skull Bone protocol, bone window with 1.5 mm spacing and 0.5 mm overlap between slices. To capture the data of the felide the same protocols as that of the dog had been used, only alternating the arrangement of the parts for capture, making possible the capture in addition to the limbs, pelvis, skull and the fully articulated spine (Figure 1).

All images were saved on CD-R in DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) format and subsequently analyzed by the free software InVesalius®, allowing to view the tomographic images, apply image filters and also regulate the threshold value of the Hounsfield scale generating the segmentation of different types of tissues present in the exam. With the region of interest segmented, a polygon mask is generated creating an interactive 3D surface that allows it to be saved in an STL (Stereolithography) file.

Using the Meshmixer® educational version software, .stl files were imported allowing them to be isolated, smoothed, mirrored, transformed into solid objects and to fill in gaps when necessary. After completing the virtual biomodeling, a digital library was created where all the bones were saved separately in folders on the central computer of the operating room, with copies in external HD and cloud (Figure 2). With the stored virtual biomodels, it is possible to sequence the FDM RP using a 3D printer of the GTMax3D® Core A3v2 model. Each file was opened separately in the Simplify3D® software and previously stipulated the total size of the piece, its positioning, supports and infill. For all models, the 3DX® filament composed of Polylactic Acid (PLA) with 1.75 mm in diameter was used under the following protocol described by Lima (2019); automatic support, 40% filling, 3 layers of detailing, thickness between layers of 200 microns, heating the extruder nozzle to 195°C with extrusion speed of 30 mm/s and nozzle displacement speed of 40 mm/s. After the print definition, the files were saved in .x3g format on an SD card and attached to the 3D printer to perform the PR. At the end of the 3D printing, each piece received a manual finish, with the support brackets removed with metal clamps followed by the finish with sandpaper for wood in the protruding areas, in order to generate greater smoothness and realism (Figure 3).

With a digital and physical bank of canine and feline bones assembled, undergraduate and graduate students at the UFMT School of Veterinary Medicine were able to use the biomodels in theoretical classes to understand the anatomy of the limbs and their classifications for fractures, followed by a practical class of orthopedics fractures using all the necessary equipment (drill, surgical forceps, saw, plates, drills, pins) to perform osteotomies in techniques with simple and blocked plates, external and cerclage fixation. The skulls, jaws, vertebral column with delimitation in the pelvic area were used to exemplify theoretical and practical classes

of veterinary anesthesia about loco-regional block in the maxillary, mentonian, infraorbital, palatal and incisor pterygopalatine fossa. In the pelvis, an epidural block simulation was performed between the seventh lumbar and the first sacral, where students were able to train on the biomodel first, then on cadavers and later on routine patients at the hospital.

Results

The bank of digital and physical bones has refined the quality of theoretical-practical classes in anatomy, anesthesia, general veterinary orthopedics and orthopedic surgical training for undergraduate and graduate students. Because its content is digital and physical, students were able to access digital models on their smartphones before and during classes. Spatially understanding the patient's anatomy and the area of interest, in addition to being able to carry out practical training for various situations several times. Participants reported at the end of the school semester that they were much more confident to perform the surgery in vivo after having had multiple planning and training classes on synthetic biomodels.

The capture of the feline spine allowed those involved to understand the clinical anatomy and cases of spinal pathologies using sectional CT and 3D images. This prototype also ensured that students understand the minutiae of vertebral anatomy, visualizing the shape and diameter of the foramina and intervertebral spaces, understanding how to orient themselves between the spinous processes to designate the correct area and depth of anesthetic application as suggested by Mashari (2018). Guiding a practical theoretical epidural anesthetic blocking class without pressure before the class had contact with routine patients. The capture of the skulls and mandibles proved to be very satisfactory to reproduce via 3D printing the details of the bone structures and facial foramina, incorporating them also in anesthetic and surgical classes.

The various prototypes also provided simulations of specific fractures in regions of interest, as well as their correction using fixing plates, drills, pins and the technique of fracture reduction cerclage. The physical biomodels are resistant to support special orthopedic materials serving for training and surgical planning, allowing to elaborate the desired alteration and perform its practical surgical correction. Ensuring adequate training in orthopedics and also the verification of the procedure through simple radiographs in order to guarantee the integrity of the parts and the precision of the technique adopted (LIMA et al., 2019). The material used for printing guarantees to be biodegradable in case of disposal, promotes the biosafety of those involved because it is not of animal origin and is free of pathogenic agents, they are subject to sterilization, recycling, in some cases reuse.

Discussion

The action of dismantling the limbs and removing the musculature is not related to an improvement in the technique of capturing images, but in the logistics of the experiment. Once the animal was prepared after the end of the routine necropsy and only scanned days later, making it impossible to keep them intact due to their maintenance, decomposition and storage process. The prepared pieces are more practical for such care and when image captures were performed, the fact that they were dissected provided that several bones were scanned at the same time, positioned at a distance from each other. The data when analyzed in the free software InVesalius® proved to be very efficient for segmentation, excluding the possibility of the bones leaving connected due to the presence of cartilage and approximation of structures when articulated. This is a technique recommended by us for the development of digital libraries with greater practicality, optimizing the time of 3D editing.

Even though the feline specimen did not have a viable pelvic limb, using the MeshMixer® software it was possible to choose healthy elements and create a mirrored copy of the bones. Ensuring that the database had both the left and right pelvic limbs. This proves to be an alternative for expanding the library when dealing with complex cases, rare pathologies, congenital malformations or anomalies.

The PLA physical biomodels derived from CT capture combined with virtual editing and 3D printing sequentially, are promising since they do not need supercomputers to perform all processes, have sufficient strength for practical training, use biodegradable and recyclable material. This technique guarantees accessibility and replicability of rapid prototyping endlessly on any 3D printer model over the years due to the file format (.stl) being compatible with different brands, printer models and materials. But to achieve this goal, it is necessary to have a specialized professional who assists in the entire process to ensure the excellence of the final product, being necessary to understand both imaging medicine, surgical clinic as well as having skills with 3D technology.

Corpses are commonly used in teaching over the years, but it is worth mentioning that even in corpses there is a lack of realism and physiological responses as well as synthetic biomodels. However, corpses are more complex to acquire, maintain, use and dispose of, adding costs to the process, the need for legal authorization and presenting ethical conflicts. Biomodels can be used for training and testing of new techniques, as well as in cadavers, however without restrictions and with the possibility of multiple attempts improving the skills of professionals and thus promoting shorter anesthesia time in a future patients, being the surgical time always a critical factor that should always be minimized (WARAN et al., 2013). A universal convention has been taking place in teaching and training techniques most commonly

performed in professional practice, creating a demand for materials for clinical and surgical training, which can be resolved through the capture of biodata and 3D printing in the teaching institution itself. This being a practical and viable alternative for reducing animals in veterinary education, reducing the cost of acquiring new materials and optimizing logistics, improving the anatomical spatial perception and facilitating the understanding of the techniques in their approaches, promoting animal welfare, improving quality of life of the patient and the team for applying the 3R in teaching (GRIFFON, 2000; HARRYSSON, 2003; GRAUVOGEL et al., 2012; ASMA and EDDINE, 2014).

A limitation in the application of 3D printing in veterinary medical education and also a significant cost factor is the availability of digital 3D models, usually acquired via computed tomography or magnetic resonance imaging (HESPEL et al., 2014). As an alternative to the use of photogrammetry in anatomical parts, however, this technique requires more effort from those involved and takes more time, a few days, to obtain the final product when compared to CT is just a few minutes. The printing time varies according to the piece size, quantity, speed and percentage of pre-fill adopted in the protocol. On average, each long bone took about 2 hours to be made while skulls and spine take more than twice the time to ensure the necessary detail (LIMA et al., 2019).

