

Igor Lacroix, Mayra Torres Vasquez, Marcos César de Oliveira Santos, Israel Chilvarquer, Fábio Siviero e Paulo Eduardo Capel Cardoso*

* Igor Lacroix é Professor Doutor do Grupo de Disciplinas de Desenho Industrial (GDDI), do Departamento de Projeto (AUP), da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo (FAU-USP). Atualmente, é Vice-coordenador acadêmico da Seção Técnica de Modelos, Ensaios e Experimentações Construtivas (STMEE-C-LAME). Desenvolve pesquisa sobre técnicas avançadas de modelagem e fabricação digitais.

<igorlacroix@usp.br>

ORCID 0000-0002-2526-3136

Mayra Torres Vasquez é Professora Assistente da Faculdade Israelita de Ciências da Saúde Albert Einstein. Graduada, mestra e doutora pela Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo (FO-USP), com pós-graduação na Orofacial Pain Clinic da Universidade do Kentucky, EUA, e habilitação em Laser pelo CFO. Fundadora da Innov3D, atua como pesquisadora na área de manufatura aditiva, ou impressão 3D, aplicada à odontologia. É professora convidada no CRAI-FO-USP, ministrando sobre impressão 3D em odontologia.

<mayra.vasquez@einstein.br>

ORCID 0000-0003-3952-8729

Marcos César de Oliveira Santos é Professor Titular do Departamento de Oceanografia Biológica, do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP), com trinta anos de experiência em pesquisa sobre história natural e população ecológica de cetáceos. Atualmente, é coordenador acadêmico da Laboratório de Biologia da Conservação de Mamíferos Aquáticos (LABCMA).

<mcos@usp.br>

ORCID 0000-0002-6642-2658

Design biocêntrico para assistir o ensino de anatomia de golfinhos a pessoas com deficiência visual

Resumo O design biocêntrico ocorre por meio da aprendizagem com a natureza e sua aplicação em produtos, ao considerar a ética, a ecologia e a sustentabilidade. Uma metodologia interdisciplinar eficaz para assistir o ensino de anatomia de maneira ampliada, uma vez que é necessária uma ação integrativa para garantir a inclusão de pessoas com deficiência no ensino universitário. Em resposta a essa problemática, buscou-se ampliar o acesso às pessoas com deficiência visual, utilizando tecnologias assistivas. Assim, digitalizou-se os crânios de dois espécimes de golfinhos, o primeiro por escaneamento tridimensional (3D) do crânio de uma toninha, o segundo por captura topográfica do crânio de um golfinho-comum. O objetivo foi a impressão 3D dos crânios para criação de recursos didáticos. Assim, percebe-se a importância das metodologias de biomimética para o design de objetos assistivos, ao mimetizar as morfologias de crânios de golfinhos para que pessoas com deficiência visual possam compreender a anatomia animal. Portanto, este projeto de pesquisa contribui no ensino inclusivo e ecológico, em um contexto interdisciplinar.

Palavras-chave Design biocêntrico, Tecnologia Assistiva, Anatomia de golfinhos, Pessoas com deficiência visual.

Israel Chilvarquer é Professor Sênior do Departamento de Ortodontia e Odontopediatria. Professor Pleno do Programa de Pós-Graduação em Diagnóstico Bucal, com sub-área em Radiologia e Imagenologia. Professor Aposentado e Associado da disciplina de Radiologia, da FO-USP. Pós-graduação em nível de mestrado e doutorado pela Universidade do Texas, San Antonio, EUA. Atualmente, é Diretor Clínico da INDOR Radiologia, unidade Pacaembú.

<chilvarquer@gmail.com>

ORCID 0000-0003-3967-0143

Fábio Siviero é Graduado em Química (1998) e Doutor em Bioquímica (2004) pela Universidade de São Paulo (USP), atualmente é Professor Doutor do Instituto de Ciências Biomédicas da USP, com atuação em Biologia do Desenvolvimento de Insetos e em Desenvolvimento de Recursos Educacionais. Coordena pesquisas e projetos voltados à inovação em metodologias e recursos didáticos para ensino nas áreas biológicas e da saúde, desenvolvendo abordagens inclusivas e acessíveis por meio de atividades interativas presenciais e online, materiais táteis impressos em 3D, objetos didáticos modulares, softwares educativos e recursos gamificados, visando aprendizado contextualizado e efetivo..

<fsiviero@usp.br>

ORCID 0000-0001-8998-9705

Paulo Eduardo Capel Cardoso é Formado em Odontologia pela USP (1983), mestre (1991) e doutor (1994). É especialista em Dentística Restauradora e professor na USP. Sua carreira acadêmica foca em materiais dentários, clínica odontológica e, desde 2022, dedica-se à tecnologia assistiva, desenvolvendo o aplicativo *Digitavox-USP* e fundando

Biocentric design to assist in teaching dolphin anatomy to visually impaired people

Abstract *Biocentric design is about learning from nature and applying it to products, taking ethics, ecology and sustainability into account. An effective interdisciplinary methodology to help teach anatomy in an expanded way, since integrative action is needed to guarantee the inclusion of people with disabilities in university education. In response to this problem, we sought to increase access for people with visual impairments, using assistive technologies. Thus, the skulls of two dolphin specimens were digitized, the first by three-dimensional (3D) scanning of the skull of a porpoise, the second by topographic capture of the skull of a common dolphin. The aim was to 3D print the skulls to create teaching resources. This shows the importance of biomimetic methodologies for the design of assistive objects, by mimicking the morphologies of dolphin skulls so that visually impaired people can understand animal anatomy. Therefore, this research project contributes to inclusive and ecological teaching in an interdisciplinary context.*

Keywords *Biocentric design, Assistive technology, Dolphin anatomy, People with visual impairments.*

Diseño biocéntrico para assistir en la enseñanza de la anatomía de los delfines a personas con discapacidad visual

