

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

DAYANE FALEIRO DUARTE

PROJETO E FABRICAÇÃO DE PRÓTESE TEMPORÁRIA DE BICO PARA AVE
MARITACA

BELO HORIZONTE

2021

DAYANE FALEIRO DUARTE

PROJETO E FABRICAÇÃO DE PRÓTESE TEMPORÁRIA DE BICO PARA AVE
MARITACA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
no Curso de Graduação em Engenharia de
Materiais do Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais como requisito
parcial para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Materiais

Orientador: Carlos Eduardo dos Santos

BELO HORIZONTE

2021

DAYANE FALEIRO DUARTE

PROJETO E FABRICAÇÃO DE PRÓTESE TEMPORÁRIA DE BICO PARA AVE
MARITACA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
no Curso de Graduação em Engenharia de
Materiais do Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais como requisito
parcial para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Materiais

Aprovado em 16/04/2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Eduardo dos Santos

Prof. Dra. Danielle Marra de Freitas Silva Azevedo

M. V. Marcos de Mourão Motta

Dedico este trabalho e tudo que ele pode representar ao meu futuro e aos meus novos planos que tem me motivado todos os dias.

AGRADECIMENTOS

Estes agradecimentos são para todos que durante esse trabalho fizeram parte diretamente ou indiretamente.

Agradeço a Deus por ter me guiado por esse caminho, ter me feito passar por tudo que eu passei e ter aprendido tudo que eu aprendi.

Agradeço grandemente a minha mãe, que sempre fez o possível e impossível para eu poder realizar meus sonhos, por ter vibrado por cada conquista, sabendo que aquilo era importante para mim, mesmo até mesmo sem concordar com as minhas escolhas.

Agradeço ao Eduardo por todo o incentivo, e por ter vibrado por cada conquista minha também. Agradeço também pela parceria durante esse trabalho final, ter me acompanhado, aconselhado e motivado.

Agradeço ao professor Joel Lima, amigo aconselhador que teve um papel importante no meu autoconhecimento e desenvolvimento profissional. Este trabalho é resultado disso.

Agradeço ao professor Carlos que aceitou de prontidão me orientar em um tema do trabalho que era novo para mim, para ele e para a história de engenharia de materiais do CEFET.

Agradeço ao Marcos, presidente da ONG Asas e Amigos, por ser quem ele é e por tudo que ele faz pelos animais! E também por nos deixar tão à vontade no cantinho Asas e Amigos e pela pronta confiança a minha pessoa. Espero poder retribuir tudo isso de alguma forma!

Agradeço a todos que fazem parte da minha vida, pessoas que eu compartilhei etapas desse trabalho e que com tamanha empolgação torceram para o sucesso deste trabalho.

Agradecimento especial aos especialistas de cada área que me deram dicas e informações que me ajudaram a desenvolver e detalhar esse trabalho e torná-lo multidisciplinar: dentistas, veterinários, biólogos, design de unhas, engenheiros de diversas áreas.

RESUMO

O tráfico de animais silvestres é o terceiro maior comércio ilegal do Brasil. Durante a trajetória para comercialização do animal eles passam por condições insalubres que podem ocasionar na morte e mutilações dos membros. A ONG Asas e Amigos da serra é uma instituição que acolher animais silvestres vítimas de maus tratos e tráfico ilegal. Neste trabalho objetivou-se projetar e fabricar uma prótese provisória de bico para uma maritaca residente desta ONG que teve 75% da sua rinoteca perdida. Para este procedimento foi realizado medições com um paquímetro de um rinoteca de uma maritaca não fraturada e o bico fraturado da ave. Foi realizada uma seleção de materiais para a prótese e para a adesão da prótese. O desenho do bico sólido foi projetado pelo software de engenharia SolidWorks e as forças principais exercidas pelo bico foram simuladas utilizando o software Ansys R1. Moldou-se a região fraturada do bico da ave utilizando materiais odontológicos. O design da prótese de bico foi projetado usando o software Inventor. Os protótipos e o modelo da prótese foram impressos usando uma impressora 3D pelo método FDM. A prótese final foi fabricada vertendo o material líquido em um molde de gesso modelado pela prótese impressa em 3D. As medições foram usadas para projetar uma prótese adequada ao bico. A seleção de materiais resultou no compósito polimetilmetacrilato com 5% de fibra de vidro, alinhadas aleatoriamente por suas características mecânicas e biocompatíveis. O silano foi usado para melhorar a molhabilidade da fibra de vidro com a resina. O adesivo escolhido foi o cimento resinoso odontológico por apresentar boas características de adesão entre meios orgânicos e inorgânicos, também por atuar como um preenchedor de espaços entre a prótese e o coto da rinoteca da ave. Para melhorar a adesão do bico com o biomaterial, tratamentos de superfícies específicos para queratina foram selecionados com inspiração na técnica estética de alongamento de unhas. Como resultado da estrutura da prótese, foi projetado e fabricado um biomaterial com abertura nas narinas, superfície de encaixe reta e entradas para dentro da boca do animal para criar uma fixação mecânica. Conclui-se com esse estudo que estruturas de bico são complexas e, para a projeção, seleção e fabricação do biomaterial devem ser considerados o modo de vida e comportamentos da ave, forças que são aplicadas no bico e singularidades da fratura do bico.

Palavras chave: Prótese. Bico. Seleção de Materiais.

ABSTRACT

Wild Animals trafficking is the third largest illegal trade in Brazil. During the trafficked animals' transportation, they go through inadequate conditions that might cause the death or mutilation of their limbs. The NGO *Asas e Amigos da Serra* is an institution that shelters wild animals victims of mistreatment and illegal trafficking. This project objective was to design and manufacture a beak prosthesis for a white eyed parakeet, resident of this NGO, that had lost 75% of its rhinotheca. For this procedure, rhinotheca measurements of a non-fractured white eyed parakeet and the fractured beak of the bird were made with a caliper. A material selection was made for the prosthesis and for the adhesion of the prosthesis. The solid beak draft was designed by SolidWorks engineering software and the main forces exerted by the beak were simulated using Ansys R1 software. The fractured region of the bird's beak was molded using dental materials. The beak prosthesis was designed using the Inventor software. The prototypes and prosthesis model were obtained using a 3D printer with the FDM method. The final prosthesis was manufactured by pouring the liquid material into a plaster mold modeled by the 3D printed prosthesis. The measurements were used to design a prosthesis suitable for the beak. The material selection resulted in polymethylmethacrylate composite with 5% fiberglass, randomly aligned by its mechanical and biocompatible characteristics. Silane was used to improve the wettability of the fiberglass with the resin. The adhesive chosen was a dental resin cement because it has good adhesion characteristics in organic and inorganic media, also for acting as a filler for spaces between the prosthesis and the stump of the bird's rhinotheca. To improve beak adhesion with the biomaterial, specific surface treatments for keratin were selected inspired by the aesthetic technique of nail extension. As a result of the prosthesis structure, a biomaterial was designed and produced with an opening in the nostrils, a straight fitting surface and entrances into the animal's mouth, to create a mechanical fixation. It was concluded with this study that beak structures are complex, and for the projection it must be considered the animal's way of life and behavior, forces that are applied to the beak and the beaks' fracture singularities.

Keywords: Prosthesis. Beak. Material Selection.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.2 Objetivos gerais	11
1.3. Objetivos específicos.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Maritaca ou Periquitão-Maracanã	13
2.1.1 Psittacara leucophthalmus	13
2.1.2 Função e anatomia do bico	13
2.1.3 Aspectos biomecânicos do bico.....	15
2.1.4. Propriedades da queratina.....	17
2.1.5 Traumatismo e fraturas de bico	19
2.2. Próteses.....	19
2.2.1 Próteses de bico de aves	20
2.3 Sistema e mecanismos de adesão de materiais.....	22
2.3.1 Adesivo e substrato.....	22
2.3.2 Teorias de adesão.....	23
2.3.3 Tratamento de superfícies.....	23
2.3.4 Aplicação de adesivos em prótese de bico	24
2.4. Diagrama de forças	26
2.5 Mecanismos de desgaste.....	27
2.6 Propriedades mecânicas.....	28
2.7 Seleção de materiais	31
2.7.1 Seleção de materiais para a prótese	32
2.7.2 Seleção de adesivos	36
2.8. Impressão 3D.....	39
2.8.1 Tecnologia da impressão 3D	39
2.8.2 Métodos de impressão 3D	39
2.8.3 Aplicações Impressão 3D	40
3. METODOLOGIA.....	42
3.1 Medições.....	42
3.1.1 Medição do bico fraturado da maritaca	42
3.1.2 Medição de um bico de maritaca.....	42
3.2 Diagrama e simulação de forças	42
3.3 Seleção de materiais	43

3.3.1 Seleção de materiais para a prótese	43
3.3.2 Seleção de adesivos	43
3.3.3 Tratamento de superfície	44
3.4 Moldagem e modelagem do bico fraturado da maritaca	44
3.4.1 Moldagem utilizando alginato odontológico.....	44
3.4.2 Moldagem utilizando obturador provisório odontológico.....	45
3.4.3 Modelagem do coto da maritaca.....	45
3.5 Design do projeto 3D da prótese	45
3.5.1 Protótipo 1 e testes in loco.....	45
3.5.2 Protótipo 2 e testes in loco.....	46
3.5.3 Design da prótese 3D.....	46
3.6 Fabricação da prótese	47
4. RESULTADOS	48
4.1 Medições.....	48
4.1.1 Medição do bico fraturado da maritaca	48
4.2.2 Medição de um bico de maritaca	49
4.2 Diagrama e simulação de forças	50
4.3 Seleção de materiais	53
4.3.1 Seleção material da prótese	53
4.3.2 Seleção de adesivos	56
4.3.3 Tratamento de superfície	56
4.4 Moldagem e modelagem do bico fraturado da maritaca	57
4.4.1 Moldagem utilizando alginato odontológico.....	58
4.4.2 Moldagem utilizando obturador provisório odontológico.....	58
4.4.3 Modelagem do coto da maritaca.....	59
4.5 Design do projeto 3D da prótese	60
4.5.1 Protótipo 1 e testes in loco.....	60
4.5.2 Protótipo 2 e testes in loco.....	62
4.5.3 Design da prótese 3D.....	64
4.6 Fabricação da prótese	66
5 PRÓXIMAS ETAPAS	67
5.1 Fixação da prótese	67
5.2 Adaptação da ave.....	67
5.3 Novos estudos de biomateriais aplicados em animais.....	68

6 CONCLUSÕES	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

1 INTRODUÇÃO

O tráfico de animais consiste na retirada de animais da fauna silvestre a fim de comercialização ilegal. De acordo com o ministério do meio ambiente o Brasil é o país com maior biodiversidade do mundo e abriga cerca de 20% do número total de espécies no planeta Terra. Essa grande variedade de animais torna a fauna do país como alvo para quadrilhas e organizações criminosas. (RENCTAS, 2020)

De acordo com dados estatísticos do Renctas 38 milhões de animais silvestres são retirados da natureza todos os anos no Brasil, e 90% desses animais traficados morrem antes de chegar ao consumidor final. O tráfico de animais silvestres movimenta cerca de 2 bilhões de dólares ilegalmente no Brasil.

A alta taxa de mortalidade desses animais se deve principalmente a forma em que esses animais são transportados para chegarem ao consumidor final. Os animais são submetidos a várias práticas agressivas, são dopados e colocados em locais pequenos, gaiolas compartilhadas com pouco espaço para locomoção. Durante o trajeto os animais se tornam agressivos pelo estresse da situação em que se encontram e se atacam nos espaços pequenos podendo perder membros, ou apenas por falta de circulação. Outra situação decorrente do tráfico é que os traficantes podem quebrar membros com a finalidade de acomodar os animais nos pequenos espaços.

A Organização não governamental Asas e Amigos, trabalha no resgate, tratamento e alojamento e reinserção de animais silvestres ou domésticos vítimas do tráfico ou de maus tratos. Atualmente cerca de 500 animais vivem na cidade de Jaboticatubas em Minas Gerais aos cuidados do presidente da ONG e médico veterinário Dr. Marcos de Mourão Motta. Vários animais presentes nesta ONG possuem limitações físicas e/ou psicológicas que as impedem de voltarem a natureza (ASAS E AMIGOS).

Um exemplo de animal com limitações físicas residente desta ONG é uma ave da espécie *Psittacara leucophthalmus* popularmente conhecida como maritaca ou periquitão-maracanã que por condições adversas do tráfico de animais teve sua rinoteca (parte superior do bico) fraturada e hoje é uma das aves que habitam a ONG Asas e Amigos (figura 1).

As fraturas de bico é uma das principais afecções que acometem as aves (PRAZERES et al, 2013). As fraturas completas de ranfoteca são as mais complicadas de reparar, sendo necessário a utilização de um projeto utilizando tecnologias avançadas e produção de próteses específicas. (RITCHIE; HARRISON; HARRISON, 1994).

Figura 1 - Maritaca residente da ONG Asas e Amigos apresentando fratura de rinoteca



Fonte: Próprio autor, 2020

Seleção de materiais é o princípio e método utilizado para a escolha de um material específico para um projeto, considerando a função desse objeto, processo de fabricação e conformação, adesão, acabamento e custo (ASHBY, 2012). Se tratando de um biomaterial é necessário também considerar toxicologia, biorreação e bioestabilidade (PIRES; BIERHALZ; MORAES, 2015).

Manufatura aditiva ou impressão 3D é uma tecnologia avançada que desenvolve objetos tridimensionais por meio de *software* de design e posteriormente é iniciado uma impressão que deposita materiais sobre camadas produzindo o produto físico final (GE ADDITIVE, 2020).

1.2 Objetivos gerais

Projetar e desenvolver uma prótese de rinoteca para a ave da figura 1 que não seja invasiva, considerando o uso e estilo de vida da maritaca objetivando uma melhor qualidade de vida para a ave.

1.3. Objetivos específicos

Moldagem e modelagem da rinoteca fraturada da maritaca.

Simulação de forças aplicadas ao bico da maritaca.

Seleção de um material para fabricação da prótese.

Seleção de um adesivo Biocompatível para fixação da prótese.

Projetar, utilizando software de *design* a prótese em três dimensões.

Impressão de protótipos a partir da manufatura aditiva e realizar testes na maritaca.

Fabricação da prótese por impressão 3D.

Fabricação da prótese para a maritaca.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Maritaca ou Periquitão-Maracanã

2.1.1 *Psittacara leucophthalmus*

Maritaca é o nome comum utilizado para aves da espécie científica *Psittacara leucophthalmus*, possuem cerca de 32cm de comprimento e um peso de 140 g a 170 g, possuem penas verdes com alguns pontos vermelhos na cabeça e pescoço. É uma ave amplamente distribuída no território brasileiro e alguns outros países da América do Sul (POLÍCIA FEDERAL).

A maritaca pertence à família dos psitacídeos no qual participam outros animais como os papagaios, araras, tuim e os periquitos. Os animais desta família normalmente vivem em bando, são inteligentes e a vocalização é uma característica marcante, alguns exemplares possuem grande capacidade em imitar sons e até vocalizar palavras humanas. O Brasil é o mais que possui mais espécies de psitacídeos no mundo, nos primeiros mapas geográficos, feitos por volta de 1500, o Brasil era nomeado como “Terra dos Papagaios” (SICK, 2001).

A longevidade das maritacas é estimada em 30 anos. Formam casais monogâmicos que chocam cerca de 3 a 4 ovos e formam ninhos em ocos de árvores e se alimentam de semente, frutos e insetos (PARQUE DAS AVES, 2020). As maritacas vivem em bando, porém em momentos de reprodução se afastam do bando para construir seus ninhos e chocar os ovos. (SICK, 2001).

As maritacas são aves que utilizam o bico como terceiro apoio durante a locomoção, na alimentação para quebrar sementes, agarrar e esmagar alimentos, ajudar na defesa das aves, explorar territórios e construir ninhos (UNESP, 2018).

Essas aves possuem uma preferência a sementes dos frutos do que a própria polpa do fruto, podem se alimentar também de brotos, flores e folhas tenras, inclusive as de coqueiros. Podem ser vista na copa de altas árvores, como sapucaieiras frutíferos, e podem ser encontradas colhendo sementes em plantas baixos do cerrado (SICK, 2001).

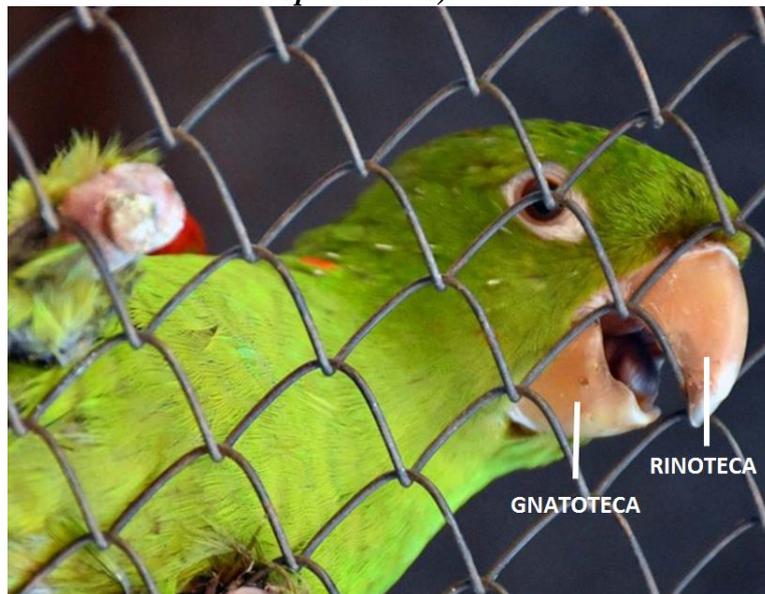
2.1.2 *Função e anatomia do bico*

O bico é um componente importante no sistema digestivo das aves, utilizado para quebrar e triturar alimentos. A anatomia dessa estrutura depende principalmente da alimentação

do animal, no caso dos psitacídeos o bico é curto grosso e curvo para conseguir quebrar e se alimentar de sementes e outros alimentos mais duros (GETTY, 1989).

O bico é um compósito biológico com crescimento constante denominado biologicamente de ranfoteca, composto por osso, camadas vasculares, queratina e camadas germinativas. A ranfoteca é subdivida em rinoteca parte superior do bico e parte inferior denominada gnatoteca (Figura 2) (RITCHIE et al., 1994).

Figura 2 - Esquema de divisão anatômica da ranfoteca em uma maritaca (*Psittacara leucophthalmus*).



Fonte: Asas e Amigos, 2020 (adaptada)

A queratina, material que recobre o bico das aves, é substituída em uma taxa que depende da utilização do bico. Em papagaios a rinoteca é completamente substituída em cerca de seis meses, enquanto em tucanos a substituição ocorre em uma taxa de aproximadamente 0.5 cm a cada dois anos (RITCHIE; HARRISON; HARRISON, 1994). O crescimento da queratina ocorre sempre que houver uma camada germinativa no bico da ave e acontece no sentido da ponta do bico (GETTY, 1989). O estrato córneo do bico cresce em direção a ponta do bico (RITCHIE, HARRISON; HARRISON, 1994).

