

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
dissertação será disponibilizado
somente a partir de 24/01/2027

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA**

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA E DA
UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO POR
IMAGEM VISANDO A CONSTRUÇÃO DE MODELOS
PARA PRÓTESES DE BICOS DE AVES
NEOTROPICAIS**

GABRIEL CORRÊA DE CAMARGO

Botucatu – SP

2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA E DA
UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO POR
IMAGEM VISANDO A CONSTRUÇÃO DE MODELOS
PARA PRÓTESES DE BICOS DE AVES
NEOTROPICAIS**

GABRIEL CORRÊA DE CAMARGO

Defesa apresentada junto ao Programa de
Pós-Graduação em Animais Selvagens para a
obtenção do título de Mestre

Orientadora: Prof.^a Titular Sheila Canevese Rahal

Coorientador: Prof. Dr. Reinaldo Abdala Júnior

Coorientadora: Dra. Jeana Pereira da Silva

D291e

de Camargo, Gabriel Corrêa

Estudo da resistência mecânica e da utilização de métodos de diagnóstico por imagem visando a construção de modelos para próteses de bicos de aves neotropicais / Gabriel Corrêa de Camargo. -- Botucatu, 2025

67 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu

Orientadora: Sheila Canevese Rahal

Coorientador: Reinaldo Abdala Junior

Coorientadora: Jeana Pereira da Silva

1. Cirurgia veterinária. 2. Traumatologia veterinária. 3. Diagnóstico por imagem. 4. Anatomia. 5. Fraturas. I. Título.

Nome do autor: **Gabriel Corrêa De Camargo**

TÍTULO: ESTUDO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA E DA UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO POR IMAGEM VISANDO A CONSTRUÇÃO DE MODELOS PARA PRÓTESES DE BICOS DE AVES NEOTROPICAIS

COMISSÃO EXAMINADORA

Profa. Titular Sheila Canevese Rahal

Presidente da banca e orientadora

Departamento de Cirurgia Veterinária e Reprodução Animal

FMVZ – UNESP – Botucatu

Prof. Dr. Elton Luís Ritir Oliveira

Membro externo

Departamento de Animais Selvagens

Faculdade Gennari & Peartree – FGV – Pederneiras

Prof. Dr. André Luis Filadelpho

Membro interno

Departamento de Biologia Estrutural e Funcional

IB – UNESP – Botucatu

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradecimentos à FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), convênio número 01.12.0530.00.

Ao programa de Pós-graduação em Animais Selvagens da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da UNESP (Botucatu) pela oportunidade.

Aos meus pais, Marcos e Edna, por todo o amor e apoio incondicionais.

À minha orientadora, Profa. Titular Sheila Canevese Rahal, por me incentivar em minhas atividades acadêmicas e profissionais.

Ao Prof. Dr. Reinaldo Abdala Júnior, meu coorientador, pelo auxílio nas ferramentas necessárias para conclusão do trabalho.

À Dra. Jeana Pereira da Silva, pela crucial ajuda durante a execução e interpretação de dados deste trabalho.

Ao senhor Cesar Augusto Martins Pereira, do Laboratório de Biomecânica do Instituto de Ortopedia e Traumatologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, por nos acolher e tão gentilmente nos guiar durante a fase de execução do trabalho na FMUSP.

Ao Prof. Dr. André Luis Filadelpho, pelo grande auxílio no preparo e interpretação das peças anatômicas utilizadas neste trabalho.

Ao graduando Daniel Simões da Silva, pela parceria, especialmente durante as muitas idas a São Paulo para execução dos ensaios mecânicos.

Ao Centro de Medicina e Pesquisa em Animais Selvagens (CEMPAS), por servir como fonte de estudo para este trabalho.

Aos meus amigos Erick Yuji e Ricardo Shoiti, pela parceria e apoio mútuos desde a época da residência no CEMPAS.

A todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a construção e conclusão deste trabalho.