Currently, many tutors are committed to animals and are willing to do their utmost to help them, generating economic return and covering the costs for the creation of biomodels (HARRYSSON, 2003; FREDIEU et al., 2015). It is possible to refer patients to perform imaging exams in specialized centers outside the clinic or original teaching institution and return with the saved DICOM files, so that it is possible to work with such data and reproduce the biomodels via 3D printing. Since the cost of the printer and filament is low when compared to the tomography scanner, however, it is necessary to have a professional facilitator who performs the entire process from segmentation, biomodeling to finishing the materialized prototypes (HESPEL et al., 2014; FREDIEU et al., 2015).

This study considerably reduces the number of animals required for surgical training in an academic semester using alternative measures, helping to reduce the dependence of older methods on PR, promoting ethical teaching and increasing the useful life of natural resources (BOYD; CLARKSON ; MATHER, 2015; MASHARI et al., 2018). Certainly, the use of biomodels for simulation is very effective in the learning system of the anesthetic and interactive surgical clinic, it is extremely important for us to implement new technologies that protect the lives of animals and that also respect the integrity of cadavers (MASHARI et al. , 2018). The use of alternative models is not intended to completely replace the use of animals in teaching and research, but to minimize and complement practical training in an ethical, accessible, ecologically

correct, sustainable and efficient manner. The recognition of the animal's value and the ethics that surrounds it has been discussed, expanded and applied in common global interest the need to use the 3R principle more frequently in academic and scientific routine (ASMA and EDDINE, 2014; GRIFFON, 2000).

Conclusion

With this experiment we can affirm that from a single cadaver of each species, canine and feline, it is possible to create a digital database with 2D images of the clinical anatomy of bone structures in different formats such as: DICOM, .png, .gif, .jpeg, .tif... As well as 3D models in .stl and .obj format that can be accessed dynamically, interactively and remotely on smartphones, tablets, notebooks and 3D printers. Making the material inclusive and accessible to those involved, in addition to the prospect of continuous and repeated use of these files as an embedded teaching tool in institutions, promoting the maintenance of natural resources in an ethical manner and applying the 3R principle.

The final product does not present a risk of biological contamination because it is entirely made of PLA, it is resistant to support special orthopedic materials serving for academic training and surgical planning, allowing the elaboration of the desired alteration and making its most appropriate surgical correction. Both the digital and physical databases can be used in surgical medical clinics, with tutors, students and professionals. Optimizing the understanding of the case and the approaches to be taken. When necessary, multiple prototypes can be made simultaneously to assist in the training and understanding of each case with large classes, assisting in the understanding and spatial dimensioning of the area of interest in an ethical, dynamic and biosafety manner.

References

ASMA, B.; EDDINE, B. S. Novel Approach to Teach Veterinary Orthopedic Surgery in Dogs. *Journal of Veterinary Science & Technology* (2014). DOI: 10.4172/2157-7579.1000204

BORDELO, J. P. A. et al. A 3D printed model for radius curvus surgical treatment planning in a dog. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, v. 38, n. 6, p. 1178–1183, 2018. doi: 10.1590/1678-5150-PVB-5209.

BOYD, S.; CLARKSON, E.; MATHER, B. Learning in the third dimension. *Vet Record Careers*, v. 176, 2015. Available from: <<https://veterinaryrecord.bmj.com/content/vetrec/176/14/i.full.pdf>>.

CHEN, S. et al. The role of three-dimensional printed models of skull in anatomy education: A randomized controlled trail. *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, p. 1–11, 2017. Available from: <<http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-00647-1>>.

FREDIEU, J. R. et al. Anatomical Models: a Digital Revolution. *Medical Science Educator*, v. 25, n. 2, p. 183–194, 2015. Available from: <<http://link.springer.com/10.1007/s40670-015-0115-9>>.

GRAUVOGEL, T. D. et al. Is there an equivalence of non-invasive to invasive referenciation in computer-aided surgery? *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, v. 269, n. 10, p. 2285–2290, 2012. Available from: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00405-012-2023-6.pdf>>.

Griffon, D. J., Cronin, P., Kirby, B. et al. Evaluation of a Hemostasis Model for Teaching Ovariohysterectomy in Veterinary Surgery. *Veterinary Surgery*, 29:309-316, 2000. Available from: <<https://doi.org/10.1053/jvet.2000.7541>>.

Harrysson, O. L. A., Cormier, D. R., Marcellin-Little, D. F. et al. (2003). Rapid prototyping for treatment of canine limb deformities. *Rapid Prototyp J* 9, 37–42. <https://doi.org/10.1108/13552540310455647.7>

HESPEL, A. M.; WILHITE, R.; HUDSON, J. Invited review-applications for 3D printers in veterinary medicine. *Veterinary Radiology and Ultrasound*, v.55, n.4, p.347-358, 2014. Accessed: Jul. 15, 2018.

KINIGHT, A. The Effectiveness of humane teaching methods in Veterinary Education. Alternatives to animal experimentation. *ALTEX archive* - 24, 2007. Available from: <<http://www.altex.ch/all-issues/issue/2-07/the-effectiveness-of-humane-teaching-methods-in-veterinary-education>>.

LIMA, L. F. S.; BARROS, A. J. B. P. de et al. (2019) Photogrammetry and 3D prototyping: A low-cost resource for training in veterinary orthopedics. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.49:12, e20180929, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20180929>

MASHARI et al., (2018). Low-cost three-dimensional printed phantom for neuraxial anesthesia training: Development and comparison to a commercial model.” *PLoS ONE* 13 (6): e0191664. doi:10.1371/journal.pone.0191664. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0191664>.

PLOCH, C. C., MANSI, C. S. S. A., JAYAMOHAN, J. et al. (2016). Using 3D Printing to Create Personalized Brain Models for Neurosurgical Training and Preoperative Planning. *World Neurosurg* 90, 668–674. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2016.02.081>.

REIS, D. D. A. L. dos et al. Biomodelos Ósseos Produzidos por Intermédio da Impressão 3D: Uma Alternativa Metodológica no Ensino da Anatomia Veterinária. *Revista de Graduação USP*, v.2, n.3, p.47, 2017. Available from: <Available from: <https://www.revistas.usp.br/gradmais/article/view/133789> >. Accessed: Oct. 10, 2018.

SILVA, F.; GAMARRA-ROSADO, V. G. Biomodelagem virtual para diagnóstico e planejamento cirúrgico usando softwares livres. *Informática na educação: teoria e prática*, v. 17, n. 1, p. 125–143, 2014. Available from: <<http://seer.ufrgs.br/index.php/InfEducTeoriaPratica/article/view/38000&>>.

SINGHAL, A. J. et al. Improved Surgery Planning Using 3-D Printing: a Case Study. *Indian Journal of Surgery*, v. 78, n. 2, p. 100–104, 2016. Available from: <<http://dx.doi.org/10.1007/s12262-015-1326-4>>.

WARAN, V., NARAYANAN, V., KARUPPIAH, R. et al. (2013). Injecting realism in surgical training - Initial simulation experience with custom 3D models. *J Surg Educ* 71, 193–197. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2013.08.010>.