A bainha de queratina que recobre o bico varia em espessura, composição e sensibilidade. No caso das espécies de papagaios o bico é duro e resistente. A dureza depende da quantidade de cristais de hidroxiapatita presentes e a orientação. O nariz dos psitacídeos é formado por uma perfuração circular no bico, a cavidade nasal é longa e estreita. (RITCHIE, HARRISON; HARRISON, 1994).

O bico dos psitacídeos são estruturas que possuem uma grande porção do peso do animal, podendo chegar a 19% como no caso das araras. Uma arara de 940 gramas possui uma cabeça que pesa 180g. No caso de uma galinha caipira, da família dos phasianidae com peso de 1200 gramas possuem um peso na cabeça de 36 gramas (3% do peso corporal) (SICK, 2001). Os psitacídeos também são considerados as aves mais inteligentes do mundo, o encéfalo é complexo e possui um índice intracerebral de 28,07, maior da classe das aves. Uma galinha possui um índice cerebral de 2,9. (PORTMANN 1947 apud SICK, 2001).

A anatomia dos bicos de cada espécie pode modificar de acordo com a espécie, peso, musculatura de cada ave (SOUZA, 2017a). Um papagaio-verdadeiro (*Amazona aestiva*) com peso médio de 400 g, e 35 cm de comprimento (POLÍCIA FEDERAL, 2016) possui um bico com média de comprimento de 33,8 mm, a largura máxima da rinoteca possui uma média de 16,1 mm, o comprimento da narina presente na rinoteca 7,9 mm e o comprimento do crânio é de 63,3 mm. Para essa espécie o comprimento da rinoteca representa 53.4% do comprimento total do crânio. (SOUZA, 2017a).

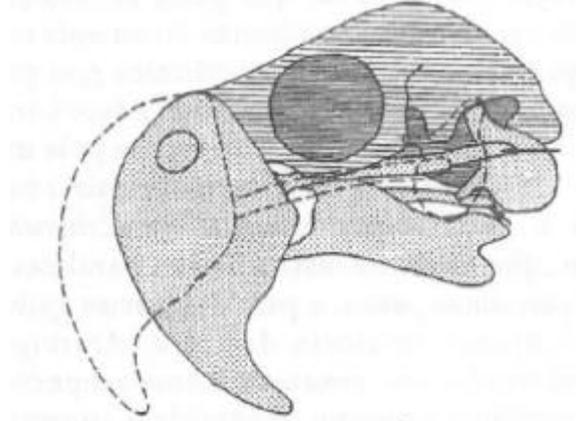
De acordo com recomendações de dieta para psitacídeos, sua alimentação deve ter em 50% sementes de cereais como milho, aveia, alpiste, semente de nabo entre outras, 45% verduras como espinafre, cenoura, batata e feijão 2,5% de frutas da época e 2,5% de complementos como cálcio, grit e frutos secos (PATRÍCIO, 2020). De acordo com testes de resistência a compressão de grãos de milhos realizados através de um texturômetro a de resistência a compressão do milho foi de 6 kg (DAVIDE, 2009).

2.1.3 Aspectos biomecânicos do bico

O bico de uma ave é a continuação dos ossos maxilares articulada ao crânio, contornando as narinas, (Figura 3) o movimento ocorre por meio de músculos altamente desenvolvidos do crânio, aumentando a potência de mordida dessas aves e tornando capaz de quebrar sementes duras. (SICK, 2001; ZUSI, 1993). Na mordida da ave, a gnatoteca é responsável pela maior concentração de força (KARDONG, 2016).

A força da mordida depende de uma série de fatores estruturais e anatômicos das aves, como arranjo dos ossos, presença de ligamentos, articulações e forças internas e externas que atuam na ranfoteca (CARRIL; DEGRANGE; TAMBUSI, 2015). O tamanho dos músculos presentes no crânio da ave também influencia nessa força (COLES, 2007). Em psitacídeos, a ranfoteca e gnatoteca estão conectadas ao osso do crânio por meio de uma articulação cinética (RITCHIE, HARRISON; HARRISON, 1994).

Figura 3 – Ilustração do movimento articulado do bico dos psitacídeos



Fonte: SICK, 1997 (adaptada)

Segundo um estudo radiográfico realizado por Cavinatto et al, é possível observar que em um crânio de um papagaio verdadeiro possui um espaço articular entre os ossos da mandíbula e da maxila o que auxilia no movimento dorsoventral. A articulação fronto-nasal é reforçada com tecido conjuntivo fibroso, que faz com que a força muscular seja direcionada aos ossos do crânio que permite uma maior amplitude dorsoventral, fazendo com que a rinoteca e gnatoteca opere semelhantemente a um alicate, podendo prender o alimento na abertura do bico sem que ele escape (CAVINATTO *et al.*, 2016).

De acordo com Meyers os bicos das aves são pouco estudados por profissionais da área de materiais. Existem apenas estudos sobre a estrutura mecânica do bico do tucano e do calau. O bico de ambas espécies é um compósito sanduíche formado por uma camada fibrosa de proteínas ricas em cálcio no interior e no exterior uma camada de queratina que possui uma espessura de 50 μm a 1 μm de diâmetro (MEYERS *et al.*, 2006).

A força da mordida de um psitacídeo pode ser calculada pela força exercida pelos músculos do crânio e o torque descrita pela equação de Hildebrand & Goslow (2001) $F_{\text{out}} = F_{\text{in}} \times m/M$. Neste estudo foi verificado que a força do bico de uma caturrita (*Myiopsitta monachus*) de massa igual a 120 g é de 16.74 N (PORTO, 2004). As maritacas possuem um osso que forma o osso lacrimal que é ausente nas caturritas que é associado ao aumento da força no bico. (CARRIL; DEGRANGE; TAMBUSI, 2015; PORTO, 2004).

Em um estudo realizado por Sustaíta e Hertel foi feita uma comparação da força de mordida em relação à massa corporal de diferentes espécies de gaviões e falcões. A maior força de mordida 16,90 N em um falcão da espécie *Falco peregrinus* de 683.6 g, porém através da relação força da mordida e massa corporal, o resultado obtido foi de 0.024. Comparando com a

mesma análise de dados da caturrita temos uma relação de 0.139, significativamente maior que a do falcão peregrino (CARRIL; DEGRANGE; TAMBUSI, 2015; SUSTAÍTA; HERTEL, 2010).

2.1.4. Propriedades da queratina

A queratina é o material externo do bico das aves (MEYERS *et al.*, 2006). A queratina é um material biológico que representa uma série de proteína fibrosa que é insolúvel a água e pode ser encontrada em tecidos epidérmicos de animais como em cabelo, unha, garras, cascos, chifres, bicos, penas e barbatanas de baleia.

A estrutura da queratina é complexa apresentando cadeias de polipeptídeos e matriz de filamento estrutural tridimensional em escala nanométrica. Essa estrutura tridimensional confere a queratina elasticidade, resistência mecânica e impermeabilidade à água e pouca reatividade ao ambiente natural.

Um dos principais aminoácidos presentes na queratina é a cisteína que através da sua fórmula química realiza ligações primárias de enxofre e ligações secundárias de hidrogênio (WANG *et al.*, 2016).

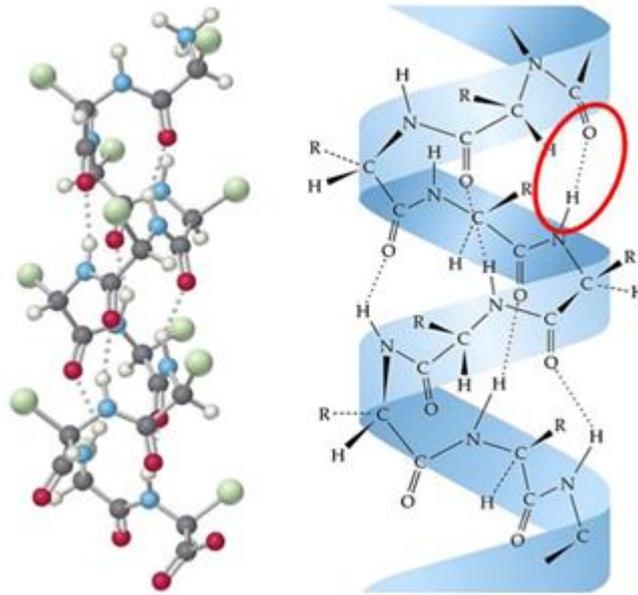
Existem dois tipos de queratina que se diferem nas estruturas secundárias principalmente através das interações moleculares e a formação dos filamentos. A α -queratina possui os filamentos enrolados em forma helicoidal e as pontes de hidrogênio estabilizam a cadeia neste formato, como mostrado na figura 4. No caso da β -queratina, os filamentos dispõem-se de forma plana e paralelamente, e as pontes de hidrogênio ocorrem entre diferentes moléculas (figura 5), a estrutura se apresenta em dobras para que as ligações de hidrogênio ocorram.

As propriedades mecânicas da α -queratina e β -queratina estão dispostas na tabela 1.

Tabela 1 – Principais propriedades mecânicas da α -queratina e β -queratina

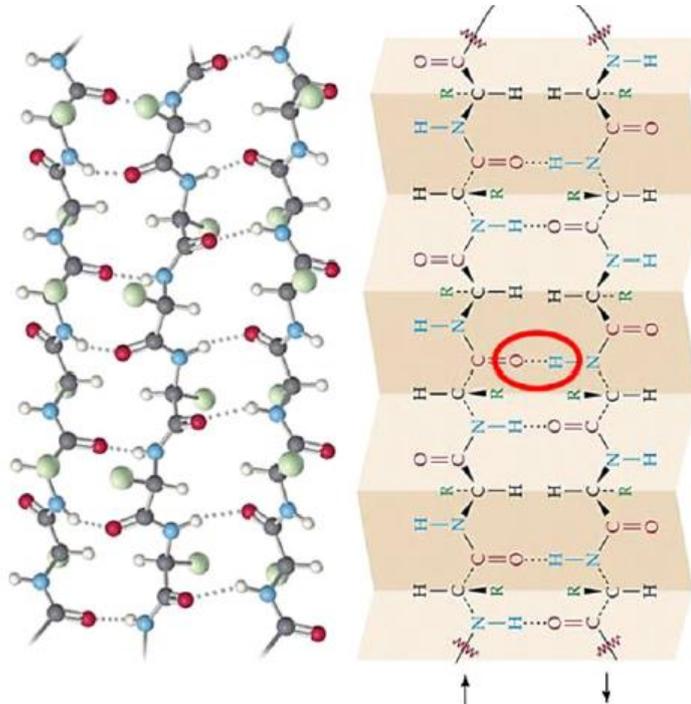
Propriedades mecânicas
A β -queratina possui maior rigidez que a α -queratina
Sob tensão as α -hélices se transformam em β -hélice apresentando a estrutura em dobras
O aumento da umidade diminui a elasticidade de ambas estruturas
A mineralização com o cálcio contribui para o endurecimento da queratina
Orientação, empacotamento e fração de volume dos filamentos afetam as propriedades mecânicas das duas estruturas

Figura 4 – Estrutura molecular da α -queratina evidenciando ponte de hidrogênio



Fonte: WANG et al, 2016

Figura 5 - Estrutura molecular da β -queratina evidenciando ponte de hidrogênio intermolecular



Fonte: (WANG *et al.*, 2016)

A α -queratina é encontrada nos mamíferos na lã, cabelo, unhas, cascos, chifres e epidermes de mamíferos. A forma β é o principal constituinte dos tecidos duros de aves e répteis como por exemplo: penas, garras e bicos de pássaros.

Em termos de propriedades mecânicas a queratina possui uma resistência a tração de 50 MPa, e o módulo de Young é de 1.4 GPa (MEYERS *et al.*, 2006).

2.1.5 Traumatismo e fraturas de bico

A fratura de bico é uma das principais afecções que acometem as aves (PRAZERES *et al.*, 2013). As fraturas podem ser mais leves como fendas e fissuras e podem ser recuperadas com uso de anti-séptico e curativos até que a queratina se recomponha (RUPLEY, 1999 *apud* FECCHIO, 2010). As fraturas completas de ranfoteca são as mais complicadas de reparar sendo necessário a utilização de tecnologias avançadas e produção de próteses específicas. (RITCHIE; HARRISON; HARRISON, 1994).

As fraturas podem ocorrer por traumatismos severos, que pode ocorrer por disputa entre machos, companheiros de mesmo recinto, choque mecânico entre outras causas (FECCHIO, 2010). Devido a importância da ranfoteca para o animal, as fraturas podem prejudicar o animal a realizar atividades básicas como comer, beber e caçar.

A funcionalidade de um membro de um animal de vida livre deve ser total com recuperação de 100%. No caso de aves consideradas de companhia (*pets*), é aceitável um pequeno déficit na função do membro (BOLSON; SCHOSSLER, 2008).

Dentre todos os tratamentos já realizados para lesões de bico, a substituição da estrutura por prótese é a mais adequada, com a finalidade de restabelecer a condição funcional, promover o bem estar e aumento da expectativa de vida do animal (PRAZERES *et al.*, 2013). As aves que possuem a base do bico mais larga, como os psitacídeos, são possíveis estruturalmente de utilização de prótese (RITCHIE; HARRISON; HARRISON, 1994).

2.2. Próteses

O conceito prótese se refere a um componente artificial, aparelho ou dispositivo com finalidade de substituir um órgão, um membro ou uma parte de um membro destruído ou comprometido (REZENDE, 2006).

O principal componente de uma prótese é a conexão que ocorre entre o local de fixação da prótese (coto) e a prótese, pois nesta área o biomaterial deverá estar seguro de forma que não se solte e também não comprometa a circulação no local, e exerça a função de transferir forças e controlar os movimentos (DIRSAT, 2017).

A fabricação de uma prótese passa por três etapas essenciais: protótipo da prótese, fase de teste e a produção da prótese final. Para obtenção do protótipo é necessário obter um molde do ponto de fixação da prótese e a produção do protótipo será realizado por meio desse ponto de apoio. Na fase de teste se tem o acompanhamento da prótese nos movimentos e a adaptação e possíveis alterações e alinhamentos para uma maior aceitação do biomaterial. E ao final é produzido a prótese final que será implantada e com características estéticas similares a original (COELHO, 2018).

As próteses podem ser cirúrgicas (implantáveis) ou não cirúrgicas. E podem ser classificadas de acordo com a função, a estrutura e o tipo de energia.

De acordo com a função, a prótese pode ser passiva ou ativa; as próteses passivas são aquelas estéticas que não possuem mecanismos de movimentação; as ativas são próteses funcionais. Através da classificação estrutural tem-se próteses exoesquelética que são rígidas e não são moldadas; e as próteses endoesqueléticas são modulares, mais leves, possuem encaixes e podem ser configuradas de acordo com o membro original. Quanto a energia temos três tipos de biomateriais: endoenergéticas, exoenergéticas e híbridas. As endoenergéticas são as próteses mecânicas que se movimentam através de propulsão muscular; exoenergéticas possuem propulsão artificial por sistemas pneumáticos, elétricos ou mioelétricos; e as híbridas combinam características endoenergéticas e exoenergéticas (DIRSAT, 2017).

2.2.1 Próteses de bico de aves

Materiais biológicos, como o bico das aves, são estruturas complexas, apesar de serem formados por componentes simples como minerais e materiais orgânicos. Essa organização atual é devido milhões de anos de evolução e são inspiração para cientistas de materiais na criação de novos materiais (MEYERS et al, 2006).

Existe uma crescente procura a clínicas veterinárias para a correção de fraturas traumáticas de bico para aves cativas ou de vida livre, porém existem poucos profissionais capacitados para realizarem esse tipo de tratamento. Para que a correção da fratura seja feita da forma mais segura possível é necessário escolher técnicas adequadas ao caso, priorizando maior estabilidade e síntese óssea, prevenindo que a ranfoteca volte a fraturar (PRAZERES et al, 2013).

As próteses de bico podem ser classificadas de acordo com o material da sua origem em: autógenas, homólogas ou alógenas, heterólogas ou xenógenas, sintética ou mista. As próteses autógenas são provenientes do mesmo indivíduo, utilizando fragmentos do próprio

bico. Homólogas ou alógenas são obtidas através de aves da mesma espécie que morreram por causas não infecciosas. As heterólogas ou xenógenas são obtidas através de bicos de outras espécies de aves. As sintéticas são confeccionadas por material inorgânico e as mistas são qualquer prótese que seja mesclada de mais de uma origem (FECCHIO et al, 2008a).

Para selecionar o método de escolha de inserção da prótese devem ser consideradas uma série de fatores biológicos das aves como comportamento, grau de atividade, massa corporal e necessidades funcionais do bico (BENNETT, 1992 *apud* PRAZERES et al, 2013).

O uso de materiais que após implante não necessitam uma segunda intervenção é alvo de diversos estudos, pois diminui o risco de anestésicos, estresse e custo de tratamento (BOLSON; SCHOSSLER, 2008).

Próteses permanentes de bicos ainda não foram estudadas a longo prazo. Alguns implantes de pinos e parafusos falham pois acontece reabsorção óssea (RITCHIE; HARRISON; HARRISON, 1994). É necessário conhecer a biomecânica e funcionalidade do bico, fatores como peso do animal e do bico e distribuição de forças aplicada ao bico devem ser consideradas. A escolha do material empregado e sua biocompatibilidade com a queratina é fundamental para o sucesso no tratamento da ave (FECCHIO, 2010).

2.2.2.1 Aplicações de próteses sintética de bico de aves

Existem poucos trabalhos na literatura científica de aplicação de próteses de bicos em aves (COLES, 2007). Em uma fratura de bico de dois calaus causados por acidentes de trânsito foi utilizado chapas de aço para a recuperação do bico. Em um segundo caso usa-se polietileno de alta densidade para a correção de um bico de um papagaio. Em um outro caso, utilizou um outro polímero para corrigir uma fratura de rinoteca de um bico de pato (BECKER, 1974 *apud* COLES, 2007).

Rossi Jr *et al.* (2008) utiliza polimetilmetacrilato para produzir uma prótese de fratura completa de rinoteca de uma ema da espécie *Rhea americana* e ancorada com fios de aço cirúrgico e *nylon*. A recuperação do animal foi bem sucedida, alimentando logo após acordar da cirurgia, porém não foi possível avaliar o sucesso da prótese a longo prazo, pois o animal veio a óbito após três meses por outras complicações.

Um ganso da espécie *Anser cygnoides* que vivia em cativeiro perdeu um terço da estrutura da rinoteca após uma briga com um cão doméstico. Uma prótese metálica foi confeccionada utilizando um molde de silicone, uma liga de alumínio e cobre foi o material

escolhido pelos profissionais levando em consideração a baixa densidade e não oxidação, devido a espécie possuir hábitos aquáticos (FECCHIO *et al*, 2012).

Em uma briga de galo, um galo adulto teve uma fratura de rinoteca. O molde da prótese foi feito com resina acrílica dental e utilizada para produzir um modelo metálico de liga de cromo e cobalto fixando ao redor da crista com fio dental. A recuperação foi rápida e o animal voltou a alimentação de forma rápida e obteve sucesso esteticamente (THENGCHAISRI; SOONTHORNPHISAJ; PUSAKSRIKIT, 2006 apud PRAZERES *et al*, 2013).