Sumário

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
Resumo	viii
Abstract	ix
CAPÍTULO 1	9
1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1 Bicos das aves.....	13
2.2 Lesões dos bicos.....	16
2.3 Scanners.....	21
2.4 Tomografia computadorizada (TC).....	23
2.5 Ensaios biomecânicos dos bicos.....	24
3 REFERÊNCIAS	25
CAPÍTULO 2	31
Artigo científico 1.....	32
Artigo científico 2.....	50
ANEXO	66
Atestado de aprovação da CEUA institucional	67

Lista de Figuras

Artigo 1	
Figura 1. Imagens tomográficas no corte sagital de um urubu cabeça preta (a), maritaca (b) e seriema (c), demonstrando a medida da área do bico (linhas amarelas pontilhadas).....	36
Figura 2. Imagens tomográficas 3D nos cortes sagital (a, b, e) e dorsal (c, d, f) do bico de uma maritaca (a, d), urubu-de-cabeça-preta (b, c) e seriema (e, f), demonstrando o comprimento (linhas duplas contínuas duplas) e altura (linhas pontilhadas) no corte sagital (a, b, e) e largura (linha contínua simples) no corte dorsal (c, d, f).....	37
Figura 3. (a) Bico de seriema com narina localizada lateralmente (seta branca). (b) Bico de maritaca no qual a narina está localizada na cera (seta preta). (c) Bico de urubu com a narina perfurada localizada no terço médio (seta branca).....	39
Figura 4. Imagens macroscópicas (a,b,c) e tomográficas no corte sagital utilizando janela pulmonar (c,d,e) de bico de maritaca (a,c), seriema (b,d) e urubu (c,e). 1 – pré-maxila; 2 - maxilar; 3 - osso nasal; 4 - osso frontal; 5 - cavidade nasal. Seta branca demonstra topografia da narina e seta pontilhada o septo..	40
Artigo 2	
Figura 1. Posicionamento do atuador na porção ventral do bico para realização do ensaio de flexão no bico de uma seriema.....	54

Lista de Tabelas

Artigo 1	
Tabela 1. Valores das mensurações obtidas pela tomografia computadorizada dos bicos superiores de três aves neotropicais, incluindo comprimento e altura na vista sagital, área sagital (cm ²) e comprimento e altura das narinas na vista tridimensional.....	42
Tabela 2. Valores das mensurações de comprimento, altura e largura obtidas pela tomografia computadorizada (3D), scanner odontológico e macroscopia dos bicos superiores de três aves neotropicais.	44
Tabela 3. Diferenças entre as mensurações macroscópicas, tomografia computadorizada tridimensionais e scanner odontológico, incluindo urubu e maritaca.....	45
Artigo 2	
Tabela 1. Mensurações dos bicos de cinco aves neotropicais para determinação do braço de alavanca (LAlavanca).....	55
Tabela 2. Valores das unidades de Hounsfield (HU), obtidos em três pontos de interesse, nos bicos superiores de seis aves neotropicais.....	58
Tabela 3. Valores de força máxima (F), deformação máxima (D) e momento (torque) dos bicos superiores de seis aves neotropicais, obtidos no ensaio de flexão.....	59

CAMARGO, G.C. Estudo da resistência mecânica e da utilização de métodos de diagnóstico por imagem visando a construção de modelos para próteses de bicos de aves neotropicais. Botucatu, 2025. 67p. Dissertação (Mestrado em Animais Selvagens) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista.

RESUMO

O estudo teve por objetivos a avaliação do bico de aves neotropicais de diferentes famílias, visando utilizar dois métodos de digitalização para produção de modelo tridimensional do bico, bem como verificar a resistência mecânica e analisar os valores de unidade de Hounsfield (HU) pela tomografia computadorizada (TC) para futura aplicação de prótese. Para o primeiro estudo foram selecionados seis espécimes por família, incluindo maritacas, seriemas e urubus-de-cabeça-preta. Os bicos foram submetidos à TC, bem como escaneados com um digitalizador odontológico intraoral. Foram efetuadas mensurações do bico superior incluindo o comprimento no eixo longitudinal, altura no eixo transversal na região média da narina, ambos na vista sagital, e largura na vista dorsal na região média das narinas. Além disso, foram efetuadas mensurações macroscópicas. Apenas a seriema não apresentou diferenças estatísticas entre as mensurações. No segundo estudo, valores de unidade de Hounsfield (HU) e a resistência mecânica foram avaliadas nos bicos de maritacas, seriemas, urubus-de-cabeça-preta, curicacas e tucanos-toco. Não houve diferenças estatisticamente significativas nos valores de HU entre os bicos da maritaca e seriemas, enquanto todas as outras espécies de aves apresentaram diferenças estatísticas. A força máxima apresentou diferença estatística entre o bico da maritaca e todas as demais espécies. Com relação à deformação máxima ocorreu diferença significativa entre o bico do urubu e o da curicaca, e entre o bico da seriema e o da curicaca. Foram verificadas diferenças estatisticamente significantes no momento do bico do tucano com os bicos da maritaca, seriema, urubu e curicaca. Os dados obtidos poderão subsidiar futuros estudos de materiais protéticos para as espécies analisadas, considerando as diferenças determinadas pelo teste mecânico.