Resumen *El diseño biocéntrico consiste en aprender de la naturaleza y aplicarlo a los productos, teniendo en cuenta la ética, la ecología y la sostenibilidad. Una metodología interdisciplinar eficaz para ayudar a enseñar anatomía de forma ampliada, ya que es necesaria una acción integradora para garantizar la inclusión de las personas con discapacidad en la enseñanza universitaria. En respuesta a este problema, se trató de aumentar el acceso de las personas con deficiencias visuales mediante el uso de tecnologías asistivas. Se digitalizaron los cráneos de dos especímenes de delfines, el primero mediante escaneo tridimensional (3D) del cráneo de una marsopa y el segundo mediante captura topográfica del cráneo de un delfín común. El objetivo era imprimir en 3D los cráneos para crear recursos didácticos. Esto demuestra la importancia de las metodologías de biomimetismo para el diseño de objetos de asistencia, imitando las morfologías de los cráneos de delfines para que las personas con discapacidad visual puedan comprender la anatomía animal. Este proyecto de investigación contribuye así a una enseñanza inclusiva y ecológica en un contexto interdisciplinario.*

Palabras clave *Diseño biocéntrico, Tecnología asistiva, Anatomía de los delfines, Personas con discapacidad visual.*

o CRAI ACESSA (FO-USP). Integra grupos de inclusão na USP, colabora com a UFSCAR e a FAPESP em projetos de acessibilidade, e coordena iniciativas para deficientes visuais, incluindo parcerias com o governo de SP. Lidera pesquisas em tecnologias assistivas interinstitucionais.

<paulocapel@usp.>

ORCID 0000-0002-4997-9251

Contextualização

Os princípios da sustentabilidade orientaram a pesquisa que gerou este artigo. É importante iniciar desta maneira, porque qualquer processo produtivo, que envolva o design e a produção, no contexto da crise climática, deveria priorizar o tripé social, econômico e, principalmente, ecológico, e foi este o caso desta pesquisa.

O biocentrismo (Taylor, 1986) foi essencial para conduzir a criação de recursos acessíveis para o ensino de pessoas com deficiência visual. Biocentrismo é um conceito que vem sendo desenvolvido no âmbito da ética, ao procurar desmistificar a separação entre a humanidade e a natureza, no sentido da priorização e manutenção da vida no planeta (Schweitzer, 1949; Krenak, 2020).

A aprendizagem com a natureza, ou biomimética (Benyus, 1997), foi outro conceito fundamental para este estudo, uma vez que houve a necessidade de compreender as morfologias e padrões, ou regras encontradas na natureza, e extrair desta compreensão as informações necessárias para o design e a produção. Assim, reproduzindo a expressão natural em objetos fabricados digitalmente.

Nesse sentido, apresenta-se uma abordagem biocêntrica das tecnologias assistivas, orientada para o ensino de anatomia de golfinhos a pessoas com deficiência visual e em conformidade com a Lei Brasileira de Inclusão (LBI) de 2015 (Brasil, 2015). O estudo foi realizado no âmbito de um projeto acadêmico, uma iniciativa interdisciplinar que conecta diversas áreas do conhecimento de uma universidade pública brasileira, em benefício de uma didática cada vez mais inclusiva e consciente dos impactos que ocasiona.

Conforme Rita Bersch (2017), as tecnologias assistivas são todos os recursos que assistem pessoas com deficiência e que promovem inclusão e autonomia social. O objetivo geral da produção dessas tecnologias nesta pesquisa foi criar recursos didáticos acessíveis por meio de modelagem e impressão tridimensional (3D). Especificamente, procurou-se técnicas que pudessem solucionar a complexidade morfológica da anatomia dos crânios de golfinhos, como o escaneamento 3D e a captura topográfica.

Disciplinas com enfoque morfológico, como anatomia, histologia e biologia celular, entre outras, são componentes essenciais dos ciclos básicos dos cursos de graduação das áreas biológicas e da saúde. Essas disciplinas desempenham um papel fundamental na formação dos futuros profissionais, demandando elevados níveis de abstração e um letramento visual prévio para a correta interpretação de imagens e objetos tridimensionais, tanto em aulas teóricas quanto práticas (Silveira *et al.*, 2020). Para facilitar a compreensão dessas estruturas, é comum o uso de um repertório amplo de recursos didáticos.

Entre esses recursos, destacam-se os modelos impressos em 3D por diferentes técnicas. Esses modelos apresentam vantagens significativas, como a redução de custos, já que peças anatômicas tradicionais são difíceis de obter, fixar e conservar, além de superarem barreiras relacionadas a objeções de consciência e promoverem maior acessibilidade para estudantes

com diferentes necessidades específicas.

Nos últimos anos, o Brasil tem registrado um aumento gradual no número de estudantes com deficiência no ensino superior, reflexo de políticas públicas de educação especial que garantem acesso ao ensino básico (fundamental e médio). Segundo dados do INEP (2022, 2023a, 2023b), somente no estado de São Paulo, havia, em 2021, 2.514 estudantes com deficiência visual (cegueira ou baixa visão) matriculados em Instituições de Ensino Superior. Esse número cresce de forma consistente, como evidenciado pelos 10.479 estudantes com deficiência visual matriculados no ensino básico em 2023. Esse cenário reforça a necessidade urgente de adoção de abordagens pedagógicas inclusivas e do desenvolvimento de recursos didáticos que atendam às necessidades específicas de estudantes com deficiência visual.

Nas áreas biológicas e da saúde, recursos acessíveis para o ensino de disciplinas morfológicas ainda são bastante escassos. Nesse contexto, o uso de escaneamento e impressão 3D desponta como uma solução de baixo custo e alta eficiência, possibilitando a criação de materiais fidedignos que podem ser facilmente adaptados para incluir informações táteis, ampliando significativamente o alcance e a acessibilidade do ensino, gerando modelos físicos que podem ser utilizados em sala de aula, bem como digitais, que podem ser utilizados como recursos complementares em tela para público amplo ou forma de disseminação dos modelos.

Anatomia de cetáceos

As baleias e os golfinhos são mamíferos marinhos classificados na ordem dos cetáceos (Berta *et al.*, 2015). Essa ordem inclui 94 espécies de mamíferos carnívoros (Comitê de Taxonomia, 2025), caracterizados pela presença de nadadeiras peitorais e uma nadadeira caudal composta por dois lobos. Atualmente, os cetáceos são representados por duas subordens principais: os misticetos (baleias com barbatanas) e os odontocetos (baleias com dentes).