Um periquito da caatinga (*Aratinga cactorum*) teve dois terços da estrutura da rinoteca perdida. O material escolhido para a prótese foi uma liga metálica de níquel-cromo, foi utilizado silicona de adição para moldar e cera para marcar a oclusão, depois utilizando o modelo foi feito a modelagem em gesso pedra para assim obter o material metálico. A prótese foi implantada utilizando cimento resinoso odontológico. A ave não apresentou boa aceitação e adaptação a prótese, teve dificuldade de se alimentar e teve perda da prótese após 72 horas (FECCHIO, PRAZERES, GIOSO, 2009).

Um outro insucesso de cirurgia é o estudo que utilizou resina metilmetacrilato fixando com fios de aço cirúrgico de 0,3mm e resina epóxi para fratura de gnatoteca de um calau. Em três meses a reconstituição do bico obteve sucesso, porém a mesma caiu após esse período. Análises foram feitas e concluída que a ranfoteca do animal estava crescendo por esse motivo a prótese perdeu o apoio e fixação e conseqüentemente o desprendimento do biomaterial (VILAR, ALTILIA, SPINELLA, 2009).

2.3 Sistema e mecanismos de adesão de materiais

2.3.1 Adesivo e substrato

Os adesivos são usados há milhares de anos, mas até 100 anos atrás a maioria eram produtos de origem natural como ossos, peles, leite e plantas. A partir de 1900 os adesivos com base polimérica foram surgindo e introduzidos na indústria. Atualmente tem-se uma quantidade significativa de adesivos e selantes em vários setores nas mais diversas aplicações (SILVA; OCHSNER; ADAMS, 2011).

As uniões adesivas podem ser utilizadas em diferentes aplicações em que diferentes respostas mecânicas do material são esperadas, como absorção de impacto ou vibrações, pois não possuem concentradores de tensão. Os adesivos são quimicamente projetados para

apresentar diferentes propriedades mecânicas como rigidez, ductilidade e resistência mecânica (BEBER; SCHNEIDER; BREDE, 2018).

Para uma boa resistência das uniões, deve-se considerar diversas variáveis que interferem no comportamento da conexão, como por exemplo propriedades da junta, propriedades do substrato, preparação das superfícies, tipo de adesivo, espessura, pressão e temperatura de cura (ANGELIDI; VASSILOPOULOS; KELLER, 2017).

2.3.2 Teorias de adesão

A teoria de adsorção enfatiza que sempre que houver um contato a nível molecular entre dois materiais haverá adesão. Essa adesão ocorre através de força de atração molecular, que podem ser ligações primárias ou secundárias. As forças de atração dependem da natureza química das superfícies dos dois materiais. Se as superfícies dos materiais forem conhecidas é possível prever o tipo de ligação química que ocorrerá quando os materiais estiverem em contato. As forças das ligações químicas na teoria de adsorção são suficientes para fornecer a adesão necessária entre dois materiais, porém, na prática é necessário produzir outros laços mais fortes que são menos suscetíveis a interação pelo meio

A teoria mecânica de adesão considera o intertravamento entre o adesivo e a superfície rugosa. Neste caso é necessária haver uma boa molhabilidade e uma rugosidade controlada. O adesivo deve possuir propriedades adequadas para penetrar nos poros e aberturas e molhar o substrato. Considerando a adesão em nível atômico, as energias superficiais dos átomos de uma superfície rugosa serão maiores que de uma superfície lisa.

Na teoria eletrostática a consideração principal é que entre o substrato e o adesivo haverá transferência de elétrons, por ter uma diferença de potencial eletroquímico na interface de dois materiais em contato.

A teoria da difusão ocorre apenas em polímeros, e pode ser explicada pela difusão de uma cadeia polimérica do substrato e o adesivo. A compatibilidade dos polímeros para se difundirem depende do tempo de contato (cura) e peso molecular (SILVA; OCHSNER; ADAMS, 2011).

2.3.3 Tratamento de superfícies

Geralmente é recomendável alguma modificação ou tratamento na superfície do substrato antes da colagem. Esse tratamento é particularmente importante no caso de fixação

de elementos estruturais. O tratamento superficial é selecionado de acordo com geometria, restrições de produção e custos. O objetivo deste tratamento é fazer com que a superfície forneça propriedades químicas superficiais para receber o adesivo.

Os tratamentos superficiais podem ser simples ou complexos: introdução de grupos químicos funcionais específicos, remover ou prevenir a formação de uma camada de contaminantes como óleos, graxas na superfície, gerar uma textura específica na superfície aderente para facilitar a adesão mecânica, processos de passivação para utilização de adesivos com alta energia superficial (SILVA; OCHSNER; ADAMS, 2011).

2.3.4 Aplicação de adesivos em prótese de bico

Coles (2007) cita que se uma pequena parte da rinoteca for fraturada, a fratura pode ser reparada por meio de uma modelagem. Materiais colantes como cola cirúrgica de acrílico autopolimerizável, colas e resinas epóxi podem ser utilizadas se não forem tóxicas.

Um grande problema para as próteses de bico é a fixação permanente. Mesmo utilizando colas cirúrgicas, suturas de fios, eventualmente a prótese pode soltar devido o uso constante do membro e a pressão aplicada. Além disso, o osso não é totalmente sólido na região das narinas, o que dificulta a ancoragem de uma biomaterial (COLES, 2007).

Um estudo realizado por Fecchio *et al.* (2008b) foi estudado a fixação de bicos utilizando a resina acrílica polimetilmetacrilato em ranfoteca de tucano da espécie *Ramphastos toco*. Foi aplicado esforço de tração no bico íntegro e no bico recuperados com a resina. O resultado obtido para o bico íntegro foi de 270,40 N, para o bico preenchido totalmente com a resina foi de 134,40 N (FECCHIO *et al.*, 2008b).

Em outro estudo realizado por Fecchio (2010) foi analisado a aderência de nove sistemas adesivos aplicados em uma sessão de estrato córneo do bico de tucanos-toco. Cada sistema foi testado três vezes por meio de um ensaio de tração e a superfície do local fraturado foi analisado utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os diferentes sistemas adesivos usados estão descritos na tabela 2 relacionado o sistema adesivo com a carga máxima suportada.

Os acrílicos são macromoléculas que, atuando sozinhas, não são capazes de penetrar as camadas de queratina e não há retenção micromecânica. O sistema *primer* e *bond* são compostos por monômeros hidrofóbicos de menor peso molecular que são capazes de penetrar na queratina promovem a adesão às resinas, porém normalmente são ativados via fotopolimerização.

Tabela 2 - Sistema adesivo e força suportada pelo estudo de Fecchio(2010)

Sistema adesivo	Força (N)
Cianocrilato cirúrgico	23,80
Metilmetacrilato	53,86
Cianocrilato cirúrgico + Metilmetacrilato	61,11
Resina nanoparticulada	48,75
Prime & bond (fotoativado) + resina nanoparticulada	55,66
Prime & bond (químioativado) + resina nanoparticulada	104,21
cimento resinoso	2,48
Cimento resinoso + prime & bond (fotoativado)	26,17
Cimento resinoso + prime & bond ativado (químioativado)	110,48

Fonte: FECCHIO, 2010 (adaptada)

O melhor resultado obtido por este estudo foi da utilização do *prime & bond* quimicamente ativado combinado com o cimento resinoso. Os resultados para o *primem & bond* ativados pela polimerização não obtiveram bons resultados pois a luz não é capaz de atravessar camadas de queratina e polimerizar o adesivo (LODOVICI, 2007 apud FECCHIO, 2010).

A conclusão deste trabalho indica que o sistema adesivo que pode ser usado clinicamente para reparo de fraturas de bico é o primer e bond quimicamente ativado associado a uma resina nanoparticulada ou cimento resinoso (FECCHIO, 2010).

Existem basicamente três tipos de adesivos de acordo com sua composição: ácido fosfórico, bond (adesivo) e primer. Os materiais a base de resina composta são formados por uma matriz de componente orgânico, uma carga pelo componente inorgânico um agente de união carga-matriz e um sistema ativador polimerizante. Os cimentos resinosos possuem a composição semelhante as resinas compostas, porém possuem maior resistência à flexão e à compressão. As resinas acrílicas são formadas por monômeros pequenos e o metilmetacrilato é o exemplo mais utilizado na indústria. Os cianoacrilatos são adesivos de baixa viscosidade e

está sendo objeto de estudo para aplicação como cola para suturas e síntese óssea (PRAZERES *et al.*, 2013).

2.4. Diagrama de forças

Na física um corpo rígido é um sistema constituído de partículas em que a distância entre as partes que compõem esse corpo não variem com o tempo. Nas condições de equilíbrio de um corpo o somatório das forças que atuam sobre ele e o momento resultante é igual a zero.

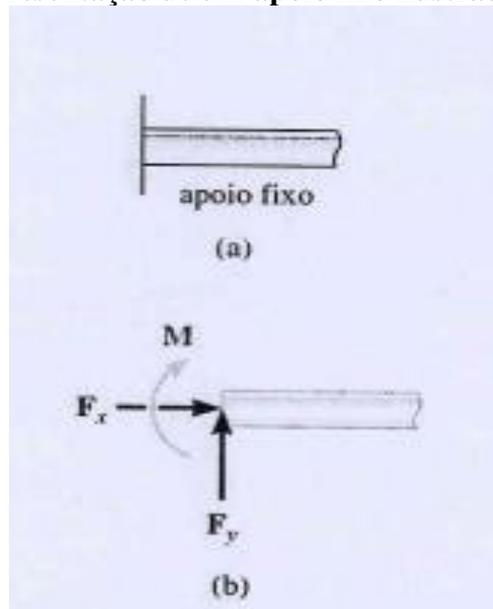
Um diagrama de corpo livre é um esboço da forma do corpo, representado isoladamente. Neste esboço deve ser considerada todas as forças e momentos atuantes neste corpo e todas as interferências da vizinhança.

As reações de apoio são consideradas quando um apoio impede a translação ou a rotação de um corpo, considera-se que este apoio fixo exerça uma força e um momento nesse corpo que o impede de movimentar e rotacionar.

Quando um corpo está sobre efeito de um campo gravitacional, é necessário considerar a força da gravidade que atua sobre o corpo que é o seu próprio peso (HIBBELER, 2004).

As cargas que incidem em um componente podem ser decompostas em cargas axiais, cargas que exercem momentos fletores e cargas que exercem torque (ASHBY, 2012).

Figura 6: Representação de um apoio fixo ilustrado em uma viga



Fonte: HIBBELER, 2005

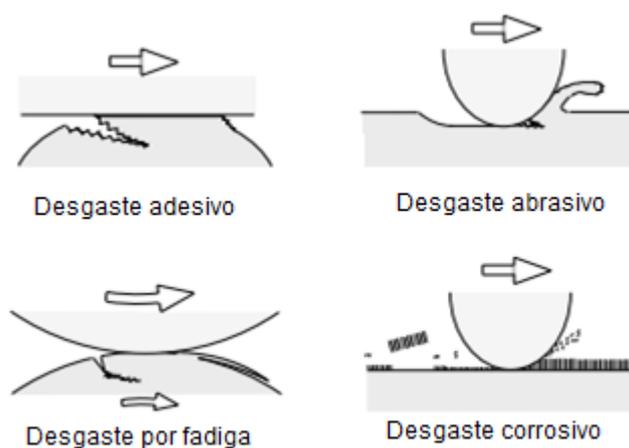
2.5 Mecanismos de desgaste

O desgaste é a denominação para a alteração ou redução da forma de um objeto por meio de fricção ou atrito. Existem basicamente quatro tipos de desgaste: o desgaste adesivo, abrasivo, por fadiga e o corrosivo.

O desgaste adesivo ocorre quando o objeto é colocado ao mecanismo de deslizamento e as ligações adesivas são fortes o suficiente para resistir a esse processo de desgaste, a transformação desse objeto se dá pela deformação plástica, podendo ocasionar uma trinca que pode se propagar e fraturar o material. No desgaste abrasivo a dureza e natureza dos dois materiais em contato podem ocasionar remoção do material da superfície. No desgaste a fadiga ocorre a degradação do material através do esforço cíclico. O desgaste corrosivo ocorre pela interação do material com o meio, causando o desgaste do material. Na figura 7 tem-se representado os quatro tipos de desgastes (KATO; ADACHI, 2001).

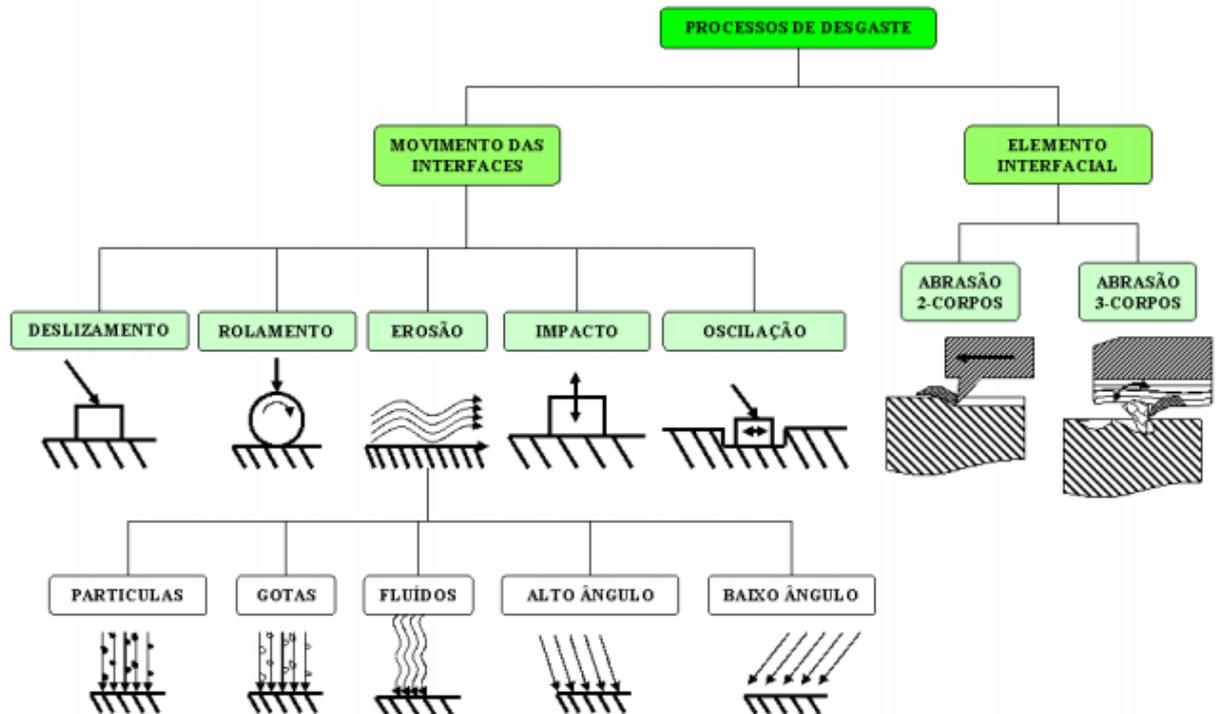
Os processos de desgaste dependem da cinemática de movimento do sistema e deve ser considerado a interação entre dois materiais avaliando o deslizamento, rolamento, oscilação, impacto e erosão. A erosão deve ser avaliada pelo estado físico que se encontra o contra corpo e pelo ângulo de contato. Os processos de desgaste podem ser classificados quanto ao elemento interfacial, que pode ser desgaste de dois-corpos ou desgaste de três-corpos se for considerado ações de partículas físicas do meio, como por exemplo a poeira. Na figura 8 tem-se representado os tipos de processos que podem causar desgaste do material (RADI *et al.*, 2007).

Figura 7 - Representação esquemática dos quatro tipos de desgaste que podem ocorrer nos materiais



Fonte: KATO; ADACHI, 2001 (adaptada)

Figura 8 - Ilustração dos processos de desgaste através da movimentação das interfaces e pelo elemento interfacial



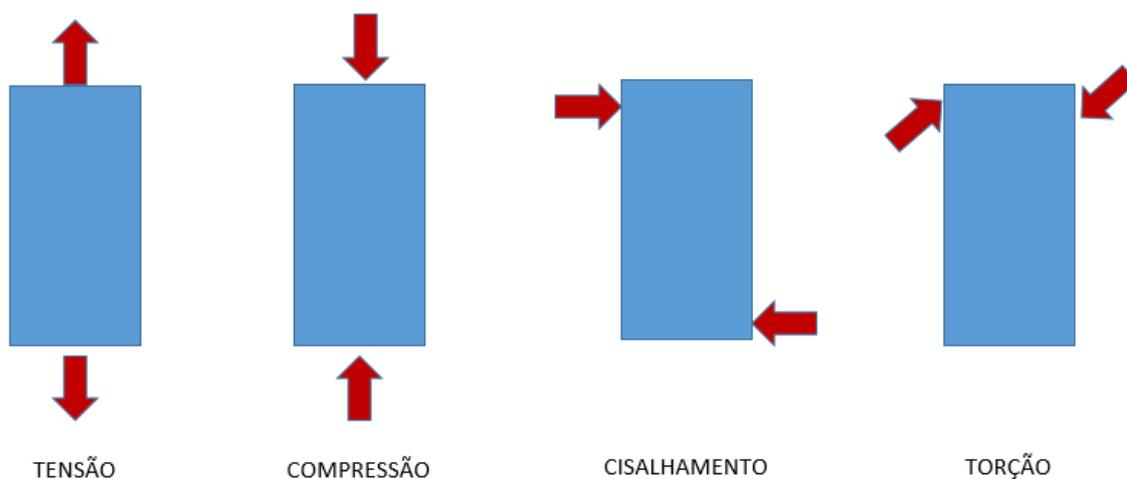
Fonte: RADI *et al.*, 2007

2.6 Propriedades mecânicas

Materiais em trabalho estão sujeitos a forças ou cargas, o comportamento mecânico deste material reflete as suas propriedades mecânicas. A carga pode ser de tração, compressão ou cisalhamento e sua magnitude e periodicidade pode ser constante ou flutuante. A temperatura e o tempo de esforço são fatores que devem ser considerados e podem alterar o comportamento do material. É papel de um engenheiro analisar as forças que atuam em um corpo e sua distribuição por meio de análises teóricas ou testes matemáticos de tensão (CALLISTER, 2000).

Abaixo na figura 9 tem-se representado os principais tipos de cargas que podem atuar em um corpo rígido. A tensão é a resposta de um corpo a uma carga externa utilizado para dimensionar a resistência de um material. O cálculo da tensão é o resultado da força aplicada dividido pela área da seção transversal, a unidade de medida comum é força em Newtons (N), a área em milímetros quadrados (mm²) e o resultado da tensão em Megapascal (MPa) (CALLISTER, 2000).

Figura 9 - Ilustração dos tipos de tensões que atuam em um corpo rígido



Fonte: CALLISTER, 200 (adaptada).