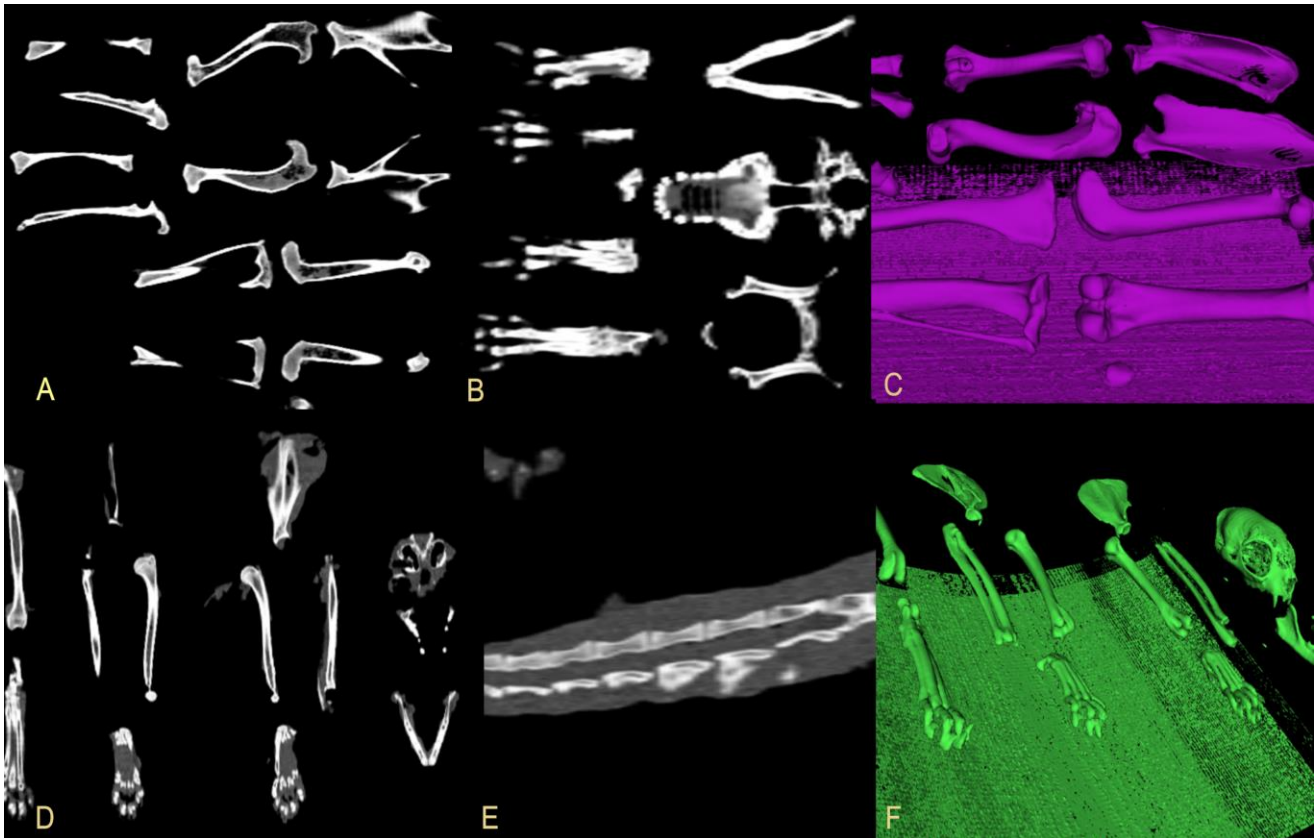


Figure 1: Tomographic projections analyzed in the InVesalius software. (A) Canine long bones in bone window with dorsoventral projection. (B) Dorsoventral projection with bony window of the skull, pelvis and canine paws. (C) With the Husted threshold applied, it is possible to create a 3D polygon mesh of the bone structures with the desired density. (D) Dorsoventral projection of uptake of long bones, skull, pelvis and feline paws. (E) Laterolateral projection of the spine showing the medullary canal in the healthy feline lumbar area. (F) 3D projection of feline feline polygon mesh exportable in .stl format.

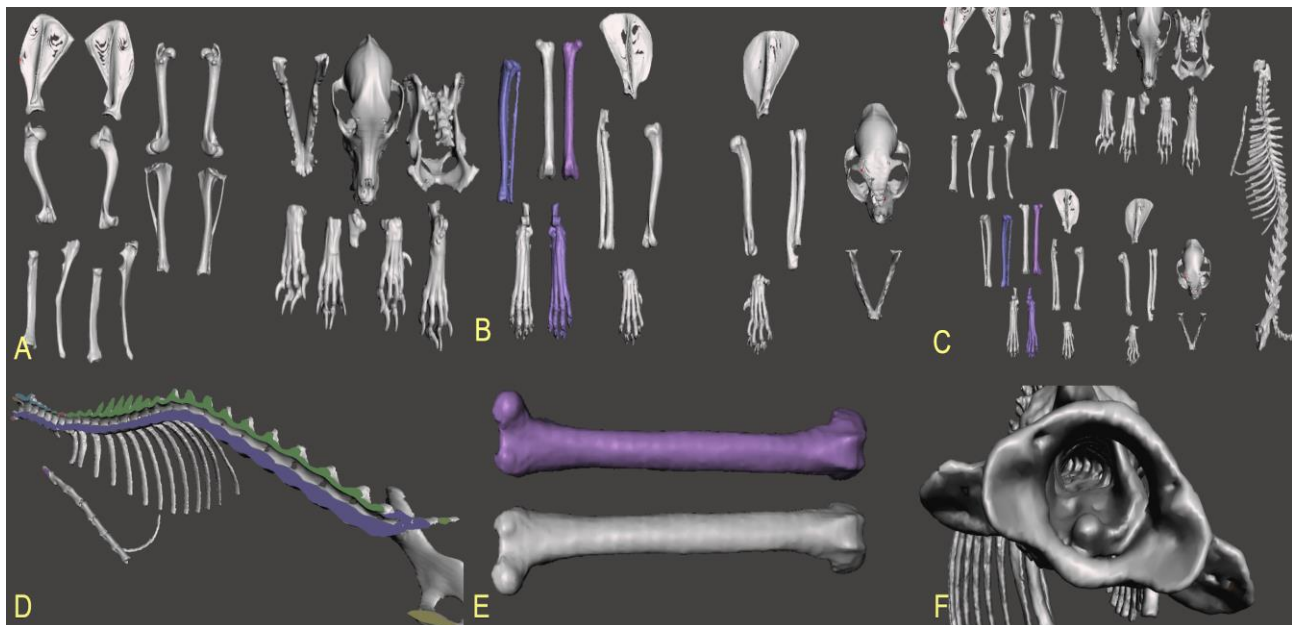


Figure 2: Interactive 3D data edited in the MeshMixer software forming the virtual database. (A) Canine bone bank. (B) Feline bone bank, including the digitally created right pelvic limb highlighted in cold tones. (C) Complete bone bank, including long bones, skull, pelvis, canine and feline limbs in addition to the feline spine. (D) Feline spine after digital dissection, showing the healthy spinal canal and nerve foramens, ideal to understand the points of anesthetic blocks loco regional. (E) Using the healthy part of the feline pelvic member, could mirror it creating the absent member analogous to the scanned, evidenced bone created in purple hue. (F) The 3D pieces allow virtual explorations of the anatomical details, in the image the medullary canal is highlighted, being seen craniodorsal through the base of the atlas and the exit of the nerve branches through the lateral foramina.