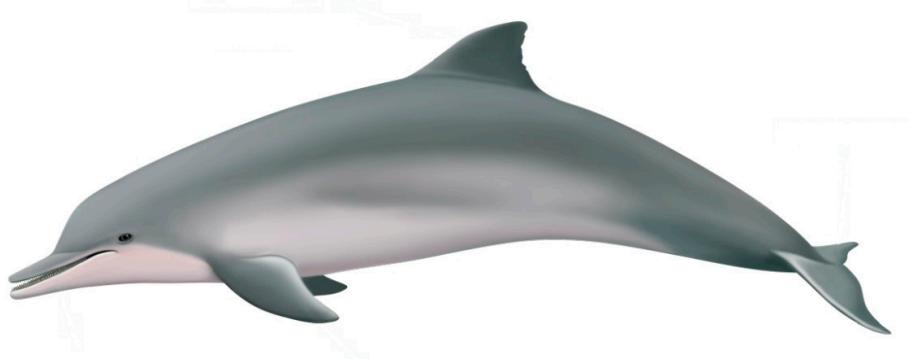
As baleias de barbatanas consistem em 15 espécies existentes (Comitê de Taxonomia, 2025), que se distinguem pela presença de placas de barbatanas em suas bocas, que elas usam para filtrar pequenas presas, como crustáceos e peixes de cardume. As baleias de barbatanas adultas variam em tamanho de 6 a 30 metros de comprimento e são encontradas em todas as bacias oceânicas (Berta *et al.*, 2015). Elas pertencem à subordem dos misticetos.

Por outro lado, os cetáceos com dentes abrangem 77 espécies (Comitê de Taxonomia, 2025), incluindo golfinhos (Figura 1) e espécies relacionadas, que são equipadas com dentes usados principalmente para capturar presas e, em alguns casos, para seleção sexual durante a reprodução. Com tamanhos que variam de 1,2 a 18 metros, os cetáceos com dentes habitam todas as bacias oceânicas e, em certos casos, ecossistemas de água doce em

regiões tropicais da América do Sul e da Ásia (Berta *et al.*, 2015). Essas espécies são classificadas na subordem dos odontocetos.

Figura 1 Ilustração do golfinho-comum.

Fonte Leandro Coelho, 2022.



Os cetáceos têm uma história evolutiva extraordinária que remonta a 50 a 55 milhões de anos (Berta, 2012). Durante esse período, eles passaram por extensas adaptações morfológicas, passando de ancestrais terrestres e semiaquáticos para formas totalmente aquáticas. Uma das principais adaptações é o fenômeno de “telescopização do crânio”, no qual as narinas moveram-se da ponta do focinho para a região dorsal da cabeça (Berta, 2017). Essa adaptação morfológica, conhecida como “espiráculo”, permite que os cetáceos respirem na superfície da água e mantenham os olhos submersos para se manterem atentos ao ambiente, incluindo o habitat, os co-específicos, as presas e os predadores (Berta *et al.*, 2015).

Além disso, os cetáceos com dentes desenvolveram a notável capacidade de ecolocalização, o que lhes permite navegar e caçar no ambiente aquático por meio da percepção baseada em ondas sonoras (Berta *et al.*, 2015). Como resultado, os crânios dos cetáceos com dentes exibem morfologias exclusivas, incluindo um rosto longo (compreendendo a maxila e a mandíbula) e estruturas ósseas complexas ao redor do espiráculo, uma característica não encontrada em mamíferos terrestres ou baleias de barbatanas (Mead; Fordyce, 2009; Huggenberger *et al.*, 2019).

Devido a essas características distintas, o crânio dos golfinhos modernos é uma ferramenta educacional valiosa, oferecendo diversos temas para serem explorados por uma variedade de públicos. Para utilizar efetivamente os crânios de golfinhos em ambientes educacionais, é possível desenvolver uma variedade de temas e atividades, adaptados a diferentes faixas etárias e contextos de aprendizado. Algumas áreas potenciais de foco incluem:

1. Anatomia comparada: Explorar as diferenças morfológicas entre os crânios dos golfinhos e os dos mamíferos terrestres, bem como entre as baleias de barbatanas e os cetáceos com dentes. Isso pode promover uma compreensão da adaptação evolutiva e da morfologia funcional.
2. Biologia evolutiva: Examinar a transição dos cetáceos de ancestrais terrestres para mamíferos totalmente

aquáticos, com atenção especial às principais adaptações, como a telescopagem do crânio e o desenvolvimento da ecolocalização.

3. **Morfologia funcional:** Estudo de como as características únicas do crânio, incluindo o espiráculo e a dentição especializada, são adaptadas ao nicho ecológico do golfinho, destacando sua função na respiração, alimentação e percepção sensorial.
4. **Ecolocalização e biologia sensorial:** Demonstração de como os crânios dos golfinhos são especializados para ecolocalização, com foco em como as ondas sonoras são transmitidas através do crânio e usadas para navegação e caça.
5. **Conservação e habitat:** Investigar a importância dos golfinhos nos ecossistemas marinhos, seu papel nas cadeias alimentares e as ameaças que enfrentam devido à atividade humana. Isso pode ser vinculado a discussões sobre esforços de conservação e a importância de preservar a biodiversidade marinha.
6. **Aprendizagem interativa:** Incorporar atividades práticas, como comparações de crânios impressos em 3D, em que os alunos podem manipular modelos para explorar as características internas e externas do crânio, promovendo o engajamento e uma compreensão mais profunda.
7. **Atividades inclusivas:** Associando a manipulação de modelos a sensores com gravações que podem melhorar a experiência para pessoas com deficiência visual.

Esses tópicos fornecem uma abordagem interdisciplinar para o estudo de cetáceos e oferecem oportunidades para que educadores e alunos explorem conceitos científicos complexos de forma tangível e interativa.

Tendo em vista o papel significativo que os crânios de golfinhos desempenham na pesquisa científica, especialmente em estudos osteológicos e taxonomia, é essencial que os espécimes originais permaneçam preservados em coleções científicas. Esses ossos são de valor inestimável para os pesquisadores, oferecendo percepções essenciais sobre os aspectos evolutivos, anatômicos e funcionais da biologia dos cetáceos. Dada a natureza delicada e insubstituível desses espécimes, é fundamental minimizar seu manuseio e garantir que sejam protegidos para as futuras gerações de cientistas.