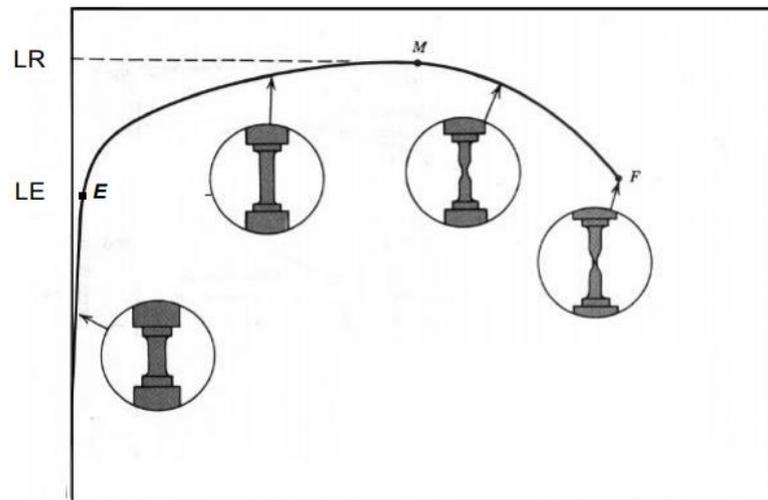
A deformação é a relação entre o comprimento inicial e final após aplicação de esforços, também chamado de deslocamento. Se depois de remover o esforço o material volta a dimensão original significa que o material sofreu uma deformação elástica, caso contrário a deformação é considerada plástica.

A relação entre tensão e deformação e seus valores são obtidos através de ensaios de tração ou compressão. Este ensaio é utilizado para avaliar diversas propriedades mecânicas dos materiais que são importantes em projetos. Nestes ensaios os materiais são colocados sob esforços geralmente até a ocorrer a fratura. Os resultados tensão aplicada e a deformação são registrados por meio de um computador em tempo real e plotados em um gráfico de tensão x deformação. A figura 10 representa uma curva de tensão x deformação sob tração ilustrando o comportamento do corpo rígido em diferentes situações da curva e evidenciando o limite de escoamento (LE), limite de resistência (LT) e a fratura (F) (CALLISTER, 2000).

A maioria das estruturas são projetadas para assegurar que apenas a deformação elástica aconteça, sendo necessário conhecer qual a tensão em que a deformação plástica se inicia, ou onde se inicia um fenômeno nomeado de escoamento. A transição elástica-plástica de um material pode ser definida em uma curva tensão x deformação através da tensão encontrada em uma irregularidade em zig-zag, logo após a inclinação inicial da curva, ou pode ser estabelecida através de uma linha reta traçada paralelamente a porção elástica da curva a partir de uma pré-deformação específica, geralmente de 0,002 como indicado na Figura 11 (CALLISTER, 2000).

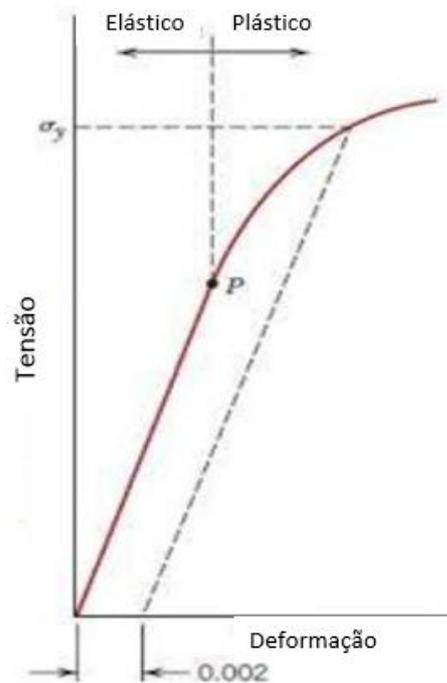
O módulo de Young ou módulo de elasticidade é uma constante aplicada para materiais que possuem uma relação linear de comportamento entre tensão e deformação. A equação é definida pela tensão aplicada sobre a deformação. A tensão utilizada pode ser valores de tensão ou compressão (USP, 2020).

Figura 10 - Curva tensão x deformação



Fonte: CALLISTER, 2000 (adaptada)

Figura 11 - Comportamento tensão e deformação e seu limite elástico e plástico



Fonte: CALLISTER, 2000 (adaptada)

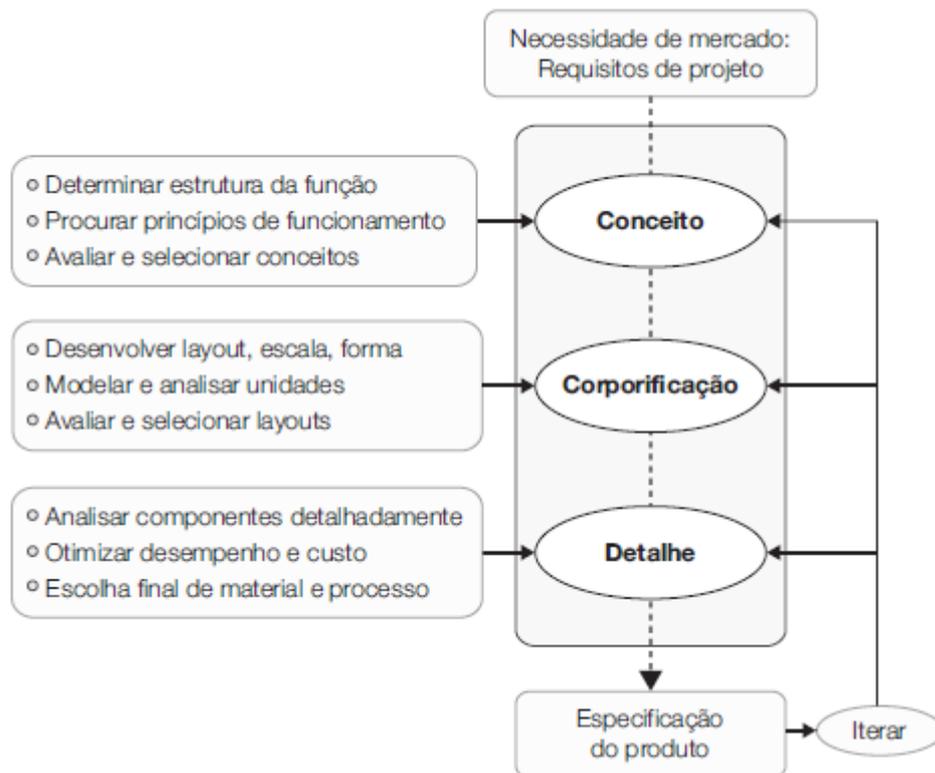
A deformação plástica é irreversível, acontece pelo resultado do deslocamento de discordâncias em materiais monocristalinos e em materiais policristalinos com a distorção de grãos. A deformação plástica pode alterar a forma física do material não sendo recomendado essa situação para aplicações estruturais (CALLISTER, 2000).

2.7 Seleção de materiais

Seleção de materiais é o princípio e método utilizado para a escolha de um material específico para um projeto, considerando a função desse objeto mecânico. Componentes mecânicos possuem massa, suportam cargas, conduzem calor e eletricidade, são expostos a desgaste e ambientes corrosivos, podem ser produzidos por um ou mais materiais, possuem uma forma requerida e o processo de fabricação também deve ser considerado. Na figura 12 tem-se o fluxograma que um projeto deve seguir desde a identificação da necessidade do produto até a especificações do produto final.

Para a escolha do material também deve ser considerado outros aspectos que não são individuais do material mecânico como processo de conformação, adesão, acabamento, o custo tanto na escolha do material como a escolha do processo, a satisfação do cliente final, quem vai utilizar o produto final, tendo em conta a textura, cor, beleza e o significado do produto (ASHBY, 2012).

Figura 12 - Fluxograma de um projeto



Fonte: ASHBY, 2012

Os principais requisitos de um projeto se baseiam na definição de alguns parâmetros, são eles: função, restrição, objetivo e variáveis livre. O primeiro requisito deve ser uma avaliação de qual a função do objeto mecânico, o que se deseja do produto final. As restrições

têm o objetivo de triar e eliminar alguns tipos de materiais. O objetivo irá classificar todos os materiais obtidos pela restrição através de uma ordem em que os que possuem eficiência a atender o objetivo fiquem no topo de escolha. As variáveis livres são os parâmetros que podem ser ajustados para otimizar o objetivo do projeto. Na tabela 3 tem-se os questionamentos necessários para parametrização de um projeto (ASHBY, 2012).

Tabela 3 - Questionamentos para a parametrização de um projeto mecânico (continua)

Parâmetro	Questionamento
Função	O que o componente faz?
Restrições	Quais são as condições não negociáveis desse projeto?
	Quais são as condições negociáveis, porém desejáveis?
Objetivo	O que deve ser maximizado ou minimizado?
Variáveis livres	Quais são os parâmetros que é possível mudar?

Fonte: ASHBY, 2012 (adaptada)

2.7.1 Seleção de materiais para a prótese

Biomaterial é um termo usado para indicar materiais que constituem partes de implantes médicos, dispositivos extracorpóreos e/ou descartáveis que são utilizados na medicina, cirurgia, odontologia e medicina veterinária e também em todos os aspectos dos cuidados de saúde de um paciente (DEE; PULEO; BIZIOS, 2002).

O processo de desenvolvimento de um biomaterial se inicia na identificação da necessidade de criação de algum produto para uma aplicação específica. Ideação de um dispositivo e síntese do material considerando as propriedades mecânicas necessárias, toxicologia, biorreação e bioestabilidade. Posteriormente a fabricação do produto, esterilização e embalagem, testes do dispositivo incluindo teste in vitro e em animais, questões regulatórias de órgãos responsáveis e acompanhamento dos pós implante, registros e análises de falhas (PIRES; BIERHALZ; MORAES, 2015).

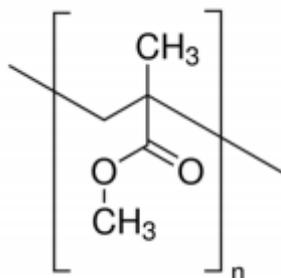
2.7.1.1 Polimetilmetacrilato (PMMA)

O polimetilmetacrilato é uma resina polimérica de base acrílica, amorfa, biocompatível, não degradável, e é um dos materiais aloplásticos mais usados em cirurgias de reabilitação. A prótese de PMMA pode ser pré-fabricada, trazendo vantagens como redução de tempo cirúrgico (COTRIM, 2013).

O monômero ou unidade de repetição deste polímero termoplástico é o metil metacrilato que possui em sua estrutura grupos de metila e carbonila. Abaixo (figura 13) a representação química do monômero (YOUNG, LOVELLI, GRANDJEAN, 1992).

Callister (2010) descreve algumas propriedades do PMMA que podem ser observadas independentes do processo de polimerização: alta termoplaticidade, insolubilidade em água, solubilidade em solventes orgânicos, boa resistência a condições externas naturais, estabilidade dimensional, baixa densidade, alta rigidez e a biocompatibilidade.

Figura 13 - Representação química do metil metacrilato



Fonte: SIGMA-ALDRICH, 2021(adaptada)

O processo denominado *cell casting* é marcado pela simultânea polimerização e moldagem. Para ocorrer a formação do polimetilmetacrilato o monômero metil metacrilato (MMA) é misturado a um iniciador químico, um catalisador e diversos aditivos (HORN, 1960 *apud* SERAFIM, 2016). A polimerização é altamente exotérmica e pode atingir até 75 °C (CASTILLO, et al, 2013). Durante a polimerização o material também sofre contração em um percentual de 0,2% a 0,8% (POLYSITE, 2017). As propriedades obtidas a partir deste processo estão disponíveis na tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades mecânicas do PMMA obtidas através do processo de fabricação *cell casting*

Propriedade	Valores
Massa molar	maior que 10^6 g/mol
Módulo de elasticidade	2,24 GPa a 3,4 GPa
Limite de resistência à tração	48,3 MPa a 72,4 MPa
Limite de resistência à flexão	46,7 MPa a 139,9 MPa
Alongamento na ruptura	2,0% a 5,5%
Densidade	$1,17 \text{ g/cm}^3$ a $1,2 \text{ g/cm}^3$

Fonte: MARK, 1996 (adaptada)

O PMMA é um dos materiais mais aceitos e utilizados como substituto ósseo e cirurgia de reconstrução facial, biologicamente é considerado inerte e estável. Suas características mecânicas permitem que o material distribua uniformemente as tensões e as cargas da prótese para o osso, satisfazem os requisitos básicos de resistência à compressão, resistência à tração e resistência à flexão (WANG, et al, 2010).

Apesar das características do PMMA para próteses, este polímero apresenta algumas limitações mecânicas, como resistência à fadiga e ao impacto. Visando melhoria dessas propriedades, a utilização de reforços tem sido alvo de estudo, como por exemplo a fibra de vidro (JOHN; GANGADHAR; SHAH, 2001).

2.7.1.2 Compósito de PMMA reforçado com fibra de vidro

Por definição, material compósito é aquele formado pela combinação em escala macroscópica de dois ou mais materiais distintos. Esses materiais possuem uma característica de adquirir propriedades elevadas em que seus constituintes separadamente não possuem (KIM; MAY, 1998).

Os compósitos poliméricos são constituídos, em maioria, por uma matriz polimérica que pode ser termoplástica ou termofixa, um reforço e uma fina região de interfase, que é denominada interface (NGO, 2020).

Os reforços de compósitos podem ser em forma de fibra, flocos ou partículas. Cada um possui contribuições específicas para o material. As fibras são as mais comuns de aplicação porque atuam na transferência de tensão de cisalhamento. Quando se aplica uma tensão externamente no material, essa é transmitida e distribuída para as fibras e uma pequena porção da carga é suportada pela matriz. Nesse caso, a matriz deve ser dúctil e apresentar módulo de elasticidade menor que o da fibra (CALLISTER, 2000).

As características de um compósito reforçado com fibra não dependem apenas das propriedades da fibra, dependem também do comprimento, orientação e concentração da fibra. O comprimento deve ser entre 20 a 150 vezes o diâmetro da fibra e normalmente se utiliza o valor de 1 mm. A orientação da fibra depende da direção da carga que o material irá receber, se o material recebe esforço em apenas uma direção, a orientação da fibra deve ser longitudinal aos esforços; se as tensões forem multidirecionais utilizam-se fibras descontínuas (CALLISTER, 2000).

O compósito de fibra de vidro e polímeros são usados em setores da indústria que tenham uma exigência de baixo peso, elevada resistência à tração e propriedades anticorrosivas (NGO, 2020).

A fibra de vidro é um tipo de reforço feito de material cerâmico composto por sílica em sua maior parte (superior a 50%) e outros óxidos. Os diâmetros das fibras variam normalmente entre 3 e 20 μm . A fibra de vidro é um material popular como reforço porque pode ser produzido compósitos com técnicas de baixo custo e produzir um produto com resistência específica alta e se torna um material inerte (CALLISTER, 2000). Na tabela 5 destaca-se outras propriedades individuais da fibra de vidro.

Tabela 5 - Propriedades da fibra de vidro

Propriedade	Valores
Densidade relativa	2,58
Módulo de elasticidade	72,5 GPa
Limite de resistência à tração	3,45 GPa
Resistência específica	1,34
Módulo específico	28,1

Fonte: CALLISTER, 2000 (adaptada)

As fibras de vidros durante o estiramento são geralmente revestidas por uma fina camada que protege a fibra de danos causados pela interação com o meio ambiente. Antes da aplicação da fibra em uma matriz é necessário que essa camada seja substituída por um agente de união que promova uma boa interação entre a matriz e a fibra (CALLISTER, 2000).

2.7.1.2 Agente de união silano

Os silanos são agentes de união entre materiais orgânicos e inorgânicos. São moléculas formadas por um átomo de silício realizando quatro ligações com grupos que podem ser reativo orgânico, reativo inorgânico e não reativo. Uma representação genérica molecular pode ser vista abaixo.



O grupo R normalmente é selecionado para reatividade orgânica. O grupo X representa grupos hidrolisáveis, que formam ligações covalentes com a parte inorgânica, como resinas. A união ocorre pela condensação das unidades reativas compostas por silanóis e alcoxissilanos.

Os silanos aumentam a molhabilidade do material com a resina, proporcionando maior adesão mecânica, física e química. Pode ser usado diretamente na fibra de vidro para aderência a resina, e pode ser usado diretamente na resina para aumentar a aderência entre a resina e o cimento resinoso (SILANO, 2020).

2.7.2 Seleção de adesivos

A seleção de um adesivo correto para uma aplicação é uma tarefa árdua, tendo em vista a gama de adesivos comercialmente disponíveis. As necessidades da aplicação final são primordiais e sugere as principais restrições e podem permitir que um grupo de adesivos sejam descartados em um estágio inicial do processo. Outros aspectos importantes são fabricação em termo de volume, problemas ao manusear, utilização de equipamentos de cura e dispersão, temperatura de cura ou se é coerente com o substrato.

Os parâmetros chaves para a seleção de um adesivo podem estar conectados, ou a seleção pode se tornar um processo repetitivo. A primeira questão a se levantar deve ser relacionar o que é necessário para que as juntas se mantenham conectadas e a partir disso definir outros limites e requisitos para os potenciais candidatos a adesivo. Frequentemente, famílias inteiras de adesivos são excluídas apenas com a análise de uma propriedade como por exemplo

duração e temperatura de cura ou tipo de substrato. Na figura 14 tem-se os principais fatores que cooperam com a seleção de adesivo para o projeto.

Figura 14 - Principais fatores para a seleção de adesivos



Fonte: SILVA; OCHSNER; ADAMS, 2011 (adaptado).

O design de uma junta deve ser considerado pois a forma em que a carga atua pode indicar a durabilidade da mesma. O tipo de substrato pode ter influência na seleção de um adesivo, principalmente se for um termoplástico que pode interagir formando fissuras ou incompatibilidade na ligação (SILVA; OCHSNER; ADAMS, 2011).

2.7.2.1 Cimento resinoso

O cimento resinoso é um agente de cimentação desenvolvido especificamente para o ramo da odontologia. Seu objetivo principal é se interpor entre o dente e o biomaterial, causando a união e retenção destes, além disso possuem outras funções que devem ser consideradas como aumento da resistência mecânica e impermeabilização para evitar a infiltração de água e alimentos e também tornar as restaurações esteticamente mais naturais (FRANÇA, 2017).

A composição dos cimentos resinosos se baseiam principalmente em sistemas monoméricos Bis-GMA (Bisfenol A-metacrilato de glicidila) ou UEDMA (uretano dimetacrilato) em combinação com outros monômeros de menor peso molecular como o TEGDMA (trietileno glicol dimetacrilato), agrupamentos funcionais que atuam na

desmineralização e adesão a superfície dentária como HEMA, 4-META e organofosfatos, e partículas cerâmicas que atuam como carga e a concentração variam de 60% a 70% do peso (FERRACANE; STANSBURY; BURKE, 2011).

O mecanismo de adesão dos cimentos resinosos ocorre pela dissolução da camada superficial do dente chamada de *smear layer* por meio de monômeros ácidos, a partir disso o cimento resinoso entra dentro dos túbulos dentinários, formando uma camada híbrida e retenção mecânica. A principal reação ocorre via polimerização formando ligações cruzadas entre os monômeros formando polímeros de alto peso molecular (SOUZA; LEÃO; BEATRICE, 2011)

A reação de polimerização pode ser iniciada tanto por luz, quanto pelo sistema denominado redox, que é um sistema de reações de oxi-redução entre o catalisador e a base. Alguns cimentos resinosos denominados “dual” podem ser polimerizados pelo sistema redox e por luz. A redução química ocorre entre o peróxido de benzoíla presentes na pasta catalisadora e aminas aromáticas na pasta base, e na base (ou em ambos) possui um componente fotossensível que pode ser ativado pela luz. Em sua composição também existem inibidores que são responsáveis por controlar o tempo de polimerização para que seja possível trabalhar com o produto (ROSENDO, et al, 2011).