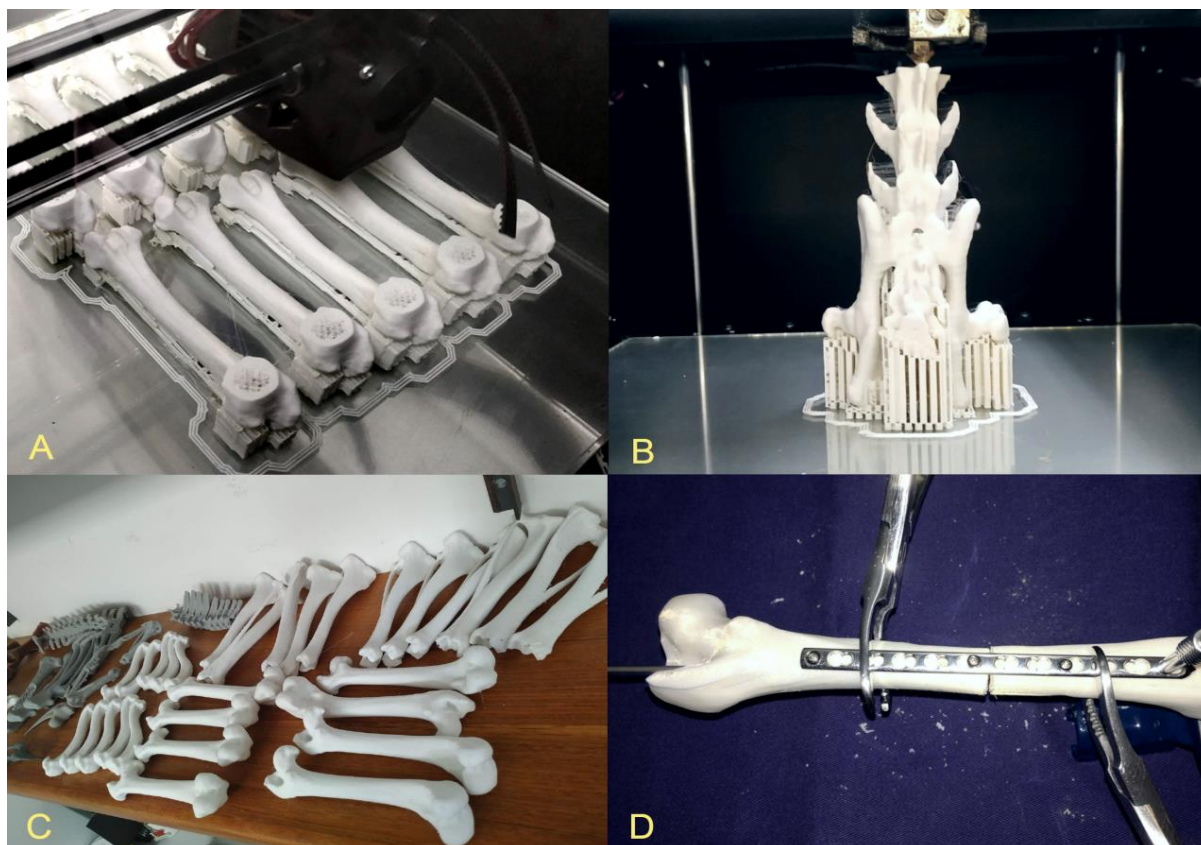


Figure 3: Physical biomodels bank created from 3D FDM printing with PLA filament. (A) Multiple biomodels being produced simultaneously to meet the demand of undergraduate classes. (B) Vertebral column in the pelvic portion being printed, the positioning of the piece is essential for a quality impression. (C) Bank of physical bones assembled for use in the medical school routine. (D) Orthopedic training of variable techniques using surgical tools required in the physical biomodels.

Coautor

Periódico: Observatorio de La Economía Latinoamericana

Publicado: 29/06/2023

Disponível: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/792>

Patient-specific Testicular Prosthesis Prototype Produced with Polylactic Acid and Coated with Cyanoacrylate or Polymethylmethacrylate

[Estudo experimental de Prótese Testicular Paciente-Específico Produzido com Ácido Polilático e Revestido por Cianocrilato ou Polimetilmetacrilato em ratos]

ABSTRACT

In order to reduce the psychological and aesthetic consequences caused by elective or therapeutic orchiectomy, we developed two types of testicular prostheses, which were produced using a 3D printer, with polylactic acid filament, and coated with cyanoacrylate or polymethylmethacrylate (PMMA). They were tested in Wistar rats, with orchiectomy performed on the left testicle and the prosthesis implanted inside the tunica vaginalis, in group 1 we implanted the prosthesis coated with cyanoacrylate and in group 2 with PMMA. The implants showed interesting features such as low cost, reduced production time, and ease of customization for the patient. Two rats in group 1 had monocular vaginalitis in the region of the tunica vaginalis implant and 3 (3/10, 30%) had fibrous dermatitis. In group 2, 5 rats (50%) had fibrous dermatitis and none had alterations in the tunica vaginalis. We performed a logistic regression model, the results showed no significant association between the type of prosthesis and the presence of inflammation in the tunica vaginalis ($p=0.08$) or fibrous dermatitis ($p=0.22$). However, we suggest further studies with cyanoacrylate. PMMA proved to be an excellent option as a biomaterial for prosthesis. Fibrous dermatitis occurred due to the dermal healing process caused by the surgical incision.

Keywords: testicular prosthesis, 3D printer, cyanoacrylate, polymethylmethacrylate.

RESUMO

No intuito de reduzir as consequências psicológicas e estéticas causadas pela orquiectomia eletiva ou terapêutica, desenvolvemos dois tipos de próteses testiculares, que foram produzidas utilizando a impressora 3D, com filamento de ácido polilático, e revestimos com cianocrilato ou com polimetilmetacrilato (PMMA). Foram experimentados em ratos Wistar, sendo a orquiectomia realizada no testículo esquerdo e as próteses implantadas no interior da túnica vaginal, no grupo 1 implantamos a prótese revestida com cianocrilato e o grupo 2 por PMMA. Os implantes demonstraram características interessantes como baixo custo, reduzido tempo de produção, e facilidade na personalização para o paciente. Dois ratos do grupo 1 apresentaram vaginite monocular na região do implante em túnica vaginal e 3 (3/10, 30%) apresentaram dermatite fibrosa. No grupo 2, 5 ratos (50%) apresentaram dermatite fibrosa e nenhum apresentou alteração em túnica vaginal. Realizamos um modelo de regressão

logística, os resultados não apresentaram associação significativa entre o tipo de prótese e a presença de inflamação na túnica vaginal ($p= 0,08$) ou dermatite fibrosa ($p= 0,22$). No entanto, sugerimos novos estudos com o cianocrilato. O PMMA se mostrou uma excelente opção como biomaterial para prótese. A dermatite fibrosa ocorreu devido ao processo de cicatrização dérmica, causado pela incisão cirúrgica.

Palavras-chave: prótese testicular, impressora 3D, cianocrilato, polimetilmetacrilato.

INTRODUCTION

The use of implants to repair or replace parts of the human body has increased in recent years, mainly because of the increase in life expectancy of the population (Bertol et al., 2017). Thus, the demand for biomaterials grows by 5–10% per year (Pereira et al., 2005).

Several conditions have led to the need for patients to undergo therapeutic orchiectomy, including unilateral cryptorchidism, torsion of the spermatic cord, and prostate tumors. Although effective, orchiectomy has both aesthetic and psychological drawbacks. However, in 1939, the first testicular implant procedure was accomplished inside the tunica albuginea, thus mitigating the consequences of the procedure, as it resolved the problem from both functional and aesthetic perspectives (Palma and Rodrigues, 1987).