O uso crescente da tecnologia de impressão 3D revolucionou a maneira como as instituições educacionais e os museus podem se envolver com espécimes biológicos sem comprometer a integridade do material original. Ao criar modelos 3D precisos e altamente detalhados de crânios de golfinhos, é possível replicar sua forma e função para fins educacionais, proporcionando experiências de aprendizado interativo sem a necessida-

de interação direta com ossos frágeis. Essas réplicas digitais podem ser disponibilizadas gratuitamente para instituições educacionais, permitindo que estudantes e pesquisadores estudem a morfologia, a estrutura e as adaptações exclusivas dos golfinhos de uma maneira prática que, de outra forma, seria restrita devido à raridade ou à fragilidade dos ossos originais.

Além disso, de acordo com as leis internacionais de conservação, como a CITES (*Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*), que regulamenta o uso e o comércio de material biológico de espécies ameaçadas e protegidas, os modelos 3D oferecem uma alternativa ética. As normas da CITES foram estabelecidas para evitar a exploração e a degradação da biodiversidade por meio do controle da coleta e da comercialização de espécies ameaçadas de extinção, inclusive cetáceos. Com o uso de réplicas impressas em 3D, as instituições educacionais podem ajudar a reduzir a demanda por espécimes reais, garantindo que esses materiais não sejam coletados ou traficados de forma inadequada para fins não científicos.

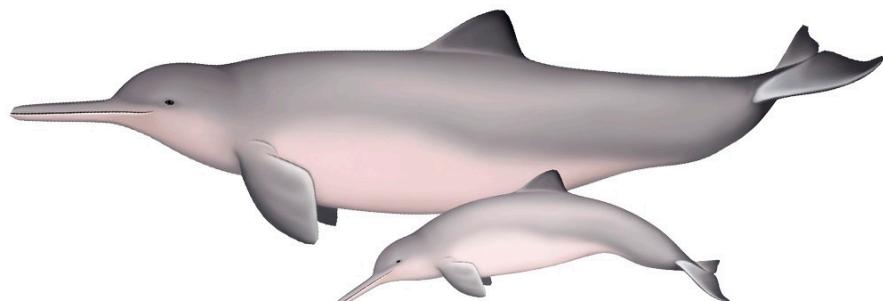
Ao aproveitar as tecnologias modernas, as atividades educacionais podem ser adaptadas para serem mais sustentáveis, éticas e acessíveis. A capacidade de criar e distribuir modelos digitais de alta qualidade de crâneos de golfinhos permite uma compreensão mais ampla da biologia dos cetáceos sem os riscos associados ao uso de material esquelético original. Essa abordagem não apenas apoia a pesquisa científica e os esforços de conservação, mas também incentiva métodos de ensino responsáveis e inovadores que se alinham aos esforços globais para proteger espécies ameaçadas e seus habitats.

Procedimentos metodológicos

A inclusão da equipe de design ao projeto de pesquisa interdisciplinar se orientou por princípios éticos e por uma abordagem centrada na vida, em um âmbito geral. Nesse sentido, buscou-se humanizar o processo, ao incluir um esquema de digitalização em baixa resolução do crânio de uma toninha (Figura 2) para viabilizar o uso por estudantes. Além disso, apresenta-se o processo de captura por tomografia computadorizada, com a resolução completa do crânio original de um golfinho-comum.

Figura 2 Ilustração da toninha.

Fonte Leandro Coelho, 2021.



Ressalta-se que os crânios utilizados neste estudo foram coletados por meio de licenças SISBIO e que os seus processos de digitalização ocorreram com o máximo cuidado, de forma, a garantir a integridade do material natural.

Trabalhos relacionados

Em revisão da literatura mais recente sobre biocentrismo aplicado em diferentes áreas de conhecimento, percebe-se tanto uma tendência à preservação do material biológico quanto uma especialização em aplicação no ensino de anatomia. Ressalta-se um caso específico de aplicação em design, mas em um campo ampliado, das plantas em contexto urbano, que procurou sistematizar o crescimento do musgo em superfícies urbanas receptivas (Lăcătușu; Cruz; Parker, 2022).

A digitalização de estruturas biológicas conceituou uma metodologia de escaneamento, modelagem e impressão 3D das morfologias de serpentes (Alves Júnior *et al.*, 2023). É um trabalho detalhado em seus procedimentos, completo em termos de abordagem, com importante referencial teórico e que constitui a principal referência para esta pesquisa, porque enquadra seus resultados no âmbito das tecnologias assistivas.

Há diversos trabalhos de digitalização de anatomia de mamíferos para estudos em medicina veterinária (Hackmann *et al.*, 2019; Reis *et al.*, 2019; Bertti *et al.*, 2020; Silveira *et al.*, 2020) e, em geral, concentram-se na anatomia de caninos, mas tratam também de equinos, e utilizam meios semelhantes de digitalização para produzir recursos didáticos. A área de conhecimento em veterinária tende à comparação morfológica e detecção de diferenças anatômicas.

A digitalização de crânios de aves constituiu uma base de dados digital importante, com muitos espécimes reproduzidos em modelos para impressão 3D, disponíveis para pesquisa (Felice; Goswami, 2018). Além do contributo à preservação, essa base de dados é potencialmente útil para aplicação em design biomimético e conscientização ambiental.

Escaneamento 3D do crânio de toninha

O processo se iniciou com o escaneamento 3D do crânio da toninha por meio do scanner de mão *Creaform Ametek Ultraprecision Technologies*. O scanner é conectado ao computador e cria uma interface com o aplicativo *VX Elements 3D Software Platform* onde se visualiza a malha 3D em tempo real, enquanto se utiliza o dispositivo para escanear o objeto (Figura 3). O *VX Elements 3D* gera uma malha 3D automaticamente a partir da nuvem de pontos capturada pelo scanner.



Figura 3 Processo de escaneamento 3D com scanner de mão.

Fonte Elaborado pelos autores, 2024.

O crânio da toninha foi escaneado em duas etapas, a primeira com o crânio perpendicular à mesa com o bico para cima, fixado em plastilina (Figura 4a). Depois, foi escaneado com o bico para baixo, apoiado em um tubo de papelão, com a intenção de escanear a parte posterior do crânio (Figura 4b). Ressalta-se que foi realizado um procedimento semelhante para o escaneamento da mandíbula.