2.7.2.2 Tratamento de superfície

Para implantes de biomateriais dentários os sistemas adesivos são usados para preparo de superfície e adequação do local para o recebimento de cimentos.

Inicialmente é utilizado o ácido fosfórico para aumentar a reatividade superficial, aumentando a energia livre de superfície e criando rugosidades superficiais. O aumento da reatividade superficial contribui para a penetração do adesivo.

Posteriormente um *primer* de natureza hidrofílica é usado para facilitar a aderência do adesivo. O *primer* é composto por solventes orgânicos (acetano e/ou álcool) que tem a função de carrear monômeros hidrofílicos para o interior úmido e evaporar o excesso de água presente na dentina (LODOVICI, 2007 apud FECCHIO, 2010).

O alongamento de unha é um procedimento estético em que são utilizadas técnicas para aumentar o comprimento das unhas e manter o esmalte na unha por um tempo maior. Atualmente existem quatro principais técnicas para alongamento de unhas: gel, fibra de vidro, porcelana e acrilato. Todas as técnicas utilizam materiais à base de acrilatos (CUNHA, 2019).

O *primer* faz a aderência do gel na unha para não causar o descolamento do gel. Existem dois tipos diferentes de *primer*, o *primer* com ácido e o *primer* sem ácido. O *primer* com ácido

causa pequenas cavidades na unha para que o gel entre nesses poros e favoreça a adesão mecânica. O primer sem ácido funciona como uma “fita dupla face” aderindo a unha e criando um ambiente de aderência para o gel. Para utilizar o *primer* sem ácido é necessário que a unha esteja desidratada com um outro componente chamado desidratador (MATOS, 2018).

2.8. Impressão 3D

2.8.1 Tecnologia da impressão 3D

O termo “manufatura aditiva” faz referência a tecnologias que desenvolvem objetos tridimensionais em uma camada delicadamente fina por vez. Cada camada sucessiva se liga à camada anterior de material derretido ou parcialmente derretido. Os objetos são definidos digitalmente por *softwares* de design auxiliado por computador (CAD) que é usado para criar arquivos. *stl* que essencialmente “cortam” o objeto em camadas ultrafinas. Essas informações orientam o caminho de um bico ou cabeça de impressão à medida que deposita material com precisão sobre a camada anterior. Ou, um laser ou feixe de elétrons derrete, ou parcialmente derrete, seletivamente um leito de material em pó. Conforme os materiais esfriam ou são curados, eles se fundem para formar um objeto tridimensional (GE ADDITIVE, 2020).

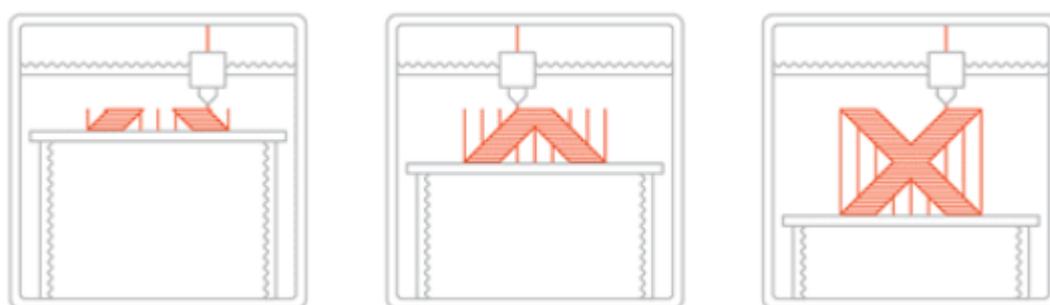
2.8.2 Métodos de impressão 3D

Segundo Zucca (2019) existem basicamente 3 métodos principais de impressão 3D, sendo eles o PolyJet, a Estereolitografia e a Modelagem por difusão de plástico (FDM), onde cada um possui vantagens e desvantagens a se considerar na escolha do método. O PolyJet, trata-se de um sistema de jato de tinta que deposita a resina seguido da incidência de luz ultravioleta (UV) que efetua a cura, seguindo desta maneira camada por camada. A Estereolitografia se baseia na polimerização de resinas líquidas através de raios UV direcionados à peça através de espelhos que solidificam a resina dentro de um tanque. A peça impressa é levada a um forno para cura, utilizando novamente para tal a luz UV. O método FDM (Figura 15) é o mais utilizado e consiste na produção de camadas por deposição do material fundido que solidifica em contato com a superfície mais fria. O processo se repete em várias camadas até finalizar a peça (ZUCCA, 2019).

A altura das camadas de impressão é um parâmetro da impressão 3D que altera a qualidade superficial de uma peça. Essa medida se refere a espessura do filamento de material

depositado durante o processo de impressão que pode variar de 0,05 mm a 0,4 mm. Quanto menor a espessura do filamento maior tende de ser a resistência mecânica da peça final, pois o resfriamento de cada camada acontecerá uniformemente e haverá menor espaço vazio entre as camadas, tendo em vista que camadas mais finas irão se sobrepor com maior facilidade (3DLAB, 2020).

Figura 15 - Ilustração esquemática do método de impressão FDM



Fonte: 3DLAB, 2020

A densidade de preenchimento também interfere na quantidade de espaços vazios da peça. Aumentando a densidade até 100% pode tornar a peça mais resistente. A temperatura deve ser adequada ao tipo de material utilizado. Se a temperatura estiver baixa o material pode se deformar (NAGANO, 2020).

2.8.3 Aplicações Impressão 3D

Segundo Gomes et al (2017) a utilização de veículos aéreos não tripulados (VANTs) vem ganhando espaço nas pesquisas e no mercado comercial, sendo aplicados em inspeção aérea, uso militar, serviços de filmagens, entrega de produtos etc. Neste contexto a impressão 3D tem auxiliando pois já é possível encontrar modelos prontos na internet para fabricação através desta tecnologia. Em seu estudo os autores modelaram e testaram via CAD a resistência de componentes de um VANT imprimindo-nos posteriormente.

Zucca et al (2018) salienta que a impressão 3D pode transformar o modo de produção atual pela sua capacidade de criar peças e dispositivos de forma relativamente rápida mesmo com geometrias complexas.

Capatto (2017) apresenta um drone fabricado objetivando o controle de pragas no cultivo de milho. Este tem partes fabricadas por impressora 3D e carrega benefícios ao produto e vantagens no uso: menor peso e conseqüentemente maior durabilidade da bateria e tempo de

voo, além do fato do fabricante conseguir entregar produtos personalizados aos clientes de forma ágil (CAPATTO, 2017).

Garré (2015) usou da prototipagem 3D para construir pequenas turbinas eólicas. O autor testou os materiais PLS e ABS e imprimiu as pás, o hub e o eixo das turbinas. Segundo os resultados de seu estudo, a prototipagem 3D produziu perfis com alto grau de fidelidade estrutural e aerodinâmico.

2.8.3.2 Tecnologia de impressão 3D em próteses de animais

Um estudo realizado por Croucilo et al (2017) avaliou próteses mecânicas para animais de pequeno e médio porte produzidos pela impressora 3D utilizando o polímero ácido polilático. As variáveis da configuração com melhor desempenho foram de densidade 100%, espessura de 0,4 mm e direção de impressão de 45° e 135°, apresentando uma deformação de 0.08214 e uma tensão de $2,44 \times 10^4$ MPa. Nesse estudo os autores concluíram que o material que obteve maior ductilidade foi o de melhor performance devido à resistência ao impacto.

3. METODOLOGIA

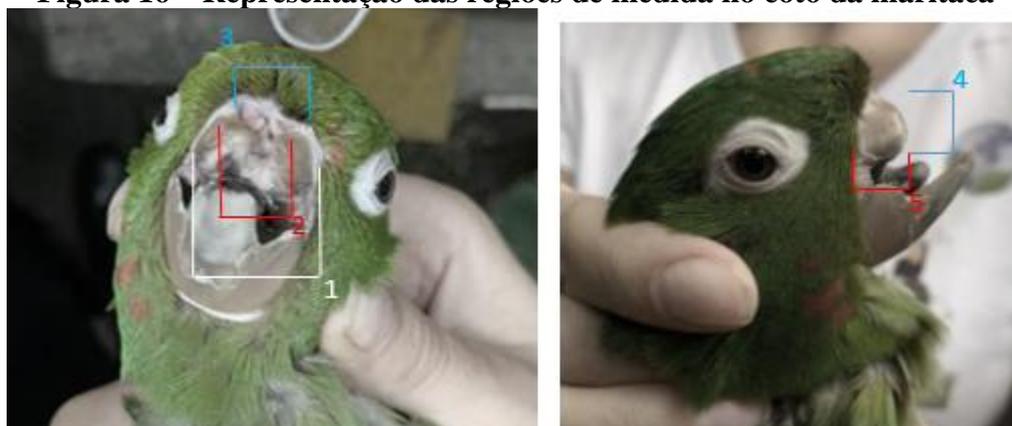
3.1 Medições

Para os dois procedimentos abaixo foi utilizado um paquímetro da marca Mitutoyo com capacidade de 0 mm a 200 mm e resolução de 0,02 mm.

3.1.1 Medição do bico fraturado da maritaca

Utilizando um paquímetro foi medido e fotografado as dimensões do coto do bico da maritaca: comprimento na base (sessão mais próxima ao rosto, indicada como 1 na figura 16), comprimento na maior altura (sessão mais afastada do rosto, indicação 2 na figura 16), afastamento das narinas (3), altura (4) e largura (5).

Figura 16 – Representação das regiões de medida no coto da maritaca



Fonte: Próprio autor, 2021

3.1.2 Medição de um bico de maritaca

Um bico de uma maritaca morta, falecida por condições diversas não relacionadas a doença do bico foi cedido pelo presidente da ONG para utilização específica neste projeto.

O bico que possui um alongamento da base até a ponta de 25 mm foi marcado com um pincel de 5 em 5 mm.

Para cada marcação foi medida a largura e a altura do bico.

3.2 Diagrama e simulação de forças

Neste procedimento foi utilizado o *software de design SolidWorks 2020* licença estudantil desenvolvido pela SolidWorks Corporation para fazer o desenho de um bico da maritaca. E o *software Ansys R1* foi utilizado para realizar simulação de aplicação de forças no bico da ave.

Foi escolhido um material similar a resina acrílica com fibra de vidro e foi tomado nota das suas propriedades.

Utilizou-se duas simulações:

- (1) durante a alimentação e fazendo uma força de 50 N;
- (2) o bico suportando o peso da ave de 200 gramas.

3.3 Seleção de materiais

Os materiais adotados para seleção foram baseados nos trabalhos Coles (2007), Rossi Jr (2008), Callister (2000) e Fecchio (2010) e também opiniões de especialistas na área de medicina veterinária como biocompatibilidade para contato animal, odontologia em relação aos adesivos, engenharia em relação a facilidade de fabricação e estética com os adesivos utilizados nos procedimentos de colagem de queratina (Alongamento de Unhas)

3.3.1 Seleção de materiais para a prótese

A seleção do material foi feita já considerando um candidato principal que atualmente é utilizado na medicina veterinária para reparo de fratura de bico. Foi levantada quais as principais características do bico e as propriedades relacionadas e comparado com as propriedades do material previamente selecionado.

A anatomia do bico de um psitacídeo se assemelha a uma estrutura simples, o prisma. O cálculo do volume do prisma foi realizado para simular o volume total da prótese e utilizando a densidade do material pré-selecionado calcular o peso da prótese. As propriedades do material foram comparadas com as forças utilizadas pela simulação de forças durante a alimentação e durante a suspensão.

3.3.2 Seleção de adesivos

A seleção do adesivo foi feita a partir do estudo de Fecchio (2010) e compatibilidade adesiva com o material da prótese.

3.3.3 Tratamento de superfície

Foi feito a seleção de materiais para um tratamento de superfície similar ao utilizado na odontologia, onde a aplicação do um produto limpa a superfície e aumenta a sua rugosidade, expondo os poros da superfície, mais um segundo produto que entra nos poros do expostos e fixa com o adesivo. Isso permitirá maior ancoragem mecânica do adesivo que irá fixar a peça, porém o produto para preparação da superfície de colagem do bico precisa ser compatível com a queratina que assemelha o material do Bico da Ave.

3.4 Moldagem e modelagem do bico fraturado da maritaca

Com o intuito de obter as dimensões exatas e estrutura do local de adesividade da prótese de bico da maritaca, foi feita a modelagem *in loco* utilizando diferentes técnicas que serão descritas abaixo. Para todas as técnicas *in loco*, voluntários e/ou presidente da ONG Asas e Amigos auxiliaram na contenção da ave.

Todos os materiais utilizados nesta sessão foram escolhidos com a ajuda de profissionais da área de odontologia, considerando a não toxicidade pelo período de tempo em que a ave foi exposta.

As técnicas *in loco* foram realizadas em dias diferentes de acordo com a necessidade. E a duração de manejo da ave não ultrapassou 10 minutos para evitar estresse severo a ave.

3.4.1 Moldagem utilizando alginato odontológico

Para este procedimento foi utilizado alginato para impressão com Clorhexidina, tipo II, presa normal, fabricado pela marca Maquira Industria de produtos odontológicos, água potável, um recipiente plástico, uma colher plástica e uma chapa de alumínio 200 mm x 200 mm x 0,097 mm.

Um recipiente com as dimensões 50 mm x 30 mm x 25 mm foi produzido a partir do dobramento da chapa de alumínio.

Em um recipiente plástico foi adicionado uma medida do alginato em pó e a mesma medida de água potável. Os dois itens foram misturados por 60 segundos com o auxílio de uma colher plástica. A massa pastosa formada foi aplicada diretamente no local da fratura de bico da maritaca. O tempo de cura do material foi de 3 minutos em temperatura ambiente. Após esse

tempo foi retirado o material no seu estado sólido e com todas as impressões das imperfeições da fratura do bico.

3.4.2 Moldagem utilizando obturador provisório odontológico

Para este procedimento foi usado um modelo “Casca” de bico de maritaca impresso em impressora 3D utilizando PLA (método de impressão especificado no item 3.5.1 dessa seção) de matéria prima e um obturador provisório normal fabricado por Dentalville do Brasil. O modelo “Casca” foi preenchido com a massa de obturação provisória. Com a maritaca contida, esse modelo foi pressionado no coto do bico e a massa foi deformada de acordo com as imperfeições do local.

3.4.3 Modelagem do coto da maritaca

Para a modelagem do coto da maritaca foi utilizado gesso em pó fabricante Argos, água potável, um copo plástico feito de polipropileno, uma colher plástica, uma tesoura plástica sem ponta, estilete e uma lixa de unha manual.

100 mL de água potável foi adicionada no copo plástico e 250 gramas de gesso em pó foi polvilhado e misturado com o auxílio da colher plástica por 30 segundos.

O modelo oco contendo massa de obturação com a impressão do coto da maritaca foi mergulhado neste vasilhame plástico com a mistura viscosa de gesso em pó e água. Foi aguardada a secagem por 12 horas. O vasilhame plástico foi então cortado, e os excessos do gesso foram retirados com o auxílio de um estilete. O gesso com a modelação do coto foi acertado com o auxílio de uma lixa de unha manual. A reparação da largura do coto foi feita utilizando fotografias e dimensionamentos obtidos pela técnica de medição (sessão 3.1.1 deste trabalho).

3.5 Design do projeto 3D da prótese

3.5.1 Protótipo 1 e testes in loco

Neste processo foi utilizado o *software Inventor* licença estudantil da *Autodesk* e uma impressora 3D método de modelagem por difusão de plástico (FDM), modelo *Corexy* com capacidade de impressão de 250 mm x 250 mm x 280 mm.

O Protótipo da prótese foi impresso, em escalas diferentes, pela impressora 3D utilizando o poliácido láctico (PLA) de diâmetro de 1,75 mm, e temperatura de extrusão de 210 C, e espaçamento entre camadas da impressão de 0,1 mm.

Os protótipos impressos em cada escala foram medidos utilizando como ferramenta o paquímetro usado na sessão de medição.

Os protótipos foram testados na maritaca, para algum ajuste e posterior correção no modelo 3D, o protótipo era aquecido externamente, ajustado com auxílio de uma ferramenta manual, esfriado e conferidos novamente na ave. Foi feita análises e anotações a respeito do encaixe ao bico fraturado, estética do protótipo e modificações necessárias. Foi coletado informações a respeito do design da prótese com o médico responsável da ONG.

3.5.2 Protótipo 2 e testes in loco

A partir das anotações realizadas no primeiro teste in loco foi realizada modificações no *design* da prótese e alterado o projeto para uma prótese parcialmente sólida e no local do encaixe em formato de casca.

Foi impresso novos protótipos do novo *design* em tamanho real, e também ampliações de 1.05X e 1.10X, com objetivos de mais possibilidade de testes e ajustes, uma vez que é desgastante para a maritaca fazer o processo de conferência in loco.

Os protótipos foram testados no rosto da maritaca. Foi feito análises e anotações a respeito do encaixe ao bico fraturado, estética do protótipo e modificações necessárias para a fabricação final.

O protótipo de melhor resultado estático foi dimensionado e o modelo do bico fraturado da maritaca, produzido pela modelagem de alginato foi usado para ajuste do dimensionamento do encaixe.

3.5.3 Design da prótese 3D

O desenho em 3D da prótese foi alterado de acordo com as informações coletadas no último tópico, chegando o modelo final para fabricação.

3.6 Fabricação da prótese

A projeto final foi novamente impresso para servir de modelo (Macho). Foi adicionado a um copo plástico 150 mL de água potável e foi polvilhado 300 gramas de gesso em pó Argos e misturado por 30 segundos com o auxílio de uma colher plástica. A mistura foi adicionada em um recipiente de borracha e adicionado o modelo da prótese dentro com a ponta do bico apontada para o fundo do recipiente. Foi aguardado cerca de 30 minutos para a cura final. O modelo foi retirado do gesso seco, gerando o espelho da prótese, molde (Fêmea)

Em 12 gramas de pó co-polímero metil metacrilato auto polimerizante foi adicionado 4 gramas do líquido acrílico auto polimerizante do fabricante Clássico odontologia e na mistura incluiu 0,4 gramas da fibra de vidro cortada em pedaços de 1 mm, a massa foi homogeneizada por 30 segundos.

A mistura foi vertida e pressionada sobre o molde de gesso. Após a secagem, o gesso foi fragmentado restando o modelo sólido da prótese, alguns ajustes foram necessários, utilizando lixas e limas para rebarbar e corrigir pequenos defeitos de fundição.

A prótese foi adicionada em uma solução de água e sabão líquido (proporção 3:1) durante 24 horas para retirar o excesso de resíduos.

4. RESULTADOS

4.1 Medições

4.1.1 Medição do bico fraturado da maritaca

Os resultados das medições estão descritos na tabela 6.