Silicone patches and silicone gel prostheses have been used since the 1970s (Puranick et al., 1973). Although silicone is known as an inert material, the observation of reactive cells over time, appearance of local inflammation, and migration of silicone particles have created a lot of suspicion about this inertia. When the high cost of a material is added to the aforementioned disadvantages, the search for a new material becomes necessary (Hage et al., 1999).

Cyanoacrylate is an ester of cyanoacrylic acid with an alkyl side-chain. Commercially, it is presented as a liquid and transparent synthetic adhesive that undergoes polymerization at room temperature when in contact with an adherent surface, thereby promoting low heat release (Tessarioli et al., 2014)). Its adhesion power was quickly recognized after its discovery in 1949, and in the late 1950s, cyanoacrylates began to be used in medicine as tissue adhesives in medicine (Leggat et al., 2007) including plastic surgery, digestive tract, orthopedic, and ophthalmologic surgeries. Its application has also been described in surgical procedures involving the kidneys, liver, and blood vessels of men and animals (Ko et al., 2019).

Polymethylmethacrylate (PMMA) is another material with a chemical structure similar to that of silicone, and is also known to be inert as a denture material. Another positive factor is that it has a low acquisition cost and is easy to manufacture (Karademir et al., 2004).

In veterinary medicine, prostheses are used frequently in orthopedics, ophthalmology, and soft tissue surgeries such as herniorrhaphy. In order to obtain adequate population control of animals in Brazil, actions such as conscious guarding and elective castration have been promoted (Oliveira et al., 2012). The population's prejudice in relation to the aesthetic alteration in the males as a result of castration, often makes authorization of the surgical procedure difficult.

To date, there is no more effective medical treatment than orchiectomy to drastically reduce serum testosterone levels (Resnick, 1984), and this surgical procedure leads to the development of psychological problems in men (Chapple and McPherson, 2004). In addition, within the scope of veterinary medicine, developing an option to maintain the aesthetic standard of the animal can encourage elective orchiectomy and consequently assist in population control. Therefore, it is extremely important to work on projects that develop alternative testicular prostheses that meet the requirements considered ideal, which can be useful to minimize eventual problems caused by orchiectomy. In this context, we produced two models of testicular prostheses using a 3D printer and combined materials, and tested their application in an experimental study in rats. The results obtained were significant to validate a new type of testicular prosthesis, allowing its wide acquisition by the population and use.

MATERIAL AND METHODS

Twenty male Wistar rats (*Rattus norvegicus*) aged between 6 months and 1 year with an average weight of 400 g (ranging from 250 g - 500 g) were used (CEUA-UFMT 23108.028184-2019-98). Group 1 consisted of 10 animals that underwent implantation of a prosthesis made of polylactic acid and coated with cyanoacrylate. Group 2 was composed of 10 animals that underwent implantation of a testicular prosthesis produced with polylactic acid and coated with polymethylmethacrylate.

The prostheses were produced in patient-specific sizes, so before surgery an ultrasound was performed for the purpose of to evaluate the dimensions.

The data obtained in the ultrasound were sent through the software to the 3D printer (GTmax3D, model coreA3. V2). The filament used was 3DX made of polylactic acid (PLA) with a diameter of 1.75 mm.

The prosthesis had a firm consistency with a lattice-like interior. They were printed with a thin rod to facilitate handling when coating the second material used. The cyanoacrylate or polymethylmethacrylate coating was made by submerging the prototype through the stem, removing the excess, and cutting the stem. The implants had the following dimensions on

average: 19.2 mm × 11.14 mm × 8.1 mm. The coating layer was approximately 1 mm thick and smooth. After completion, the prostheses were submitted to a polishing process.

Before implantation, the prostheses were washed with chlorhexidine, submerged in alcohol, kept under ultraviolet light for 1 h, and then sent to the operating room in sterile packaging.

Rats were premedicated with intramuscular administration of ketamine (Cetamin® 40 mg/kg, Rhobifarma Indústria Farmacêutica Ltda., Brazil), midazolam (midazolam generic drug 1 mg/kg, União Química Farmacêutica Nacional S/A, Brazil), and methadone (Mytedom® 2mg/kg, Cristália Produtos Químicos Farmacêuticos Ltda., Brazil). Anesthetic induction and maintenance were performed using isoflurane with universal bubbling through a mask. During the operation, meloxicam (Maxicam® 2% 1 mg/kg, Ouro Fino Saúde Animal Ltda., Brazil) was administered subcutaneously, and enrofloxacin (Floxacin® 10 mg/kg, Biofarm Tecnologia em Veterinária, Brazil) were administered subcutaneously. During the entire anesthetic recovery period, 1 drop of glucose was administered orally every 30 min.

Wide shaving of the scrotum region and previous antisepsis of the site were performed, and then the animals were subjected to orchiectomy of the left testis, followed by implantation of the prosthesis inside the tunica vaginalis, and a simple stitch was made with absorbable multifilament thread 4-0 Polyglactin (Vicryl®, Johnson & Johnson do Brasil Indústria e Comércio de Produtos para Saúde Ltda., Brazil). A retaining stitch was made in the muscles above the prosthesis to keep it inside the scrotum, thus preventing it from passing through the inguinal canal. This is followed by a simple pattern skin suture of non-absorbable 3-0 nylon monofilament thread (Procure®, Labor Import Comércio de Importação e Exportação Ltda., Brazil). The right testis was preserved for use as a negative control for inflammation.

The scrotum was examined daily for 30 d after the surgical procedure, and the animals were assisted until the surgical wound was completely healed. All animals showed normophagia, normodipsia, normochezia, and normouria throughout the post-operative period.

Thirty days after the surgical procedure, the animals were euthanized. Necropsy was performed at the Laboratory of Veterinary Pathology at UFMT, and the complete scrotum and tissues adjacent to the implants were evaluated and fixed in 10% formalin for 24 h. Tissues of interest were routinely sectioned and processed, embedded in paraffin blocks, cut at 5 µm and stained with hematoxylin and eosin (H&E), and analyzed under an optical microscope. Inflammatory and cellular reactions in the scrotum and tissues adjacent to the lining material used in the prototype were evaluated.

Data was analyzed using a logistic regression model. The test was performed to evaluate the dependency and the effects of each prosthesis biomaterial on the local tissues. The prosthesis type was used as predictor (independent variable) and tunica vaginalis inflammation or fibrosis dermatitis as a fixed effect (dependent variable). The response variable was evaluated considering the presence or absence of damage. Results were considered statistically

significant at a p-value below 0.05. All statistical analysis were performed with the R Core Team (2021) software, Package glm – method binomial.

RESULTS

The implant production process is fast, simple, and effective. One day before the surgical procedure, the process began by determining the dimensions of the patient's testicles, through the ultrasound of the scrotum, followed by the production and printing of the interior of the prosthesis with polylactic acid by the 3D printer, therefore the procedure was carried out, coating and finishing with combined materials, which can be cyanoacrylate or polymethylmethacrylate. This was followed with sterilization of the prototype.

After surgery, only two rats in group 2, with the PMMA prosthesis coating, presented with edema and incisional hematoma until the fifth day after surgery, after which appearance and consistency normalized in the following days.

In all animals, healing of the surgical wound was completed within one week. No surgical wound infection, implant contamination, or signs suggestive of prosthesis rejection were observed.

In both groups, scrotal asymmetry or swelling was not present, and the prostheses were mobile in the region of the scrotum and without palpable reactive tissue.

In the histopathological examination of the scrotum, of the 10 rats included in group 1 (cyanoacrylate), three (30%) showed multifocal dermal fibrosis in the deep dermis, adjacent and serous musculature, proliferation of fibroblasts with slight collagen deposition, and moderate edema. Additionally, there was a slight infiltration of lymphocytes, plasma cells, and occasional mast cells (Fig. 1). In seven rats (70%), no changes were observed (Tab. 1).