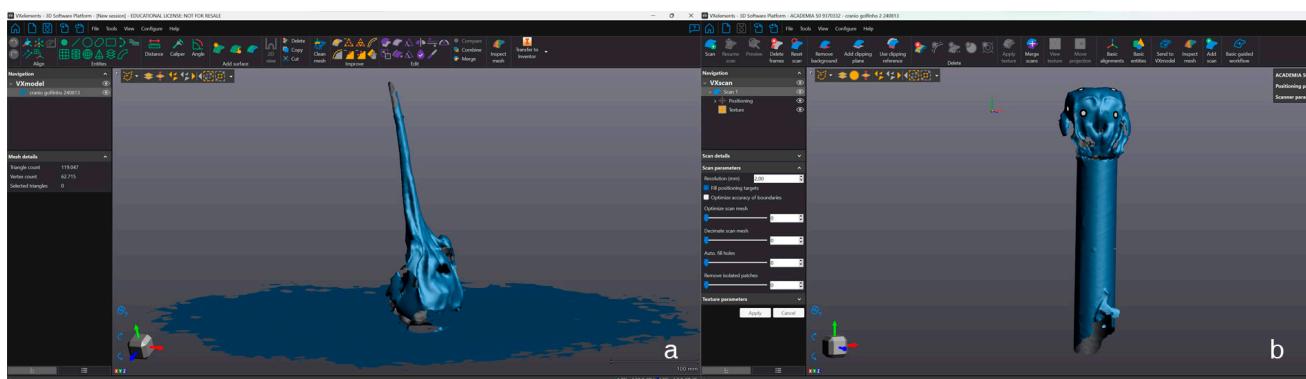


Figura 4 Escaneamento 3D em duas etapas para captura completa do crânio de toninha.

Fonte Elaborado pelos autores, 2024.

Após a fase de escaneamento, o *VX Elements 3D* possibilitou o tratamento da malha 3D inicial, ao oferecer recursos que uniformizam os pontos de malha 3D, semelhantes a um processo de alisamento da superfície por lixamento. Depois, houve um processo de modelagem no aplicativo *Rhinoceiros* para reconstrução das malhas 3D iniciais que apresentam defeitos. Essa etapa foi a mais lenta, porque necessitou de um trabalho de modelagem 3D manual dos principais problemas. O primeiro deles relaciona-se à necessidade de limpar o modelo de todos os elementos de suporte ao objeto que está sendo escaneado, portanto, a mesa de apoio (Figura 5a) e o tubo de papelão (Figura 5b). O segundo problema refere-se à necessidade de conectar as malhas 3D dos dois processos de escaneamento em um único modelo 3D (Figura 5c). O terceiro problema está relacionado à remodelagem e correção dos defeitos inerentes às malhas 3D iniciais, obtidas pelo scanner, que apresentam perfurações que, por sua vez, necessitam ser preenchidas com novas superfícies 3D (Figura 5d).

A impressora *Sethi S3*, em conjunto com o aplicativo livre *Repetier*

Figura 5 Processo de modelagem 3D no aplicativo Rhinoceros para impressão 3D.

Fonte Elaborado pelos autores, 2024.

para fatiamento do modelo 3D, resultou em objetos úteis e visualmente interessantes, desde os testes de impressão realizados a partir de crânios humanos capturados por tomografia computadorizada (Figura 6). Para os testes, utilizou-se tanto o plástico PLA quanto o ABS, resultando em diferentes resoluções e acabamentos, em duas escalas, uma reduzida e outra em tamanho real.

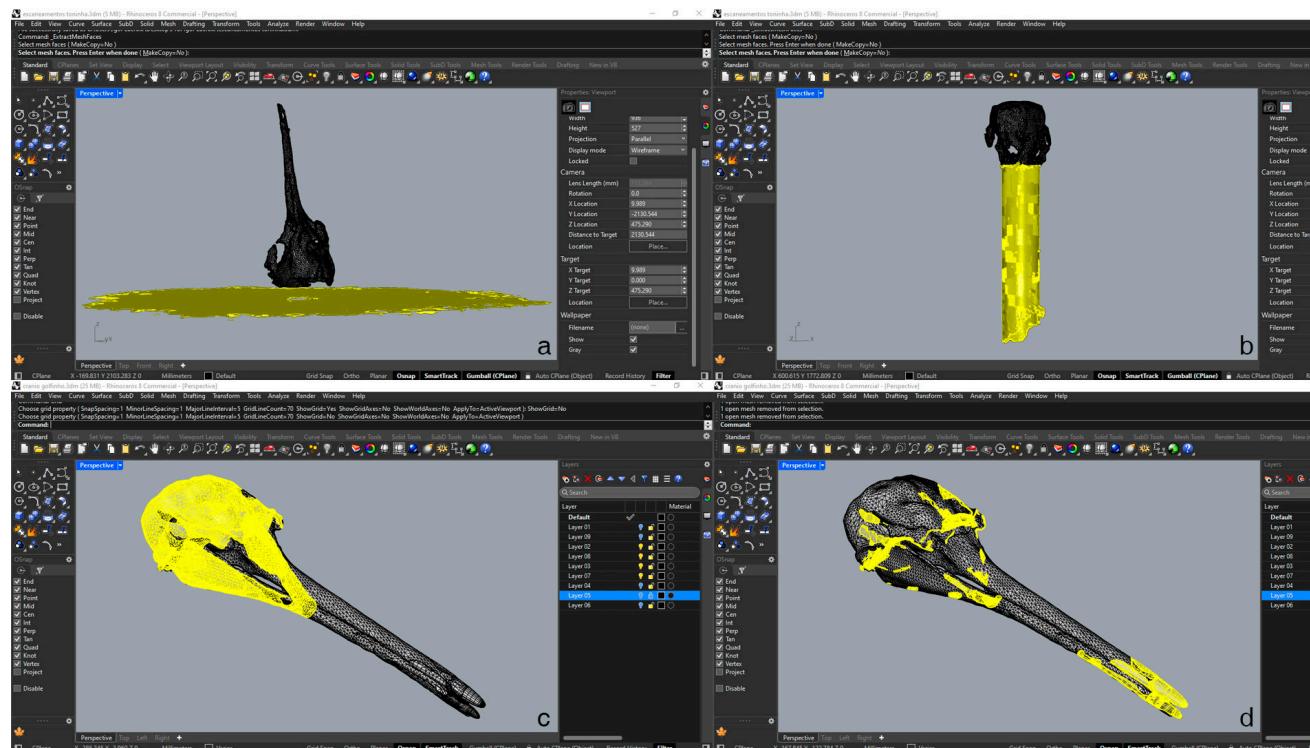


Figura 6 Testes de impressão de crânio humano em PLA e ABS.