Tabela 6 - Dimensões do bico fraturado da maritaca (continua)

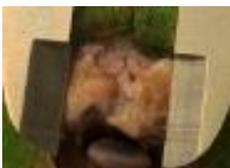
Local de medição	Representação	Valores (mm)
Largura inferior		16,20
Largura superior		12,40
Lateral esquerda		5,9
Lateral direita		6,5
Largura da narina		7,6
Altura base inferior		10,00

Tabela 6 - Dimensões do bico fraturado da maritaca (continuação)

Local de medição	Representação	Valores (mm)
Altura base superior		7,6
Altura narina		6,0

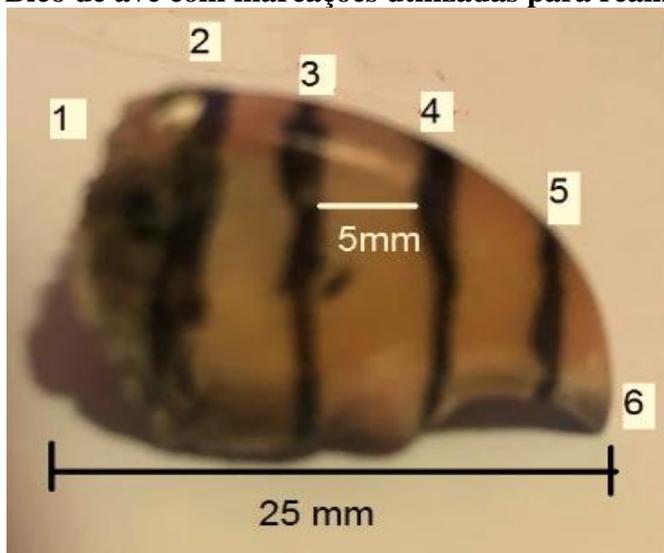
Fonte: Próprio autor, 2021

4.2.2 Medição de um bico de maritaca

Na figura 17 as marcações feitas no bico de outra maritaca, afim de desenhar um bico que fosse mais semelhante ao bico original. A tabela 7.

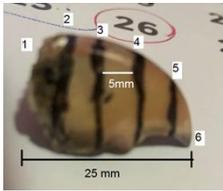
É possível observar a largura do bico da maritaca com fratura de rinoteca possui um coto de maior largura, porém o comprimento do bico de 25 mm atenderia as necessidades da ave.

Figura 17 - Bico de ave com marcações utilizadas para realizar medições



Fonte: Próprio autor, 2021

Tabela 7 - Medidas de cada sessão

Sessão	Altura total com o bico apoiado na superfície (mm)	Altura total da peça na sua sessão (mm)	Largura (mm)
			
1	14,0	7,5	13,8
2	14,5	14,9	15,0
3	15,0	14,4	15,2
4	14,7	12,5	12,2
5	13,0	7,5	11,8
6	-	-	2,5

Fonte: Próprio autor, 2021

4.2 Diagrama e simulação de forças

O material utilizado para esta análise de diagrama de força foi a resina poliéster com fibra de vidro. As propriedades descritas na tabela 8, foram adquiridas pelo *software*.

Tabela 8- Propriedades da resina poliéster

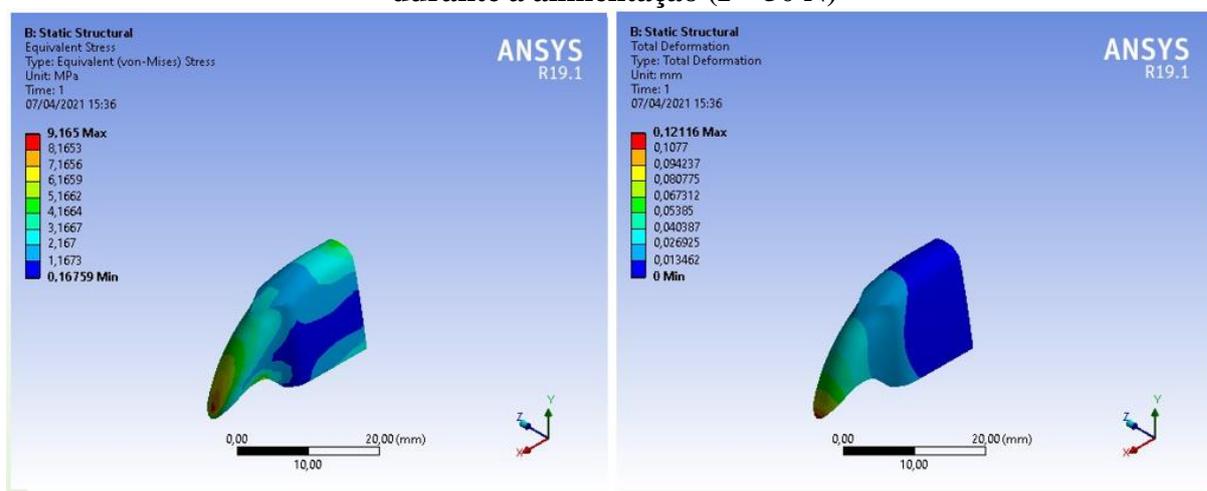
Propriedade	Valores
Densidade	1,2 g/cm ³
Módulo de Young	3000 MPa
Coefficiente de Poisson	0,316
Módulo volumétrico	2717,4 MPa
Módulo de cisalhamento	1139,8 MPa

Fonte: ANSYS, 2020 (adaptada)

A escolha da resina poliéster com fibra de vidro foi feita considerando que o produto pré-selecionado para a confecção da prótese se tratava de um compósito também formado por fibra de vidro e resina

Na figura 18 tem-se o resultado da simulação realizada considerando o bico realizando uma força de 50 N. Na figura 18a as tensões na estrutura do bico e na figura 18b a simulação da deformação.

Figura 18 - Simulação 1 - Tensão equivalente e deformação do bico de uma maritaca durante a alimentação (F= 50 N)



Fonte: Próprio autor, 2021

A partir da simulação acima é possível perceber que o local de maior tensão (em vermelho) é na ponta do bico, o que já era esperado, pois é o local onde as sementes são quebradas durante a alimentação.

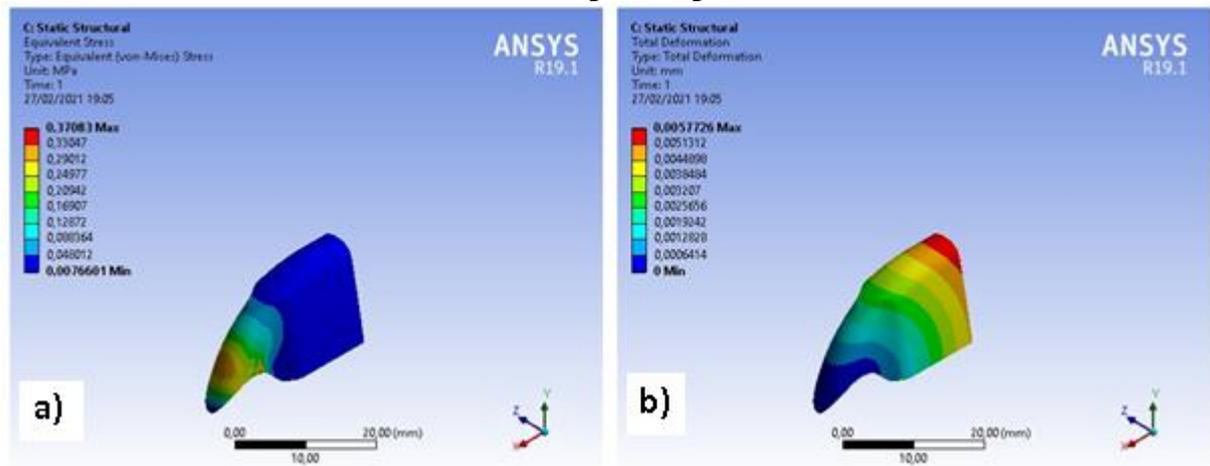
Em estudos publicados por revistas científicas foi encontrado estudos da força de mordida de uma caturrita, com valor de 16,74 N (PORTO, 2004). A caturrita é uma ave da mesma família que a maritaca (psitacídeos) porém a maritaca possui ossos e músculos que são ausentes na caturrita (CARRIL; DEGRANGE; TAMBUSI, 2015). A força de mordida de um psitacídeo pode ser calculada pela força exercida pelos músculos do crânio da ave (PORTO, 2004). O valor de 50 N foi utilizado pois é um valor cerca de 3 vezes superior ao valor exercido pela caturrita.

No caso desta simulação, a tensão máxima foi de 9,165 MPa na ponta do bico e no local de adesividade da prótese cerca de 1,5 MPa. A deformação aconteceu em maior valor na ponta, 0,12 mm, e no local de adesividade não teve nenhuma formação.

Na figura 19 tem-se o resultado da simulação realizada considerando a maritaca suspensa pelo bico e a força do seu peso para baixo. Na figura 19a as tensões na estrutura do bico e na figura 19b a simulação da deformação na estrutura do bico.

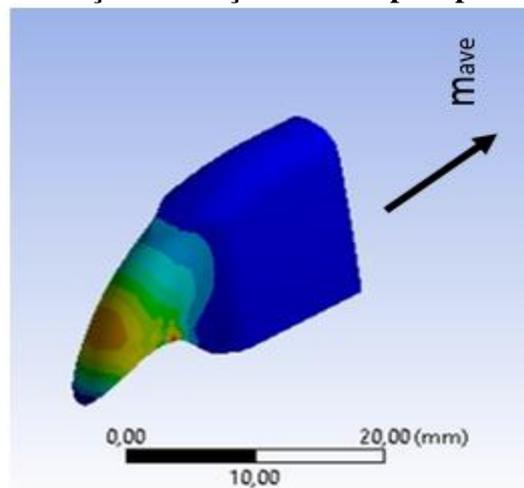
Para essa simulação foi considerado que o peso da maritaca seria de 200 gramas. Este valor foi escolhido pois o peso da maritaca varia de 140 g a 170 g (POLICIA FEDERAL, 2016). A força foi aplicada no eixo x negativo, como indicado na figura 20.

Figura 19 - Simulação 2 - Tensão equivalente e deformação do bico de uma maritaca durante a suspensão pelo bico



Fonte: Próprio autor, 2021

Figura 20 - indicação da força exercida pelo peso da maritaca



Fonte: Próprio autor, 2021

A tensão equivalente máxima foi observada no meio do afinamento do bico, afastado do local de apoio, e o valor máximo foi de 0,37 MPa. O valor de deformação máximo foi observado próximo às narinas como valor 0,0058 mm.

4.3 Seleção de materiais

4.3.1 Seleção material da prótese

O material pré-selecionado é a resina de polimetilmetacrilato. Essa resina é utilizada para correção de fraturas de bico de aves. Na tabela 9 tem-se as citadas as principais características do bico e as propriedades relacionadas e comparado com as propriedades do material previamente selecionado.

Tabela 9- Características do bico para a seleção de materiais x propriedades do PMMA

Características do bico	Propriedade do material relacionada	Propriedade do PMMA
Bico recurvado e grosso	Moldável	Resina acrílica moldável
O bico exerce força como terceiro apoio e alimentação de sementes	Resistência mecânica adequada	Resistência mecânica de 48,3 MPa a 72,4 MPa
Componentes presentes: HA, feixe vâsculo-nervoso, articulações e bainhas germinativas	Biocompatível	Biocompatível inerte
Exterior do bico formado por queratina	Compatível e inerte a queratina	Compatível e inerte a queratina
Insolúvel em água e não corrosivo	Insolúvel em água e não corrosivo	Insolúvel em água e não corrosivo
Peso do crânio máximo de 19% do peso total da ave	Baixa densidade	Densidade de 1,2 g/cm ³

Fonte: Próprio autor, 2021

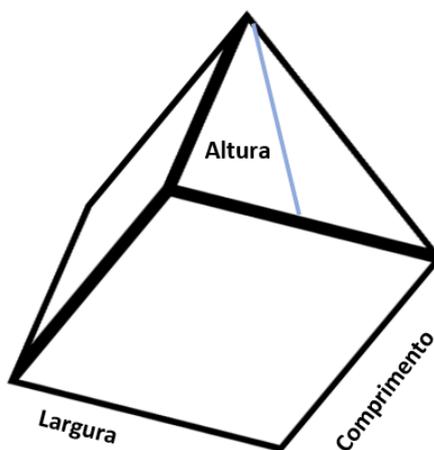
A escolha pelo polimetilmetacrilato foi pela utilização deste material como prótese de bicos fraturados e suas características como boa resistência, insolubilidade em água e ser um material biocompatível e não corrosivo.

A proporção do peso do crânio de uma arara em relação ao seu peso total é de 19% (SICK, 2001). Como o crânio da ave é composto por ossos, músculos e cérebro, e a arara possui o crânio mais desenvolvido que uma maritaca, para este cálculo, considerou-se que o peso total do bico não poderia ultrapassar 8% do valor do peso da ave. Como o bico da ave é composto de rinoteca e gnatoteca, foi considerado que a rinoteca teria um peso máximo de 4% do valor total do peso da ave.

A maritaca com fratura de rinoteca não foi pesada, então neste contexto, foi ponderado o menor peso que uma maritaca pode ter, e de acordo com o catálogo da Polícia Cível de animais silvestres esse valor é de 140 gramas, considerando 4% deste valor, a prótese deveria ser idealizada com peso máximo para a prótese é de 5,6 gramas.

Para simular o peso total da prótese fabricada em PMMA foi utilizado uma geometria tridimensional simples que se aproximasse do bico da ave, o prisma (ilustrado na figura 21), foi calculado primeiramente o volume total da peça e depois calculado o peso total.

Figura 21 - Ilustração da geometria de um prisma



Fonte: Próprio autor, 2021

O volume do prisma é calculado pela equação 1. Para esse cálculo foi considerado a largura como 20,2 (16,2 mm é a medida da base maior na maritaca na visita *in loco*, somou-se 4 mm, valor considerado de espessura da prótese que será coberto o coto do bico da ave).

$$V = \frac{\text{largura}^2 \sqrt{3}}{4} \times \text{comp} \quad (\text{Eq. 1})$$

O volume total desta prótese é de 4063,79 mm³, ou seja, 4,06 cm³. A densidade do PMMA é de 1,2 g/cm³, o peso total simulado dessa prótese é de 4,87 gramas, equivalente a 3,5% do valor total da ave.

De acordo com o tópico de diagrama de forças indicado no tópico 4.2, pode-se considerar que ao alimentar a maritaca exerce uma força no bico similar à de flexão e ao simular que a maritaca esteja suspensa no bico estaria sendo aplicado uma força de tração no bico da ave. As propriedades do PMMA foram comparadas as forças exercidas pelas duas simulações na tabela 10.

Tabela 10 - Comparação entre as forças exercidas pela simulação e as propriedades do PMMA

Simulação	Força associada	Valor PMMA	Valor simulação
(1) Alimentação força de 1000 N	Flexão	LRF = 46,7 - 139,9 MPa	9,165 MPa
(2) Suspensão da maritaca pelo bico	Tração	LRT = 48,3 - 72,4 MPa	0,337 MPa

Fonte: MARK, 1996; Autor, 2021 (adaptada)

A simulação (1) em que a maritaca se alimenta exercendo uma força de 50 N é apenas uma simulação de um valor estimado e compatível com as propriedades mecânica da matéria pura. Porque uma ave da mesma família de peso similar a maritaca exerce uma força de 16,74 N. Na simulação (2) o valor requerido na simulação é compatível com a propriedade do material puro.

Callister (2000), menciona que o reforço com fibras de vidro orientadas aleatoriamente aumenta a resistência à tração em policarbonatos, como as fibras estão em todas as direções, aumenta também a resistência à flexão.

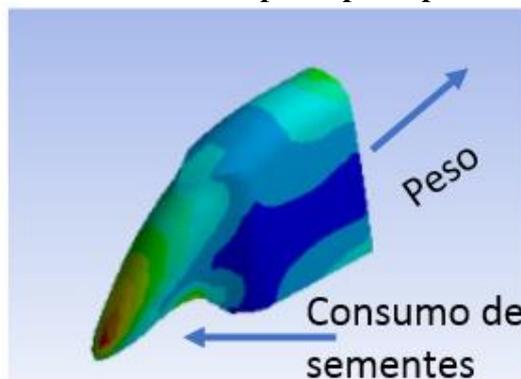
De acordo com JOHN, *et al* (2001) o PMMA possui algumas limitações, e a utilização de fibra de vidro como partícula é alvo de estudo como reforço do PMMA e melhora em suas características.

De acordo com a pesquisa realizada por Unalan et al (2010) 5% de peso de fibra de vidro em formato de fio cortado aumenta a resistência à flexão em 45%, comparado com o material sem reforço.

As fibras alinhadas aleatoriamente são utilizadas quando o material sofre tensões multidirecionais, que é o caso da rinoteca da maritaca. A figura 22 foi exemplifica as duas forças principais aplicadas a rinoteca: alimentação de sementes duras e suspensão do peso da maritaca sobre o bico.

O agente de união silano foi escolhido por ser um material já utilizado na odontologia para melhorar a molhabilidade de pinos de fibra de vidro para contato com resinas acrílicas.

Figura 22 - Forças multidirecionais principais aplicadas a rinoteca da ave



Fonte: Próprio autor, 2021

4.3.2 Seleção de adesivos

O cimento resinoso odontológico é um material usado para fixação de próteses de PMMA na odontologia. É um material biocompatível, resistente e promove a adesão entre o polimetilmetacrilato e a superfície de sistemas biológicos. Ele é composto por macromoléculas que, atuando sozinhas, não são capazes de penetrar as camadas de queratina e não há retenção micromecânica.

O sistema *primer e bond* são compostos por monômeros hidrofóbicos de menor peso molecular que são capazes de penetrar na queratina promovem a adesão às resinas, porém normalmente são ativados via fotopolimerização.

O *primer e bond* é um componente que trabalha no tratamento da superfície dentina (formada basicamente de hidróxido de cálcio) e funciona como adesivo também, ele não foi selecionado para este trabalho por se tratar de um material que está atualmente fora de linha no Brasil e ser específico para a dentina. O tratamento de superfície selecionado para este trabalho será tratado no próximo tópico.

O cimento resinoso quimicamente ativado juntamente com o *primer e bond* quimicamente ativado foi o sistema que suportou uma maior forma de 110,48 N, por isso o adesivo selecionado para a colagem da prótese foi o cimento resinoso odontológico quimioativado, inspirado pelo estudo de Fecchio (2010).

4.3.3 Tratamento de superfície

Para o tratamento de superfície do bico da maritaca foi selecionado materiais inspirado no tratamento de superfície da dentina para próteses de dente, porém adequados a queratina que foi inspirado na técnica estética de alongamento da unha em que são usados produtos bem similares aos da odontologia, porém específicos para a unha que é formada por queratina, com diferenciações na queratina do bico da maritaca apenas na repetição de eixos como descrito no tópico 2.1.4 deste trabalho.

Na tabela 11, tem-se a comparação do tratamento de dentina usado para fixação de próteses dentárias e o tratamento de superfície usado para tratamento da unha para alongamento de unha.