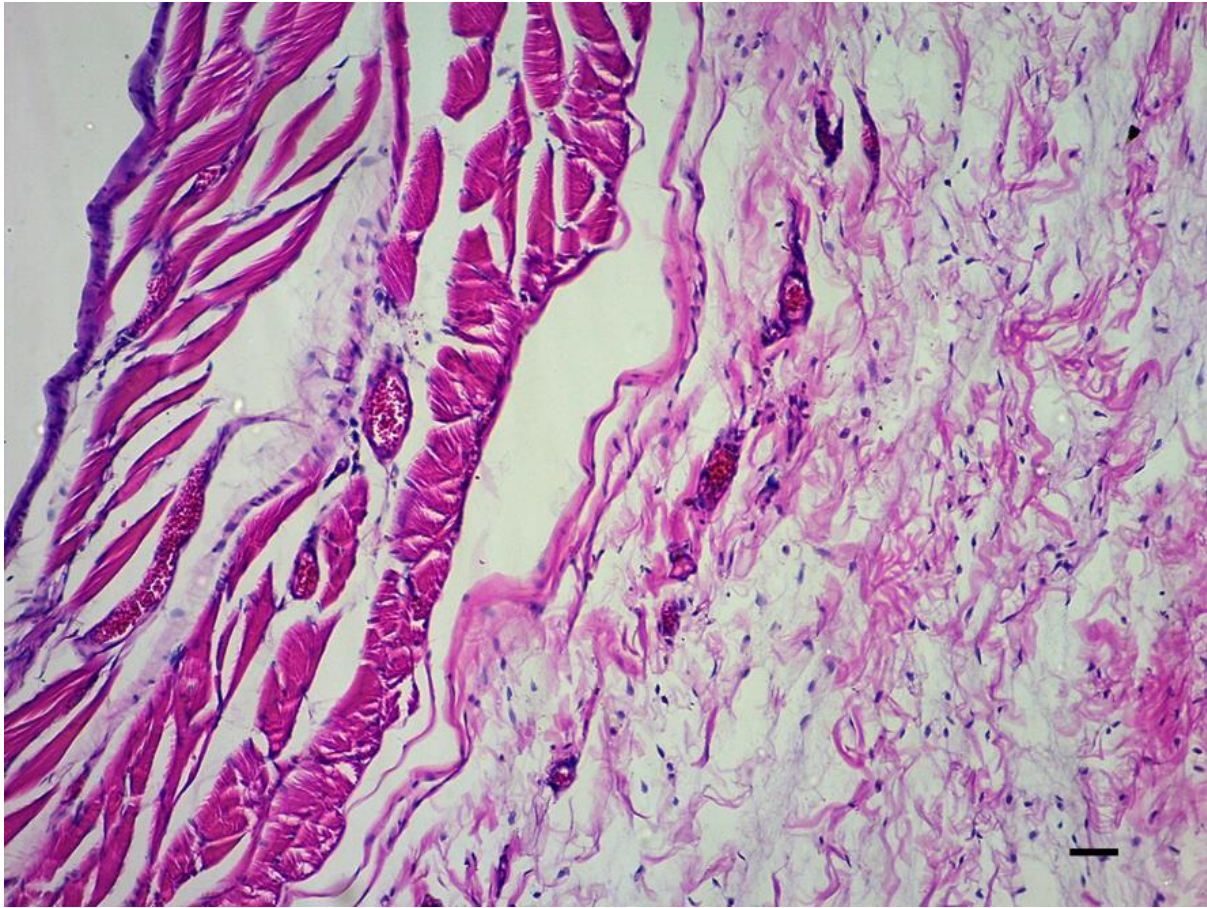


Figure 1. Photomicrograph of the scrotum of *Rattus norvegicus* after 30 days of PMMA group. Multifocal dermal fibrosis in the deep dermis, adjacent and serous musculature, proliferation of fibroblasts with slight collagen deposition, and moderate edema. Additionally, there was a slight infiltration of lymphocytes, plasma cells, and occasional mast cells.

	PMM A (%)	Cyano (%)	p-value
Tunica vaginalis inflammation			0.08
Yes	0 (0%)	2 (20%)	
No	10 (100%)	8 (80%)	
Fibrous dermatitis			0.22

Yes	5 (50%)	3 (30%)
No	5 (50%)	7 (70%)

Table 1. Data was analyzed using a logistic regression model. The results showed no significant association between prosthesis type and the presence of tunica vaginalis inflammation (p-value = 0.08) or fibrous dermatitis (p-value = 0.22).

In group 2 (PMMA), out of 10 (100%) rats, five (50%) showed dermal fibrosis similar to that observed in groups 1, and five (50%) did not present with any type of lesion.

Regarding the histopathological changes in the tunica vaginalis region (Tab. 1), in group 1 (cyanoacrylate), two (20%) had mononuclear and erosive vaginalis, noting that the tunica vaginalis was irregularly thickened and diffusely enlarged, three times the normal size, containing moderate infiltrate composed of lymphocytes, plasma cells, macrophages, and rare neutrophils and eosinophils. There was an occasional disappearance of the lining mesothelium, and mesothelial proliferation (hyperplasia) was observed in a few areas. In some areas, the musculature adjacent to the serosa had a moderate inflammatory infiltrate, with a predominance of mononuclear cells and fibroblast proliferation with mild collagen deposition (Fig. 2). Eight rats (80%) showed no change.