Fonte Elaborado pelos autores, 2024.

Para a reprodução do crânio da toninha, utilizou-se apenas a impressão 3D em plástico PLA e em tamanho real, com os parâmetros de impressão correspondentes da máquina. Por último, houve a pós-produção com um trabalho de limpeza de todo suporte gerado pela impressora e retoque da superfície de contato com o suporte, por meio de lixamento. Em

comparação com o crânio original, mesmo que ainda necessite de aperfeiçoamentos, o objeto impresso alcançou uma importante semelhança (Figura 7).

Figura 7 Impressão 3D em comparação ao crânio natural de uma toninha.

Fonte Elaborado pelos autores, 2024.



Todas essas etapas são interdependentes e, do ponto de vista do design, é importante que sejam analisadas em conjunto, para se manter uma perspectiva integrada do processo. É um procedimento que pode ser reproduzido em sala de aula, possibilitando ao estudante uma compreensão mais aprofundada do desafio de imprimir tridimensionalmente peças com morfologias complexas. Por outro lado, exige maior trabalho na fase de modelagem 3D, o que pode ser um benefício ao estudante que poderá ter mais contato com as ferramentas.

Captura topográfica do crânio de golfinho-comum

A radiologia utilizada na rotina de conhecimento e avaliação de estruturas anatômicas tem se transformado significativamente, impulsionada por inovações tecnológicas e mudanças nas práticas clínicas, por exemplo:

1. Diagnóstico aprofundado: A radiologia permite que os profissionais da área da saúde apresentem diagnósticos mais completos direcionados a muitas outras atividades clínicas e didáticas.
2. Integração de tecnologias: A integração de sistemas de imagem digital com prontuários eletrônicos e outras plataformas de gestão clínica pode ser desafiadora. A interoperabilidade entre diferentes sistemas é

fundamental para maximizar a eficiência.

3. Inteligência artificial (IA): A IA está começando a desempenhar um papel significativo na radiologia, ajudando na interpretação de imagens e na identificação de padrões que podem passar despercebidos. Isso pode levar a diagnósticos mais rápidos e precisos.

Radiologia digital

A transição para a radiologia digital não só melhora a qualidade das imagens, mas também facilita o armazenamento e o compartilhamento de dados. Essa mudança também contribui para a redução da exposição à radiação.

Além disso, a integração de vários sistemas de imagem de tomografias de feixe côncico fornece informação em formato *Digital Imaging and Communications in Medicine* (DICOM) multiplanar, o que estrutura um protocolo a partir de um conjunto de normas para tratamento, armazenamento e transmissão de informação médica em formato eletrônico. O formato STL, do inglês *stereolithography*, ou estereolitografia, é utilizado para representar modelos tridimensionais por meio de triângulos. Os arquivos STL são identificáveis a partir da extensão STL e representam o formato mais comum da impressão 3D, obtidos por meio de aplicativos de modelagem 3D. A fusão das tecnologias que permitem a materialização de estruturas anatômicas.

Educação e conscientização

Os aspectos descritos na seção anterior ressaltam a importância da radiologia moderna, totalmente digital, que está se destacando, tanto em relação aos desafios a serem superados quanto às oportunidades que podem ser aproveitadas para melhorar o atendimento ao ensino clínico e pesquisa prática como um todo.

Nesta pesquisa utilizamos o equipamento *PAPAYA 3Dplus*, fabricado pela companhia limitada Genoray, localizada em Gyeonggi-do, Seongnam-si, Coreia do Sul. Utilizou-se um campo de visão de 23cm por 25cm, com corrente de 4 mA e tensão de 85 kVP e um voxel size de 0,4mm.

Para garantir a estabilização adequada do espécime a ser analisado, utilizamos um suporte estabilizador e cintas elásticas, assegurando a imobilidade do crânio durante o processo de aquisição da imagem. A captura de imagem foi realizada em duas etapas: a primeira focou na porção óssea do crânio, com o objetivo de obter imagens detalhadas das estruturas crânicas, e a segunda se concentrou na porção anterior da maxila e mandíbula, permitindo a avaliação de características específicas dessas regiões.

As imagens obtidas foram processadas utilizando o aplicativo específico para análise de tomografia, o que possibilitou a visualização em 3D das estruturas ósseas. O posicionamento do crânio do golfinho-comum no equipamento, fixado nas hastes dos pancêntricos, possibilitou a segmentação das imagens 3D obtidas a partir da manipulação do DICOM multiplanar (Figura 8).