Tabela 11- Características do bico para a seleção de materiais x propriedades do PMMA

Sistema adesivo odontológico	Sistema adesivo de alongamento de unha
Sistema adesivo compatível a resinas acrílica	Sistema adesivo compatível a resinas acrílica
Biocompatível	Biocompatível
Sistema compatível a dentina	Sistema compatível a queratina
Ácido fosfórico 37%: aumenta a reatividade superficial e cria microrugosidade	<i>pH bond</i> retira a oleosidade da unha, cria microrugosidade e aumenta a reatividade superficial
<i>Primer</i> : carrega monômeros hidrofóbicos para o interior da dentina através das microrugosidades	<i>Primer sem ácido (bond)</i> : entra nas microporosidades da unha e adere ao adesivo

Fonte: Próprio autor, 2021

O *ph bond* é um produto utilizado para desidratar a unha, retirar a oleosidade, e funciona como adesivador também, este item será usado primeiramente no coto do bico da maritaca. O *primer* será usado após a secagem do *ph bond* e irá ancorar à unha e funcionará como uma “fita dupla face” que irá aderir ao cimento resinoso.

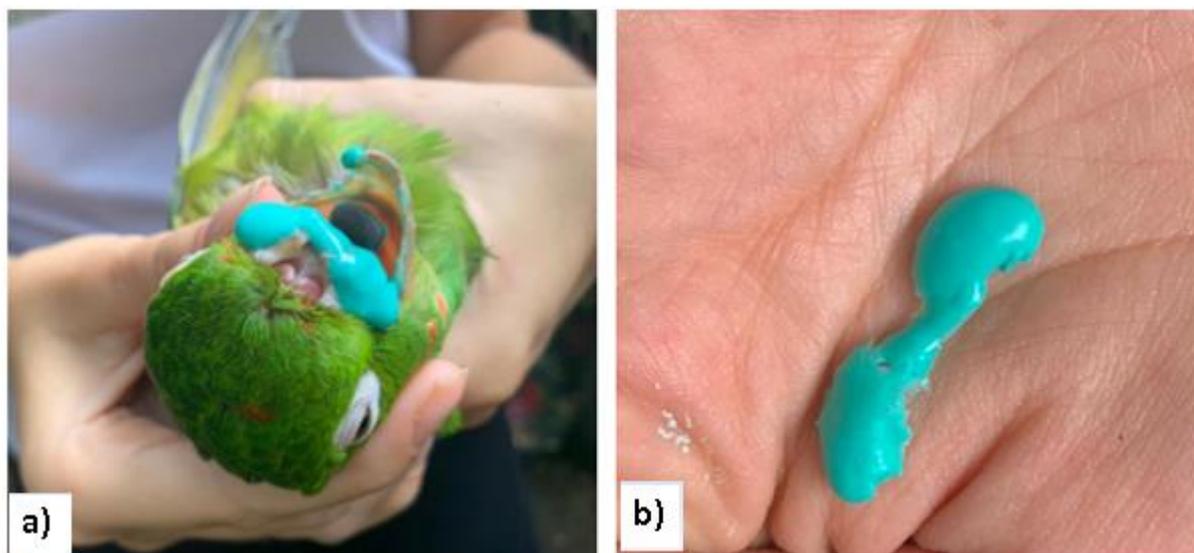
O *ph bond* é composto por álcool isopropílico, acetato de etila e acetato de isopropilil; o *primer* é composto por acetato de etila, acetato de butila e álcool isopropílico. São grupos químicos pequenos que irão adentrar nas microporosidades da queratina e proporcionar retenção mecânica.

4.4 Moldagem e modelagem do bico fraturado da maritaca

4.4.1 Moldagem utilizando alginato odontológico

Na figura 23a tem-se a moldagem in loco na ave e na figura 23b a foto do alginato já retirado do bico da maritaca.

Figura 23 - Moldagem in loco do bico da maritaca com alginato



Fonte: Próprio autor, 2021

O recipiente de alumínio foi projetado no intuito de ser um suporte para a impressão. A ideia inicial era incluir a mistura de alginato e água no recipiente de alumínio e prensar contra o bico da ave, afim de ter as impressões em três dimensões (ou negativo) do coto do bico da maritaca. Porém o nariz da maritaca é aberto, se fosse realizado esse procedimento uma porção do alginato ainda viscoso poderia entrar nas narinas e dificultar a respiração da ave.

A moldagem do bico terminou por ser apenas superficialmente, não sendo possível obter o molde completo do bico, principalmente porque não foi possível medir o local pela falta de instrumentos de medição.

4.4.2 Moldagem utilizando obturador provisório odontológico

As marcas das irregularidades ficaram fixadas na massa de obturação provisório, como pode ser percebido na figura 24.

A utilização do obturador provisório para moldagem teve um melhor resultado que o alginato. Com a massa foi possível pressionar no bico da maritaca sem correr o risco de obstruir

algum canal nasal. E uma impressão de 4 mm de profundidade foi possível obter com esse procedimento.

Figura 24 - Moldagem in loco do bico da maritaca com obturador provisório odontológico



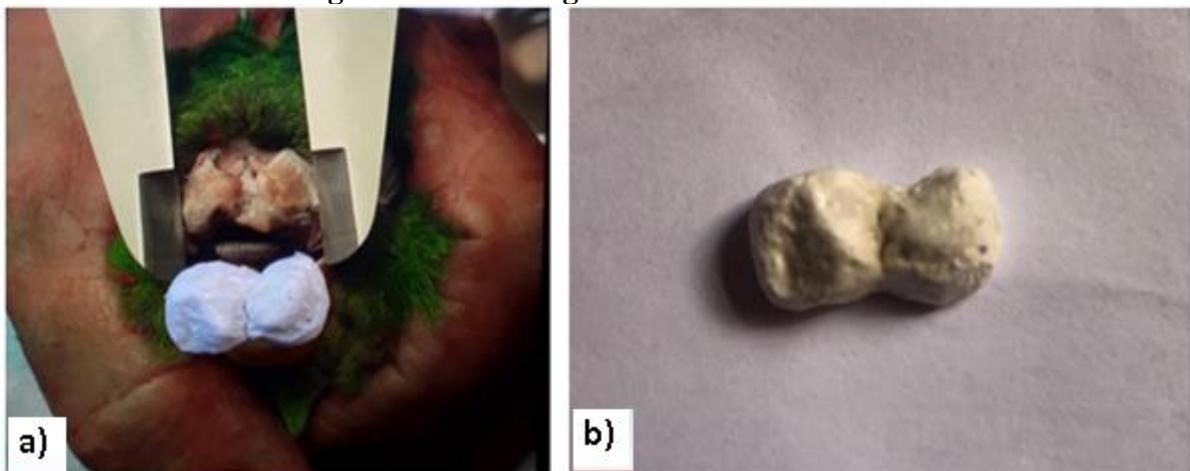
Fonte: Próprio autor, 2021

Nas medições realizadas com o paquímetro é possível perceber que as profundidades laterais são de 5,9 mm a 6,5 mm, ou seja cerca de 2 mm não foram cobertos pela massa odontológica.

4.4.3 Modelagem do coto da maritaca

Abaixo na figura 25a tem-se uma comparação do coto produzido com gesso. Na figura 25b tem-se a peça final produzida (modelo).

Figura 25 - Modelagem do coto da maritaca



Fonte: Próprio autor 2021

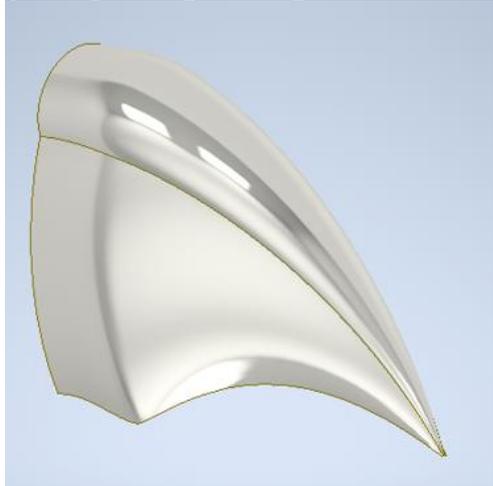
A produção deste modelo da rinoteca fraturada da maritaca é de extrema importância para testes das próteses sem a necessidade de conter a maritaca, evitando estresse ao animal e evitar a visita a ONG de acordo com os protocolos de distanciamento social.

4.5 Design do projeto 3D da prótese

4.5.1 Protótipo 1 e testes *in loco*

O design do protótipo 1 em formato de casca e o desenho a partir da plataforma *Inventor* está representado na figura 26

Figura 26 – Design do protótipo 1 da prótese de rinoteca de maritaca



Fonte: Inventor, 2021

Na figura 27 tem-se representado qual foram as medida considerada para as dimensões que estão descritas na tabela 12. Foram impressos 5 protótipos e cada protótipo foi numerado do maior para o menor.

O protótipo de melhor configuração estética foi o Bico 3, com as dimensões 21,80 mm x 13,70 mm x 19,02 mm. Esse bico foi modificado *in loco* e aumentado sua largura para que se encaixasse melhor no coto da maritaca, a altura foi minimizada para se adequar melhor ao crânio da ave. As dimensões finais do Bico 3, após essas modificações, foram de 21,50 mm x 21,40 mm x 16,00 mm.

Na figura 28 tem-se o protótipo Bico 3 posicionado na maritaca.

Figura 27 – Protótipo 1 impresso com indicação das medidas



Fonte: Próprio autor, 2021

Tabela 12 - Dimensões dos protótipos

Identificação	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
Bico 1	26,50	16,80	21,10
Bico 2	24,15	14,92	19,02
Bico 3	21,80	13,70	17,80
Bico 4	21,30	13,60	17,80
Bico 5	18,30	12,50	15,90

Fonte: Próprio autor, 2021

Figura 28 - Protótipo Bico 3 posicionado na maritaca após ajustes



Fonte: Próprio autor, 2021

As modificações observadas pela visita in loco, juntamente com as informações passadas pelo médico veterinário da ONG foram:

- (1) A prótese precisa ter uma altura menor, pois a protótipo ficou acima da linha da narina.
- (2) A largura da prótese deveria ser maior para encaixar a prótese ao bico fraturado.
- (3) Deve se projetar uma abertura para as narinas, isso irá evitar que o uso da prótese dificulte a respiração da maritaca.

4.5.2 Protótipo 2 e testes in loco

A altura e a largura do *design* do protótipo foram alteradas. E a cavidade das narinas foi realizada em formato de “U”. Na figura 29 o desenho da prótese do bico pela plataforma *Inventor* após essas alterações.

Figura 29 - Design do protótipo 2 da prótese de rinoteca de maritaca



Fonte: Próprio autor, 2021

Esse protótipo foi projetado parcialmente em formato de casca, apenas no local de encaixe. O restante do comprimento da prótese era sólido. Neste modelo o objetivo era testar o encaixe da prótese ao bico fraturado da maritaca, por isso não foi realizada medições pois não foi necessário.

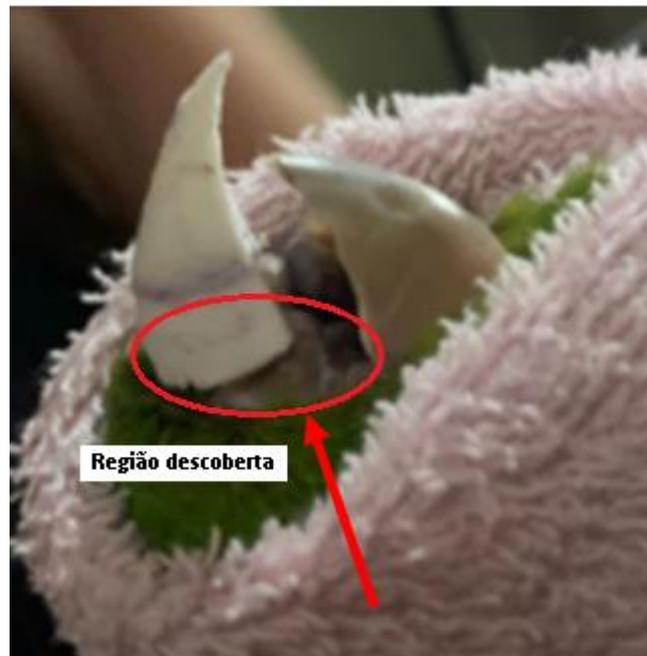
Na figura 30 está representado os protótipos impressos em diferentes escalas. O protótipo que teve melhor resultado estético ao testar no rosto da maritaca foi o de diâmetro interno de 14,9 mm, comprimento de 24,00 mm, e a altura de 7,50 mm, representado na figura 31.

Figura 30- Protótipos do *design 2* impressos em diferentes escalas



Fonte: Próprio autor, 2021

Figura 31 - Prótese em que teve o melhor resultado estético



Fonte: Próprio autor, 2021

Figura 32 – Protótipo 2 evidenciado o encaixe para o bico fraturado da maritaca



Fonte: Próprio autor, 2021

A seta na figura 31 expõe uma porção do bico que ficou descoberto. O diâmetro interno desse protótipo é menor que a largura do bico da ave. Na figura 32 é possível verificar a porção da prótese dedicada para o encaixe do bico.

A estrutura parcialmente oca foi definida porque o material que será utilizado como sistema adesivo é o cimento resinoso. Então essa resina adesiva irá entrar em todas as arestas e deformidades do bico fraturado da maritaca.

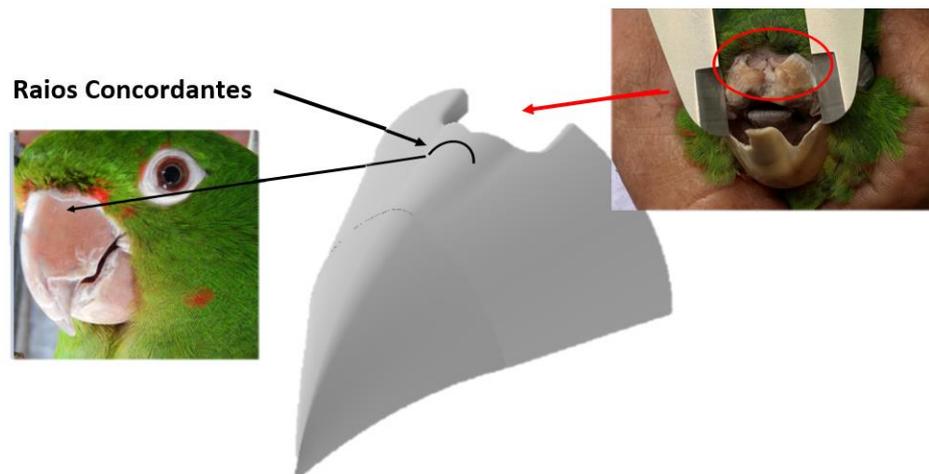
As modificações necessárias observadas através da visita in loco e dos testes de encaixe com o modelo de gesso foram:

- (1) A largura da prótese deveria ser maior para encaixar a prótese ao bico fraturado.
- (2) A abertura para as narinas precisa ser maior (8 mm), isso irá evitar que o uso da prótese dificulte a respiração da maritaca.
- (3) O encaixe deve ser adequado para os 6,5 mm do bico fraturado da maritaca

4.5.3 Design da prótese 3D

O design da prótese final foi realizado utilizando o software *Inventor* e os detalhes estão expostos na figura 33, é possível observar os raios concordantes existentes também no bico original, e a abertura para que as narinas não fiquem tampadas.

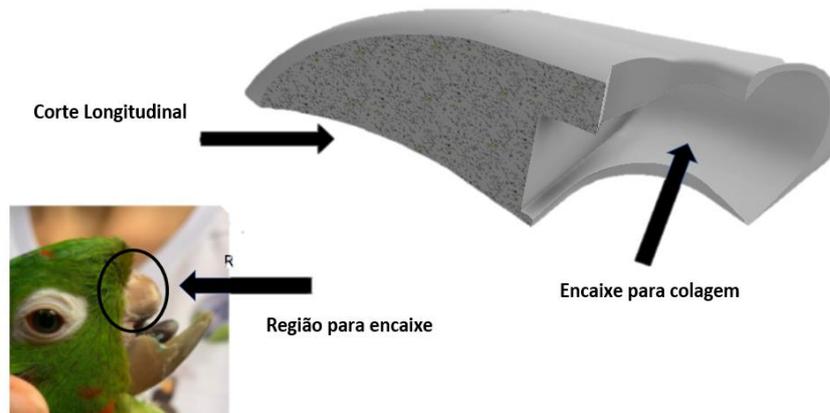
Figura 33 – Design da prótese final evidenciando corte para as narinas



Fonte: Próprio autor, 2021

Na figura 34 a prótese em corte longitudinal evidenciando o detalhe do encaixe para o bico da ave.

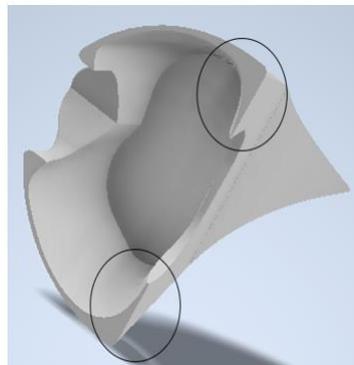
Figura 34 – Design da prótese em corte longitudinal



Fonte: Próprio autor, 2021

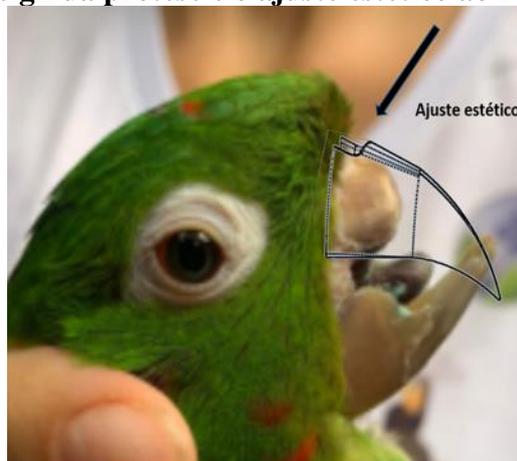
Na figura 35 está evidenciado a entrada da prótese para dentro da boca da maritaca. Essa adaptação foi realizada com o intuito de haver uma retenção mecânica da prótese. Na figura 36 tem-se uma simulação de como ficaria esteticamente essa prótese na ave.

Figura 35 – Design da prótese adesão mecânica



Fonte: próprio autor, 2021

Figura 36 – Design da prótese e o ajuste estético ao rosto da maritaca



Fonte: Próprio autor, 2021

As maritacas possuem uma glândula dentro da boca que está localizada na rinoteca. A adaptação na prótese para facilitar a retenção mecânica está posicionada de forma que não obstrua essa glândula.

4.6 Fabricação da prótese

Na figura 37 tem-se o resultado da prótese pronta fabricada em compósito de polimetilmetacrilato com fibra de vidro.

Figura 37 – Prótese temporária de bico para ave maritaca



Fonte: Próprio autor, 2021

Esteticamente o bico ficou com uma coloração similar ao bico original. Houve alguns defeitos de preenchimento no encaixe, porém, essa parte será preenchida com cimento resinoso durante o processo futuro de fixação.