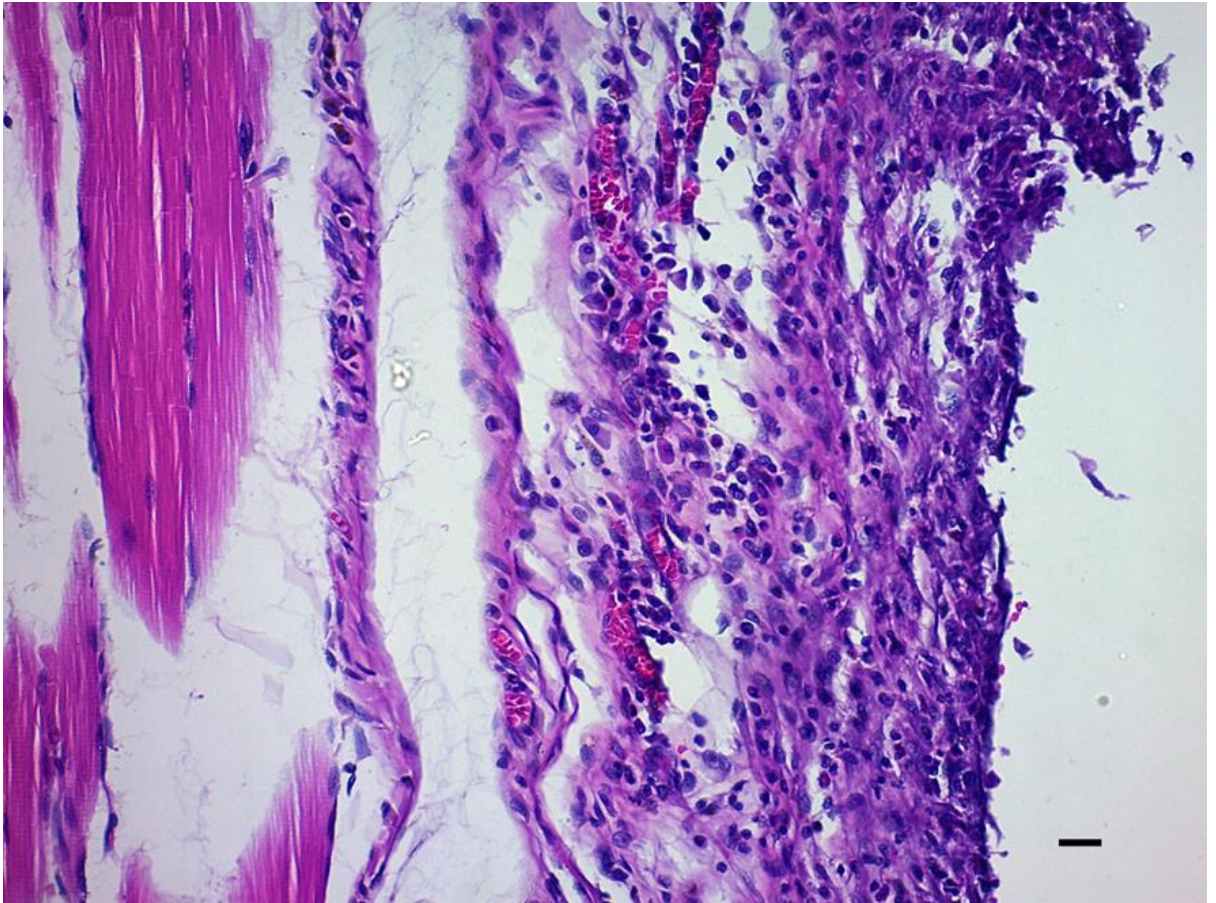


Figura 2. Photomicrograph of the scrotum of *Rattus norvegicus* after 30 days of cyanoacrylate glue. The tunica vaginalis is irregularly thick, and in most of the section evaluated, it is enlarged from two to three times the normal size, often containing a mild to moderate inflammatory infiltrate composed of lymphocytes, plasma cells, macrophages and rare neutrophils. In some areas, the musculature adjacent to the serosa contains a moderate infiltrate, with a predominance of mononuclear cells and proliferation of fibroblasts with slight collagen deposition. Morphological diagnosis of mononuclear and erosive, irregular, extensive mild to moderate vaginalitis.

No animal in the PMMA group showed histological changes in the tunica vaginalis region.

Logistic regression is often used to evaluate causality effect where the response variable is categorical. The results showed no significant association between prosthesis type and the presence of tunica vaginalis inflammation (p-value = 0.08) or fibrous dermatitis (p-value = 0.22).

DISCUSSION

The technology used to print objects using 3D printers is becoming increasingly accessible and useful. For surgeons, 3D printing has been widely used in research, surgical training, and preoperative planning (Jacobs and Lin, 2017). In this study, using the 3D printer, we were able to obtain implants quickly and efficiently, with a period of only 30 min spent to print the interior of each prosthesis. In addition, because software is used as a tool for sending data to the printer, it is possible to set up a database in which only the dimensions of the testicles are changed before printing. This accelerates production and makes the process more flexible, which allows the prostheses to be fully customized and/or patient-specific, helping to reduce the risk of inflammation since the prosthesis is individually modeled.

Three-dimensional (3D) printing is a process in which a product is built layer-by-layer based on a sketch developed in software. This technology facilitates free-form design and production of custom objects and shapes, including complex geometries. In human medicine, this technique is beginning to revolutionize medical and surgical procedures (Hoy, 2013; Chae et al., 2015). However, although 3D printing has advanced recently, mainly in the manufacture of ocular prostheses, there is still much room for research in the field of development of new techniques and the use of this material (Alam et al., 2017; Ko et al., 2019).

Numerous biomaterials have been investigated worldwide for use in implants; however, only a few have been approved and certified by health agencies. For example, in Brazil, there is only one certified product currently available for orbital implants, distributed under the trade name Medpor®8. However, as these products are not competitive, they have a high acquisition cost, which prevents their use by the broad population as it makes the presence of these materials in most public hospitals difficult (Kormann et al., 2019). In veterinary medicine, cost interferes even more, as it is an elective procedure. Therefore, we developed two low-cost prostheses that would facilitate the acquisition of the material for a broad population in both human and veterinary medicine.

A disadvantage of both prostheses created in this study is their extremely firm consistency, which significantly alters the sensitivity of the patient in relation to the implant. The future of testicular implants is primarily geared towards achieving complete patient satisfaction from the point of view of generating the most natural sensitivity and appearance (Hayon and Coward, 2020).

The most important parameters in the evaluation of prostheses are the degree of inflammatory response and level of formation of the surrounding fibroconnective tissue. Therefore, to be considered a good implant material, it must induce very little inflammation and be surrounded by a thin fibrotic capsule (Ye et al., 1999).

In the present study, two rats in the group with the cyanoacrylate-coated prosthesis showed a mild degree of inflammation in the tunica vaginalis. Studies have shown that cyanoacrylate derivatives with a short carbon chain, such as the ethyl cyanoacrylate used here, are poorly biocompatible and present rapid degradation at application sites, causing intense

inflammatory reactions (Leggat et al., 2007). Although no statistically significant difference was found between the two groups in this study, the tunica vaginalis analysis demonstrated a p-value near to significant (p-value = 0.08) when compared with PMMA group. Since, when the categorial data is evaluated as a response variable probability of incidence in the population should be considered to avoid false positives. The fact of the p-value be not significant reflects the small incidence in this population (PMMA group). In other words, this result can be attributed to the small number of animals in each group, and for this reason, we suggest further experiments by increasing the sample group.

Another possibility would be to change the type of cyanoacrylate used in the experiment, since cyanoacrylate derivatives with a long carbon side chain (more than four carbons) are considered more biocompatible and degrade slowly, promoting a slower release of degradation products and less toxicity, thus causing fewer local inflammatory reactions when compared to short-chain cyanoacrylates, as used in this study (Leggat et al., 2007).

Rats with implants coated with polymethylmethacrylate did not show any inflammatory reaction in the tissues adjacent to the prosthesis. In a study that histologically analyzed the bone repair process in the frontal bone of rats in the face of the addition of PMMA, no signs of inflammation or bone necrosis were observed, and the biocompatibility of the material was observed through the formation of a fibrous capsule (Lins et al, 2008). Since 1960, PMMA has been shown to be immunologically inactive as an implant material, and reports have described its use as a hip prosthesis and dental prosthesis, and it has been widely used in the field of ophthalmology (Karademir et al. 2004), has described its use in urology, which makes our experiment unusual and motivates us to expand studies in this area.

PMMA is produced through an exothermic reaction, in which the temperature can reach more than 80°C. Although the monomer liquid is extremely allergenic and cytotoxic (Eppley, 2003), the mixing and initial polymerization process took place outside the implantation site one day before the surgical procedure; thus, there is minimal contact between the free monomers and the tissue.

One advantage of PMMA as a coating for our implant is that it is affordable, which would facilitate its commercialization, especially for elective procedures in veterinary medicine, where the cost factor is decisive for the authorization of surgical procedures.

Both groups had rats with fibrous dermatitis, but the p-value was not significant, and considering that the skin lesion caused by the surgical incision was only 30 d old, it is suggested that this dermatitis is just a consequence of a process of final healing of the dermis. Karademir et al. (2004) evaluated testicular prostheses made of polymethylmethacrylate in rats and made a sample group of 10 rats, in which only one incision was made in the tunica vaginalis, followed by suturing, to serve as a control group. After 3 months, the testes were removed along with the scrotum, and histological analysis was performed, which revealed that 100% of the animals did not show any type of inflammation, thus, corroborating that the dermatitis found in this study should be considered just the end of the skin healing process.