Palavras-chave: Métodos de Imagem; Trauma; Ranfoteca; Ave.

CAMARGO, G.C. Study of mechanical resistance and the use of imaging diagnosis aiming to construct models for beak prostheses of Neotropical birds. Botucatu, 2025. 67p. Dissertação (Mestrado em Animais Selvagens) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista.

SUMMARY

This study aimed to evaluate the beaks of Neotropical birds from different families using two scanning methods to produce a three-dimensional model of the beak, as well as to verify the mechanical resistance and analyze Hounsfield unit (HU) values using computed tomography (CT) for the future application of prostheses. Six specimens per family were selected for the first study, including white-eyed parakeets, red-legged seriemas, and black-headed vultures. The beaks were subjected to CT and scanned with a dental intraoral scanner. Measurements were taken of the upper beak, including length in the longitudinal axis, height in the transverse axis in the middle region of the nostril, both in the sagittal view, and width in the dorsal view in the middle region of the nostrils. Additionally, macroscopic measurements were performed. Only the seriema did not show statistical differences among the measurements. In the second study, Hounsfield unit (HU) values and mechanical resistance were evaluated in the beaks of the white-eyed parakeets, seriemas, black-headed vultures, buff-necked ibis, and toco toucans. There were no statistically significant differences in the HU values at three points of interest between white-eyed parakeet and seriema beaks, while all other bird species exhibited statistical differences. Maximum force showed statistical differences between the white-eyed parakeet's beak and those of all other species. In terms of maximum deformation, there were significant differences between the black-headed vulture and buff-necked ibis beaks, and between the seriema and buff-necked ibis beaks. Statistically significant differences were also observed in the moment of the toco toucan's beak compared to the beaks of the white-eyed parakeet, seriema, black-headed vulture, and buff-necked ibis. The data obtained may support future studies on prosthetic materials for the species analyzed, taking into account the differences identified through the mechanical test.

Key words: Imaging methods; Trauma; Rhamphotheca; Avian.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Na medicina de aves, lesões traumáticas em bicos podem ocorrer por diversas razões, incluindo agressões, bicadas de outros pássaros, acidentes, ataques de predadores ou mesmo por causas iatrogênicas (GELIS, 2006; SPEER e POWERS, 2016), entre outros. Lesões graves da rinoteca, tais como a avulsão, podem resultar em dificuldade de apreensão do alimento e exposição da língua em aves aquáticas, bem como causar dificuldade de auto-alimentação em outras espécies aviárias, como os ranfastídeos e as cegonhas (SPEER e POWERS, 2016; HUYNH et al., 2019).

As aves com avulsões importantes podem ser submetidas à colocação de próteses de bico (HUYNH et al., 2019; SPEER e POWERS, 2016), porém o desenvolvimento de próteses com materiais que efetivamente atendam às exigências mecânicas do bico é uma tarefa desafiadora (FECCHIO, 2021).

Entre os exames de imagem utilizados no planejamento da confecção de próteses de bico, destaca-se a tomografia computadorizada, que tem se tornado uma ferramenta precisa na criação de modelos 3D para posterior impressão de bicos inteiros, ou partes avulsionadas, de acordo com a necessidade (FECCHIO, 2021). Adicionalmente, esta modalidade de exame de imagem é importante na avaliação da cavidade nasal, conchas e seios da face (SPEER e POWERS, 2016). Os scanners intraorais são uma outra modalidade de impressão digital, que têm uso crescente na área de odontologia humana (MANGANO et al., 2017; HWANG et al., 2018; NIKOYAN e PATEL, 2020), mas ainda requer estudos na área de medicina veterinária.