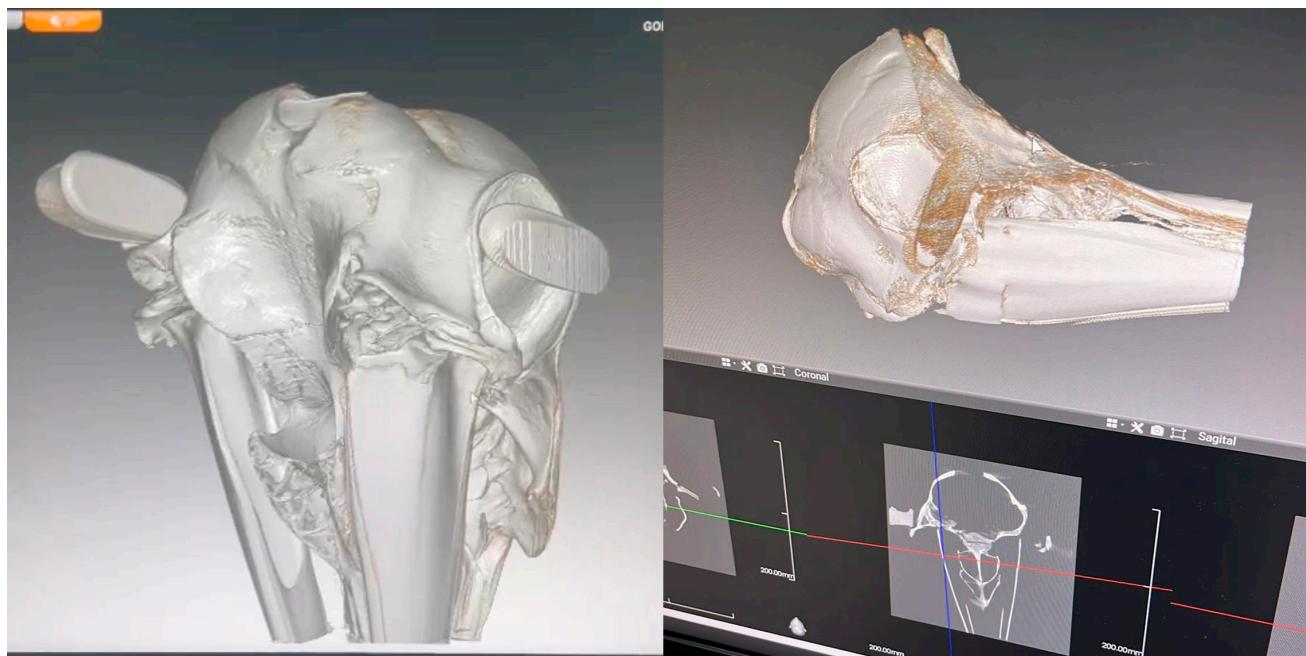


Figura 8 Processo de segmentação de imagens 3D obtidas do DICOM multiplanar.

Fonte Elaborado pelos autores, 2024.

A preparação dos modelos para impressão 3D começou com o ajuste dos arquivos STL para eliminação de ruídos, áreas corrompidas e malhas 3D desconectadas, além de homogeneização da superfície; para isso foi utilizado o aplicativo de desenho digital *Meshmixer*, desenvolvido pela empresa norte-americana *Autodesk*. A seguir, o modelo foi preparado no aplicativo de fatiamento *Cura*, desenvolvido pela empresa holandesa *Ultimaker*, para definição dos parâmetros de impressão do fatiamento virtual da peça, gerando o G-Code da impressão.

Os parâmetros utilizados para impressão foram: filamento de ABS premium, altura de camada 0.18, preenchimento de 15%, temperatura de extrusão de 250° C na primeira camada e 230° C no restante da impressão, e a mesa de impressão foi configurada em 110° C.

Para a impressão do modelo foi utilizada uma impressora do tipo *Fused Deposition Modeling* (FDM) da marca GTMax A1v2, com área de impressão de 300mm por 200mm por 300mm; considerando o tamanho do crânio, houve a necessidade de imprimir as peças subdivididas em peças menores, que depois foram unidas com cola e encaixe interno com parafuso. A Figura 9 apresenta o protótipo obtido, com a impressão 3D realizada com sucesso.

Figura 9 Impressão 3D do crânio de um golfinho-comum.

Fonte Elaborado pelos autores, 2024.



Percebe-se a semelhança anatômica do crânio do golfinho-comum, mesmo que se tenha restringido às dimensões da impressora 3D, tendo-se que dividir o crânio do bico e depois colá-los entre si, tanto para o crânio quanto para a mandíbula. Diferente do primeiro teste com o crânio da toninha, conseguiu-se reproduzir os dentes do golfinho-comum devido a maior resolução da captura topográfica.

Resultados e discussão

Obtiveram-se recursos acessíveis que biomimetizam os crânios de toninha e de golfinho-comum e que são capazes de assistir o ensino de anatomia animal a pessoas com deficiência visual. Com isso, possibilita-se observar as diferenças entre as anatomias desses dois espécimes de golfinhos e a proporção entre os seus crânios.

A inclusão socioeconômica foi um dos princípios desta pesquisa, em alinhamento à tripartição sustentável, além disso, aprofunda-se em um estudo ecológico, de preservação do material original escaneado e sua reprodução em objetos táteis para facilitar o ensino de anatomia animal a pessoas com deficiência visual. Um princípio tanto em relação à orientação assistiva dos resultados, quanto em relação ao processo de digitalização que incluiu tecnologias viáveis para finalidades didáticas. O escaneamento 3D possibilitou utilizar diferentes dispositivos que oferecem alta precisão, mas mesmo os dispositivos mais acessíveis, e menos precisos, são suficientemente bons para o uso didático.

A impressão 3D foi a tecnologia que possibilitou uma redução material para a fabricação dos objetos. O PLA é um polímero natural e biodegradável, mas com um ciclo sustentável ainda incompleto, por outro lado, o ABS detém uma produção com emissão intensiva de carbono. Pretende-se explorar um material natural, como a argila, o que vem sendo organizado no âmbito de uma requalificação laboratorial em andamento, para incorporar uma revisão do processo produtivo do laboratório de fabricação digital.

A impressão do crânio da toninha ficou maciça, o que necessitaria ainda de uma modelagem oca para se assemelhar mais ao crânio natural. Além disso, a mandíbula ficou com pouca espessura na área da conexão com o crânio, resultando em um objeto impresso com algumas falhas. São questões materiais para o desenvolvimento dos objetos, mas que podem ser aperfeiçoadas, na compreensão dos limites do processo de fabricação e ao ajustar o modelo 3D para se adequar aos parâmetros de impressão.

Em suma, as tecnologias assistivas desenvolvidas enquanto recursos didáticos apresentaram um elevado biomimetismo, ao aprender com os espécimes de golfinhos analisados. Portanto, desenvolveu-se um estudo de produção sustentável, com consciência ecológica e ética, orientado para a inclusão no ensino biológico, que ainda pode ser aprofundado em muitos aspectos, mas que representa um potencial de investigação.