CONCLUSIONS

Biomaterials and new technologies for implants need to be intensively studied and evaluated as the demand increases every year, with an increase in life expectancy in both humans and animals.

The 3D printer is a great work tool for surgical centers, both for its efficiency and for fast production. To reduce the cost of prostheses, it is only necessary to cover them with biomaterials.

PMMA has proven to be a great option for use as a testicular implant, as it does not present any type of rejection or inflammation and is easily accessible. However, cyanoacrylate requires further studies with a larger sample size, so we can conclude its efficiency as a biomaterial.

REFERENCES

- 1 ALAM, M.S.; SUGAVANESWARAN, M.; ARUMAIKKANNU, G.; MUKHERJEE, B. An innovative method of ocular prosthesis fabrication by bio-CAD and rapid 3-D printing technology: A pilot study. *The International Journal on Orbital Disorders*, v.36, p.223–227, 2017.
- 2 BERTOL, L.S.; ESCOBAR, C.F.; KINDLEIN JÚNIOR, W. *et al.* Projeto, fabricação e avaliação de implantes craniofaciais personalizados: proposta de utilização de materiais combinados. *Rev. Bras. Eng. Biom.*, v.26, n.2, p.79-89, 2010.
- 3 CHAE, M.P.; ROZEN, W.M.; MCMENAMIN, P.G., *et al.* Emerging applications of bedside 3D printing in plastic surgery. *Front. Surg.*, v.2, n.25, 2015.
- 4 CHAPPLE, A.; MCPHERSON, A. The decision to have a prosthesis: a qualitative study of men with testicular cancer. *Psicho-Oncology*. v.13, n.9, p.654.664, 2004.
- 5 EPPLEY, B.L. Alloplastic Cranioplasty. *Oper. Tec. Plast. and Reconst. Surg.* v.9, n.1, p.16-22, 2003.
- 6 HAGE, J.J.; AMERONGEN, A.H.M.T.; DIEST, P.J.V. Rupture of silicone gel-filled testicular prosthesis: Causes, diagnostic modalities and treatment of a rare event. *J. Urol.* v.161, p.467–471, 1999.
- 7 HAYON, S.; MICHAEL, J.; COWARD, R.M. The modern testicular prosthesis: patient selection and counseling, surgical technique, and outcomes. *Asian J. Androl.*, v.22, n.1, p.64–69, 2020.
- 8 HOY, M.B. 3D printing: making things at the library. *Medical Referece Services Quarterly*. v.32, p.93–99, 2013.
- 9 JACOBS, C.A.; LIN, A.Y. A New classification of three-dimensional printing technologies: systematic review of three-dimensional printing for patient-specific craniomaxillofacial surgery. *Plast. Reconstr. Surg.*, v.139, n.5, p.1211-1220, 2017.
- 10 KARADEMIR, K.; SENKUL, T.; DEMIR, S., *et al.* A new testis prosthesis material: polymethylmethacrylate. *Urol. Int.*, v.72, p.71-75, 2004.
- 11 KO, J.; KIM, S.H.; BAEK, S.W. *et al.* Semi-automated fabrication of customized ocular prosthesis with three-dimensional printing and sublimation transfer printing technology. *Sci. Rep.*, v.9, p.2968, 2019.
- 12 KORMANN, R.B.; MORSCHBACHER, R.; MOREIRA, H.; AKAISHI, P. A three-dimensional printed photopolymer resin implant for orbital rehabilitation for evisceration. *Arq. Bras. Oftal.* v.82, n.6, p.471-475, 2019.
- 13 LEGGAT, A.P.; SMITH, D.R.; KEDJARUNE, U. Surgical applications of cyanoacrylate adhesives: a review of toxicity. *J. Surg.* v.77, p.209-213, 2007.
- 14 LINS, L.; AZEVEDO, R.A.; GOMES, L. *et al.* Efeito do cimento cirúrgico composto por metacrilatos na reparação óssea de ratos. *Revista Brasileira de Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial*. v.5, n.1, p.44-50, 2008.

- 15 OLIVEIRA, B.A.S.; ROCHA, L.M.; MÓL, B.; VALLE, G.R. Métodos cirúrgicos e não cirúrgicos de contracepção masculina em cães. *Sinapse Múltipla*. v.1, n.1, p. 1-14, 2012.
- 16 PALMA, P.C.R.; RODRIGUES NETTO JÚNIOR, N. Determinação dos níveis séricos de testosterona em pacientes submetidos a orquiectomia subcapsular. *J. Bras. Urol.* v.13, n.2, p.30-32, 1987.
- 17 PEREIRA, M.M.; BUONO, V.T.L.; ZAVAGLIA, C.A.C. Materiais metálicos: ciência e aplicação como biomateriais. In: ORÉFICE, R.A.; PEREIRA, M.M.; MANSUR, H.S. (Ed). *Biomateriais: fundamentos e aplicações*. Rio de Janeiro: Cultura Médica. p.39-58, 2005.
- 18 PURANIK, S.R.; MENCIA, L.F.; GILBERT, M.G. Artificial testicles in children: A new silastic gel testicular prosthesis. *J. Urol.* v.109, p.735–736, 1973.
- 19 RESNICK, M.I. Hormonal therapy in prostatic carcinoma. *Urology*. v.24, n.5, p.18-23, 1984.
- 20 TESSARIOLI, M.; HÜNNING, P.S.; MOTTIN, I.B. *et al.* Adesivo de cianocrilato no tratamento de úlcera de córnea em cães e gatos – Revisão. *Medvet Revista Científica de Medicina Veterinária - Pequenos Ani-mais e Animais de Estimação*. v.12, n.41, p.1-637, 2014.
- 21 YE, Q.; OHSAKI, K.; IL, K. *et al.* Subcutaneous inflammatory reaction to a synthetic auditory ossicle (Bioceram) in rats. *Acta Otolaryngol.* v.119, n.83, p.88, 1999.

ANEXO A - PÁGINA WEBQUALIS QUE ATESTA A CLASSIFICAÇÃO DO PERIÓDICO

Link de acesso:

<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/veiculoPublicacaoQualis/listaConsultaGeralPeriodicos.jsf>

Qualis A4 - Observatorio de la Economía Latinoamericana

Qualis Periódicos

* Evento de Classificação:

CLASSIFICAÇÕES DE PERIÓDICOS QUADRIÊNIO 2017-2020 ▾

Área de Avaliação:

☒ MEDICINA VETERINÁRIA ▾ +

ISSN:

☐

Título:

☒ OBSERVATORIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA

Classificação:

☐ -- SELECIONE -- ▾

Consultar

Cancelar

Periódicos

ISSN	Título	Área de Avaliação	Classificação
1696-8352	OBSERVATORIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA	MEDICINA VETERINÁRIA	A4



3D capturing anatomic complex biomodel in medicine veterinary: how to prepare, digitize and replicate the male canine urogenital system

Captura 3D de biomodelos anatómico complexos na medicina veterinária: como preparar, digitalizar e replicar o sistema urogenital canino macho

DOI: 10.55905/oelv21n6-117

Recebimento dos originais: 23/05/2023

Aceitação para publicação: 28/06/2023

Luiz Felipe Souza de Lima

Master in Animal Sciences

Institution: Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) - Cuiabá

Address: Av. Fernando Correa da Costa, 2367, Campus Universitário, Coxipó,

Cuiabá - MT, CEP: 78060-900

E-mail: luizcruella@gmail.com