Contudo, para a elaboração de próteses que conservem as características das propriedades mecânicas e funcionais dos bicos de diferentes espécies, faz-se necessários estudos biomecânicos que indiquem as forças envolvidas nos bicos, sendo estes mais frequentemente efetuados no bico de tucanos-toco (SEKI et al., 2006; FECCHIO et al., 2008, 2010).

Desta forma, o presente estudo se justificou uma vez que avaliou o bico de aves neotropicais de diferentes famílias, visando utilizar dois métodos de digitalização para produção de modelo tridimensional do bico, bem como verificar a resistência mecânica para futura aplicação de prótese. Para o desenvolvimento do assunto definiu-se o Capítulo 1, composto pela Introdução e Revisão da Literatura, seguido do Capítulo 2, no qual foi apresentado dois Artigos Científicos.

- Favretto MA. *Aves do Brasil, vol. I: Rheiformes a Psittaciformes*. Florianópolis, 2021. 598p.
- Fecchio RS, Gomes MS, Kolososki J, Petri BSS, Rossi Jr JL, Gioso MA. Study of the occlusion biomechanics and adherence of acrylic resin (polimetilmetacrilate) in fractures of rhinotheca in toucans (*Ramphastos toco*). *Pes Vet Bras*. 2008; 28(7):335-340.
- Fecchio RS, Seki Y, Bodde SG, Gomes MS, Kolososki J, Rossi Jr JL, Gioso MA, Meyers MA. Mechanical behavior of prosthesis in Toucan beak (*Ramphastos toco*). *Mater Sci Eng C*. 2010;30:460–464.
- Fecchio RS. Beakistry. In: Emily PP, Eisner ER (eds): *Zoo and wild animal*. Wiley Blackwell, Hoboken, 2021. pp.99-117.
- Gelis S. Evaluating and treating the gastrointestinal system. In: Harrison GJ, Lightfoot T (eds): *Clinical avian medicine*. Spix Publishing Inc., Florida, 2006. pp.412-440.
- Gill FB. 2007. *Ornithology* (3rd edition). Freeman, New York.
- Harcourt-Brown NH. Anatomy and physiology. In: Harcourt-Brown NH, Chitty J (eds): *BSAVA Manual of psittacine birds*. British Small Animal Veterinary Association, Glouster, 2005. pp.7-21.
- Huynh M, González MS, Beaufrère H. Avian skull orthopedics. *Vet Clin North Am Exot Anim Pract*. 2019;22(2):253-283.
- Kricher JC. Neotropical birds: In: _____. *A neotropical companion: an introduction to the animals, plants, and ecosystems of the New World tropics*. Princeton University Press, New Jersey.1997. pp.251-294
- King AS, McLelland J. *Birds their structure & function*, 2d ed. Bailliere Tindall, London. 1984. 334pp.
- Mosleh S, Choi GPT, Musser GM, James HF, Abzhanov A, Mahadevan L. Beak morphometry and morphogenesis across avian radiations. *Proc Biol Sci*. 2023;290(2007):20230420.
- Olsen GH. Oral biology and beak disorders of birds. *Vet Clin North Am Exot Anim Pract*. 2003;6(3):505-vi.
- Olsen AM. Feeding ecology is the primary driver of beak shape diversification in waterfowl. *Funct Ecol*. 2017;31(10):1985-1995.

- Seki Y, Schneider MS, Meyers MA. Structure and mechanical behavior of a toucan beak. *Acta Materialia*. 2005;53:5281–5296.
- Seki Y, Kad B, Benson D, Meyers MA. The toucan beak: Structure and mechanical response. *Mater Sci Eng C*. 2006;26(8):1412-1420.
- Seki Y, Bodde SG, Meyers MA. Toucan and hornbill beaks: a comparative study. *Acta Biomater*. 2010;6(2):331-343.
- Sick H. *Ornitologia Brasileira*. Editora Universidade de Brasília, Brasília. 1984. 480p.
- Speer B, Powers LV. Anatomy and disorders of the beak and oral cavity of birds. *Vet Clin North Am Exot Anim Pract*. 2016;19(3):707-736.
- Wang S, Stiegler J, Wu P, Chuong C-M. Tooth vs. beak: the evolutionary developmental control of the avian feeding apparatus. In: Pittman M, Xu X, (eds): *Pennaraptoran theropod dinosaurs: past progress and new frontiers*. Bulletin of the American Museum of Natural History, 2020. pp.205–228.