Considerações finais

O trabalho interdisciplinar viabilizou esta pesquisa centrada na vida marinha e dedicada às pessoas com deficiências, no sentido da colaboração entre áreas que, normalmente, não estão conectadas, mas que podem se beneficiar mutuamente. Há pesquisas futuras sendo organizadas em âmbito interinstitucional que poderão conduzir a avanços, por exemplo, na utilização de materiais ecológicos, em substituição aos polímeros comuns para impressão 3D, como o ABS e PLA, e na otimização da modelagem 3D por meio de inteligência artificial.

A intenção é realizar um trabalho concentrado para a constituição de uma base de dados, no sentido de catalogar o maior número de espécimes a serem fabricados digitalmente. O que poderia favorecer o compartilhamento com as instituições de educação e reabilitação de deficientes visuais.

Futuramente, os resultados desta pesquisa serão disponibilizados para acesso aberto, público e gratuito, ou seja, qualquer pessoa terá acesso aos arquivos para impressão 3D. Considera-se a possibilidade de universalizar o acesso das pessoas, sejam videntes ou não. Além disso, a pesquisa aqui apresentada representa uma primeira fase de investigação. Posteriormente, pretende-se fazer com que estas peças cheguem aos cegos ou às pessoas com baixa visão, para que elas possam avaliar. Para que elas possam perceber e sentir. Portanto, no futuro, espera-se que os dados gerados sejam disponibilizados em repositórios para amplo acesso e que sejam avaliados por pessoas com deficiência visual.

Referências

ALVES JUNIOR, M. I., AMBRÓSIO, L. C., MOTA, L. S. L. S., MEDOLA, F. O., PASCHOARELLI, L. C. Digitalização de estruturas biológicas no design de material instrucional tátil para pessoas com deficiência visual. *DATJournal*, v.8, n.4, 2023. DOI: <https://doi.org/10.29147/datjournal.v8i4.716>

BENYUS, J. **Biomimicry: Innovation inspired by nature**. HarperCollins e-books, 1997.

BERSCH, R. **Introdução à Tecnologia Assistiva**. Porto Alegre, 2017. Disponível em: https://www.assistiva.com.br/Introducao_Tecnologia_Assistiva.pdf. Acesso em: 03 nov. 2025.

BERTA, A. **Return to the Sea: The Life and Evolutionary Times of Marine Mammals**. Berkeley: University of California Press, 2012.

BERTA, A. **The Rise of Marine Mammals: 50 Million Years of Evolution**. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2017.

BERTA, A., SUMICH, J. L., KOVACS, K. M. **Marine Mammals: Evolutionary Biology**. Cambridge: Elsevier Academic Press, 2015.

BERTTI, J. V. P., SILVEIRA, E. E., ASSIS NETO, A. C. Reconstrução de impressão 3D do neurocrâneo de cão com o uso de tomografia computadorizada como ferramenta para auxiliar no ensino da anatomia veterinária. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.72, n.5, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-11209>

BRASIL. Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. **Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência)**. Brasília: Presidência da República, 2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm. Acesso em: 03 nov. 2025.

COMMITTEE ON TAXONOMY. **List of marine mammal species and subspecies**. Society for Marine Mammalogy, 2025. Disponível em: <https://marinemammalscience.org/science-and-publications/list-marine-mammal-species-subspecies/>. Acesso em: 03 nov. 2025.

FELICE, R. N., GOSWAMI, A. Developmental origins of mosaic evolution in the avian cranium. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.*, v.115, n.3, pp. 555-560, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1716437115>

HACKMANN, C. H., REIS, D. A. L., ASSIS NETO, A. C. Digital revolution in veterinary anatomy: Confection of anatomical models of canine stomach by scanning and three-dimensional printing (3D). *International Journal of Morphology*, v.37, n.2, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4067/s0717-95022019000200486>

HUGGENBERGER, S., OELSCHLÄGER, H., COZZI, B. **Atlas of the Anatomy of Dolphins and Whales**. Academic Press, 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA (INEP).

Resumo Técnico do Censo da Educação Superior. Brasília: Inep, 2023a. Disponível em: https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas_e_indicadores/resumo_tecnico_censo_da_educacao_superior_2021.pdf. Acesso em: 03 nov. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA (INEP).

Sinopse Estatística da Educação Básica 2022. Brasília: Inep, 2023b. Disponível em: https://download.inep.gov.br/dados_abertos/sinopses_estatisticas/sinopses_estatisticas_censo_escolar_2022.zip. Acesso em: 03 nov. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA (INEP).

Sinopse Estatística da Educação Superior 2021. Brasília: Inep, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/acesso-a-informacao/dados-abertos/sinopses-estatisticas/educacao-superior>. Acesso em: 03 nov. 2025.

KRENAK, A. **A vida não é útil.** São Paulo: Objectiva, 2020.

LĂCĂTUȘU, A., CRUZ, M., PARKER, B., SALMANE, A. Biocentric design: Mapping optimal environmental variables for moss propagation on urban bioreceptive surfaces. **SIGRADE - Critical Appropriations**, 2022. DOI: https://doi.org/10.5151/sigradi2022-sigradi2022_296

MEAD, J. G., FORDYCE, R. E. **The Therian Skull: A Lexicon with Emphasis on the Odonto-cetes.** Washington: Smithsonian Institution Scholarly Press, 2009.

REIS, D. A. L., GOUVEIA, B. L. R., ROSA JÚNIOR, J. C., ASSIS NETO, A. C. Comparative assessment of anatomical details of thoracic limb bones of a horse to that of models produced via scanning and 3D printing. **3D Printing in Medicine**, v. 5, n. 13, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41205-019-0050-2>

SCHWEITZER, A. **Civilization and ethics.** Londres: Adam & Charles Black Publisher, 1946.

SILVEIRA, E. E., LISBOA NETO, A. F. S., PEREIRA, H. C. S., FERREIRA, J. S., SANTOS, A. C., SIVIERO, F., FONSECA, R., ASSIS NETO, A. C. Canine skull digitalization and three-dimensional printing as an educational tool for anatomic study. **Journal of Veterinary Medical Education**, v. 48, n. 6, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3138/jvme-2019-0132>

TAYLOR, P. **Respect for nature: A theory of environmental ethics.** Nova Jersey: Princeton University Press, 1986.

Recebido: 07 de abril de 2025.

Aprovado: 19 de outubro de 2025.