5 PRÓXIMAS ETAPAS

5.1 Fixação da prótese

Como os produtos de tratamento de superfície utilizado no alongamento de unhas nunca foram testados em um estrato córneo queratinizado é aconselhável que seja realizado um teste de tração entre o bico de uma maritaca morta por causas não relacionadas a doença do bico, sugere-se que o ensaio tenha a superfície de fixação tratada superficialmente com o *pH bond* e o *primer*, e colado a uma peça de PMMA utilizando o cimento resinoso odontológico. Este teste só será utilizado para testar se o tratamento de superfície será eficiente para a adesão entre os materiais.

Para implementação da prótese, será necessário sedação completa da ave. Apesar de não se tratar de uma cirurgia invasiva, a maritaca é um animal silvestre e não domesticado, então não seria possível a contenção total da ave para esse procedimento.

Para tratar a superfície do bico deverá ser usado o desidratador (*pH Bond*) superficialmente, e após isso, o *primer (strong gel)*, é importante que tenha alguma ventilação externa para essa aplicação. O *primer* é seco utilizando uma luz UV por cerca de 2 minutos.

A parte em um recipiente deverá ser misturado a base e o catalisador do cimento resinoso até se tornar um sistema homogêneo (aproximadamente 10 segundos), uma parte da mistura deve ser aplicada na prótese e outra na região do bico. O cimento resinoso deverá ocupar todos os espaços vazios entre o coto do bico e a prótese. Deverá exercer uma força no local para promover uma melhor adaptação (aproximadamente 3 minutos). É recomendado o uso de luz UV nas laterais por cerca de 30 segundos em cada lado.

5.2 Adaptação da ave

A adaptação da ave bico deverá ser observada durante aproximadamente 15 dias. As primeiras horas após os anestésicos perderem o efeito são de extrema importância. Necessária a observação e acompanhamento durante a primeira alimentação e locomoção da ave, já que os psitacídeos utilizam o pé como terceiro apoio.

O sucesso da prótese ocorrerá se a prótese se manter por 6 meses, que é o tempo em que um psitacídeo demora para ser substituída (RITCHIE; HARRISON; HARRISON, 1994)

5.3 Novos estudos de biomateriais aplicados em animais

De acordo com Meyers et al (2006) cita que compósitos de estruturas de animais, como bico de ave, são pouco estudados por cientistas da área de materiais, e aponta que sistemas biológicos são altamente desenvolvidos e podem ser ferramentas para desenvolvimento de novos materiais. E além disso, o estudo de materiais biológicos aumentam a compreensão da interação de materiais sintéticos e estruturas biológicas, com o objetivo de permitir a introdução de sistemas novos e complexos no corpo humano e de animais.

Não há evidências de Estudos de biomateriais em animais no curso de Engenharia de Materiais no CEFET-MG, espera-se que este trabalho seja o precursor nesta linha de pesquisa, podendo sugerir temas futuros como:

- Adição de carbetos de silício no PMMA e avaliar sua biocompatibilidade
- Seleção de materiais para próteses estruturais em animais
- Tipo de técnicas para modelagem *in loco* em animais
- Técnicas de fabricação de próteses por impressão 3D
- Sistemas adesivos para bicos de aves
- Viabilidade de osteoindução e osteocondução em fraturas de bicos de aves

6 CONCLUSÕES

A partir deste estudo pode concluir:

- (1) As medições realizadas no bico fraturado e no bico de outra ave foram essenciais para a produção da prótese.
- (2) Pela simulação de forças aplicado ao bico foi observado que o bico precisava suportar minimamente forças de tração de 0,337 MPa e flexão de 9,165 MPa em direções aleatórias.
- (3) O compósito de polimetilmetacrilato (PMMA) com fibra de vidro orientada aleatoriamente possui densidade, resistência mecânica e biocompatibilidade adequada para ser usado como prótese de bico de maritaca. O cimento resino é um candidato para fixar próteses desde que seja tratado a superfície de contato. Devido à similaridade de materiais o tratamento superficial para alongamento de unha pode ser usado no bico da ave para aumentar a adesão ao cimento resinoso.
- (4) Moldagem de fratura de bico com as narinas expostas devem ser feitas com materiais em estado sólido, ou mais viscoso. O material utilizado não pode ser tóxico, pois a ave tenta comer o material.
- (5) Bico de psitacídeo é uma estrutura complexa, e os *softwares* utilizados normalmente em engenharia possuem limitações, que dificultam transcrever essa estrutura.
- (6) A prótese de maritaca é provisória, porque além de haver crescimento da estrutura do bico, a queratina também cresce sempre que houver uma camada germinativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3DLAB. **Conheça os tipos de impressão 3D e os seus benefícios.** 3DLAB: Betim, 2020. Disponível em: <<https://3dlab.com.br/tipos-de-impressao-3d-e-beneficios/>>. Acesso em 06 nov. 2020.
- 3DLAB. **Impressões 3D mais resistentes a influência da altura das camadas.** 3DLAB: Betim, 2020. Disponível em: <<https://3dlab.com.br/impressoes-3d-mais-resistentes/>>. Acesso em 09 nov. 2020.
- ANGELIDI, M.; VASSILOPOULOS, A. P.; KELLER, T. Ductility, recovery and strain rate dependency of an acrylic structural adhesive. **Construction and building materials**, v. 140, p. 184-193, 2017. Disponível em <www.elsevier.com/locate/conbuildmat>. Acesso 30 out. 2020.
- ASAS E AMIGOS. **Principal.** Asas e Amigos: Jaboticatubas, 2020.
- ASHBY, M. **Seleção de materiais no projeto mecânico.** Elsevier: Rio de Janeiro, 2012.
- BEBER, V. C.; SCHNEIDER, B.; BREDE, M. On the fatigue behavior of notched structural adhesives with considerations of mechanical properties and stress concentration effects. In 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON FATIGUE DESIGN, 2017, Senlis. **Procedia Engineering**, v. 213, p. 459-469, 2018. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso 30 out. 2020.
- BRASIL. Lei nº 5.197, de 3 de janeiro de 1967. **Coleção de leis da legislação brasileira.** Casa Civil: Brasília, 1967.
- BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Coleção de leis da legislação brasileira.** Casa Civil: Brasília, 1998.
- BOLSON, J.; SCHOSSLER, J. E.. Osteossíntese em aves. **Arquivos de ciências veterinárias e zoologia da UNIPAR**: Umuarama, v. 11, n. 1, p. 55-62, jan. jun. 2008.
- CALLISTER Jr, W.. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** LTC: Rio de Janeiro, 2000.
- CAPATTO, T. **Drones e a impressão 3D na agricultura.** Impressão 3D printer: São Paulo, 2017. Disponível em: <<https://impressao3dprinter.com.br/blog/2017/04/06/drones-e-a-impressao-3d-na-agricultura/>>. Acesso em 30 nov. 2020.
- CARRIL, J.; DEGRANGE, F.; TAMBUSI, C. Jaw myology and bite force of the monk parakeet. **Journal of anatomy**: Bethesda, v. 227, p. 34-44, jul. 2015.
- CASTILLO, K. A. et al. A influência da alteração de temperatura da resina acrílica autopolimerizável na resistência adesiva. **Arch health invest**: [nl], v. 2, p. 21-28, 2013.

- COELHO, D. B. **Princípios de reabilitação e tecnologias assistivas**. Universidade Federal do ABC: Santo André, 2018.
- COLES, Brian. **Essentials of avian medicine and surgery**. Blackwell publishing: Oxford, 2007.
- CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA VETERINÁRIA. **Ibama cria novas regras para destinação de animais silvestres apreendidos, resgatados ou entregues voluntariamente**. CRMV-MS: Mato Grosso, 2015.
- CROUCILLO, A. P. R. Avaliação das características mecânicas do PLA, impressa em 3D, para aplicação em próteses em animais de pequeno e médio porte. **Tecnologia em metalurgia, materiais e mineração**, v. 15, n. 3, p. 221-225, jul-set 2018.
- CUNHA, J. **Tudo o que você precisa saber antes de fazer alongamento de unhas**. [S. l.], 14 jun. 2009. Disponível em:
<<https://revistamarieclaire.globo.com/Beleza/noticia/2019/06/tudo-o-que-voce-precisa-saber-antes-de-fazer-um-alongamento-de-unhas.html#:~:text=O%20mais%20tradicional%20alongamento%20de,%C3%A9%20feita%20com%20luz%20natural>>. Acesso em: 27 mar. 2021.
- DAVIDE, L. M. **Controle genético de caracteres associados à dureza dos grãos e à degradabilidade ruminal de milho tropicais**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, 2009.
- DEE, K. C.; PULEO, D. A.; BIZIOS, R. **An introduction to tissue-biomaterial interactions**. Hoboken: New Jersey, 2002.
- DIRETORIA DE SAÚDE DO TRABALHADOR. **Manual técnico de prescrição de órteses, próteses ortopédicas não implantáveis e meios auxiliares de locomoção - diretrizes para a perícia médica**. Instituto Nacional do Seguro Social: Brasília, 2017.
- FRANÇA, R. V. **Cimentos resinosos**. Monografia (Pós-graduação em dentística restauradora) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- FECCHIO, R. **Análise biomecânica da aderência de diferentes sistemas adesivos ao estrato córneo queratinizado do bico de tucano-toco (*Ramphastos toco*)**. Dissertação (Pós-graduação em clínica cirúrgica veterinária) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- FECCHIO, R. *et al.* Inserção de prótese homóloga de gnatoteca em calopsita (*Nymphicus hollandicus*). In XI CONGRESSO E XVII ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE VETERINÁRIOS DE ANIMAIS SELVAGENS, 2008, Santos. **Anais...Santos: ABRAVAS**, 2008a, p. 93-96.

FECCHIO, R. *et al.* Estudo da biomecânica oclusal e da aderência da resina acrílica auto-polimerável (polimetilmetacrilato) em fraturas de rinoteca de tucanos (*Ramphastos toco*).

Pesquisa veterinária brasileira, Rio de Janeiro, v. 38, n. 7, jul. 2008b.

FECCHIO, R.; PRAZERES, R.; GIOSO M. A. Inserção de prótese metálica de rinoteca em periquito da caatinga (*Aratinga cactorum*). In XIII CONGRESSO E XIX ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE VETERINÁRIOS DE ANIMAIS SELVAGENS, 2010, Santos. **Anais...**Campos do Jordão: ABRAVAS, 2009, p. 90.

FECCHIO, R. *et al.* Inserção de prótese metálica em rinoteca de ganso (*Anser cygnoides*). In XV CONGRESSO E XXI ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE VETERINÁRIOS DE ANIMAIS SELVAGENS, 2012, Santos. **Anais...**Santos: ABRAVAS, 2012, p. 23-95.

FERRACANE, J. L.; STANSBURY, J. W., BURKE, F. J. T. Self-adhesive resin cements - chemistry, properties and clinical considerations. **Journal Oral rehabil**, Portland, v. 38, n. 4, p. 295-314, abr. 2011.

GARRÉ, S. O. **Avaliação experimental do desempenho aerodinâmico de turbinas eólicas confeccionadas em prototipagem 3D**. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Dissertação (Pós-graduação em engenharia agrícola) - Universidade Federal de Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, 2019. GENERAL ELECTRIC ADDITIVE. **What is additive manufacturing?** GE Additive, 2020. Disponível em: <<https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing>>. Acesso em 06 nov. 2020.

HECK, N. C. **Propriedades dos materiais**. Notas de aula de introdução a engenharia metalúrgica (Universidade federal do Rio Grande do Sul): Rio Grande do Sul, 20__.

HIBBELER, R. C. **Estática** mecânica para engenharia. Pearson education do Brasil: São Paulo, 2005.

JOHN, J; GANGADHAR, S. A.; SHAH I. Flexural strength of heat-polymerized polymethyl methacrylate denture resin reinforced with glass, aramid, or nylon fibers. **Journal Prosthet Dent**. Bethesda, 2001.

KARDONG, K. **Vertebrados: anatomia comparada, função e evolução**. Guanabara Koogan: Rio de Janeiro, 2016.

KATO, K.; ADACHI, K. **Wear mechanisms**. Tohoku University: Sendai, 2001.

KIM, J; MAI, Y. **Engineered interfaces in fiber reinforced composites**. Elsevier: Oxford, 1998.

- MATOS, G. **Primer ácido x adesivador**: dicas rápidas. Vídeo disponível no youtube, 18 nov. 2018. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=NWOJ4mLwPvA>>. Acesso em 28 mar. 2021.
- MARK, J. E. **Physical properties of polymers**. AIP Press: New York, 1996.
- MEYERS, M. et al. Structural biological composites: an overview. **The journal of the minerals, metals & materials Society**: [nl], v. 58, n. 7, p. 39-40, jul. 2006.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Biodiversidade brasileira**. Governo Federal: Brasília, 2020.
- NGO, T. **Introduction to composite materials**. IntechOpen: [nl], 2020. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.91285>>. Acesso em 26 mar. 2021.
- PARQUE DAS AVES. **Periquitão-Maracanã**. Parque das aves: Foz do Iguaçu, 2020.
- PIRES, A. L.; BIERHALZ, BA. C. K; MORAES, A. M. Biomateriais: tipos, aplicações e mercado. **Química Nova**: São Paulo, v. 38, n. 7; aug. 2015.
- POLÍCIA FEDERAL. **Guia de identificação de aves traficadas no Brasil**. Polícia Federal: Brasília, 2016.
- PORTO, M. **Anatomia comparada do esqueleto da cabeça e da musculatura da mastigação de *Anodorhynchus spix*, 1824, *Ara lacépède*, 1799, *Diopsittaca ridgway*, 1912, *Prophyrrura Miranda-Ribeiro*, 1920 e *Orthopsittaca ridgway*, 1912 (aves: psittaciformes: arinae)**. Tese submetida para obtenção de doutor em ciências no curso de biologia animal: Seropédica, 2014.
- POLYSITE. **Tabela de contração**. Polysite: Santo André, 2017. Disponível em <http://www.polysite.com.br/docs/tabelas_contracao.pdf>. Acesso em 25 mai. 2021.
- PRAZERES, R. *et al.* Técnicas de reconstituição de bico em aves - artigo de revisão. **Journal of the health sciences institute**: São Paulo, v. 4, out.-dez. 2013.
- RADI, P. A. *et al.* Tribologia, conceitos e aplicações. In 13º ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS GRADUAÇÃO DO ITA, São José dos Campos, 2007. **Anais...** São José dos Campos, 2007.
- REDE NACIONAL DE COMBATE AO TRÁFICO DE ANIMAIS SILVESTRES. **Relatório nacional sobre o tráfico de fauna silvestre**. Renctas: Brasília, 2002.
- REZENDE, J. Prótese, prótese, órtese. **Revista de patologia tropical**: Goiania, v. 35, p. 71-72, jan-abr. 2006.
- RITCHIE, B.; HARRISON, G.; HARRISON, L. **Avian medicine: principles and application**. Wingers Publishing: Lake Worth, 1994.

- ROSENDO, C. A. L. et al. Efeitos do modo de ativação da polimerização e envelhecimento acelerado sobre a resistência à tração de cimentos resinosos dual. **Revista semente**: Maceió, v. 6, p. 77-83, 2011.
- SERAFIM, B. M. **Microestruturas porosas de poli (metil metacrilato) depositadas/funcionalizadas por eletrofiação**. Dissertação submetida para obtenção do título de mestre em engenharia e ciência dos materiais: Curitiba, 2016.
- SILANO, Sônia M. Alcântara. Londrina: Angelus, 2020. Bula de remédio.
- SILVEIRA, F. et al. Estudo da aplicação de adesivos estruturais para junção de chapas de carbono: análise da preparação superficial do aderente. **Engevista**, v. 21, n. 1, p. 126-140, fev. 2019.
- RODRIGUES Jr, J. L.; CRUZ, L. M. S.; SARMANHO, A. P. S. Impressora 3D no desenvolvimento das pesquisas com próteses. **Revisbrato**, v. 2, n. 2, p. 398-413, 2018.
- ROSSI Jr, J. L. et al. **Inserção de prótese sintética completa de rinoteca em Ema (Rea americana)**: relato de caso. Laboratório de odontologia comparada da USP: São Paulo, 2008.
- SICK, Helmut. **Ornitologia brasileira**. Editora Nova Fronteira: Rio de Janeiro, 2001.
- SIGMA-ALDRICH. **Methyl methacrylate**. Sigma-aldrich: São Paulo, 2021. Disponível em <<https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/m55909?lang=pt®ion=BR>>. Acesso em 02 abr. 2021.
- SILVA, L. F. M.; OCHSNER, A.; ADAMS, R. D. **Handbook of adhesion technology**. Springer: Heidelberg, 2011.
- SOUZA, J. G. **Anatomia e morfometria do crânio de papagaio-verdadeiro**. Monografia (Medicina veterinária) - Universidade federal de Campina Grande, Patos, 2017a.
- SOUZA, R. A. L et al. Software educativo para seleção de materiais utilizando a metodologia de ASHBY. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, n. 34, p. 35-45, ago. 2017b.
- SOUZA, T. R.; LEÃO, J. C. B.; BEATRICE, L. C. S. Cimentos auto-adesivos: eficácias e controvérsias. **Revista dentística on line**, ano 10, n. 21, p. 20-25, jun 211.
- SUSTAÍTA, D.; HERTEL, F. In vivo bite and grip forces, morphology and prey-killing behavior of North American accipiters (Accipitridae) and falcons (Falconidae). **Journal of experimental biology**: [nl], v. 213, p. 2617-2628, ago. 2010.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Tensão e deformação**. Plataforma e-disciplinas da USP: São Paulo, 2020. Disponível em <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/182782/mod_resource/content/1/Notas%20de%20aula%20de%20tensao%20e%20deformacao.pdf>. Acesso em 30 out. 2020.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Psittaciformes**. Guia de aves do Jardim Botânico IBB: Botucatu, 2020.

VILAR, J. M.; ALTILIA, G.; SPINELLA, G. Aspectos clínicos en la reparación del pico en un Cálao (*Aceros plicatus*, Foster 1781) mediante das técnicas diferentes. **Revista electrónica de veterinaria**, v. 11, n. 1, jan. 2009. Disponível em

<<https://www.redalyc.org/pdf/636/63613103024.pdf>>. Acesso em 29 out. 2020.

WANG, B. *et al.* Keratin: structure, mechanical properties occurrence in biological organisms, and efforts at bioinspiration. **Progress in materials science**, v. 76, p. 229-318, 2016.

WANG H. *et al.* Electrospun poly(methyl metacrylate) nanofibers and microparticles.

Journal of material science. v. 45, p. 1032-1038, 2010. Disponível em

<<https://doi.org/10.1007/s10853-009-4035-1>>. Acesso em 25 mar. 2021.

ZUCCA, R. **Desenvolvimento de impressora 3D de baixo custo para prototipagem de peças para o meio rural**. Dissertação (Pós-graduação em engenharia agrícola) -

Universidade Federal de Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, 2019.

ZUCCA, R. *et al.* Estudo da viabilidade do uso de prototipagem rápida 3D em processos produtivos no meio rural. **Enciclopédia biosfera**, v. 15, n. 28, p. 517, Goiânia, 2018.

ZUSI, R. **The skull**: patterns of diversity in the avian skull. The University of Chicago Press: Chicago and London, 1993.