



# **DESENVOLVIMENTO DE UMA CADEIRA DE RODAS ADAPTÁVEL PARA CÃES POR MEIO DA IMPRESSÃO 3D**

**Lais Tussi**

Trabalho realizado sob a orientação de  
**Professor João Rocha e Silva – IPB**  
**Professor Jorge Henrique de Carvalho Santos – IPB**  
**Professor David Lira Nuñez – UTFPR**

Bragança

2024

# **DESENVOLVIMENTO DE UMA CADEIRA DE RODAS ADAPTÁVEL PARA CÃES POR MEIO DA IMPRESSÃO 3D**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica no âmbito da Dupla Diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Lais Tussi

2024

# DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos melhores amigos que tive nessa vida (In memorian): Fred, Seco, Zorro e Stark. Só conhece o amor verdadeiro quem teve o prazer de desfrutar da amizade e lealdade dos animais. Eles não se importam com o que você tem, apenas com quem você é. Jorge Amado disse em Capitães de Areia que os homens têm uma estrela no lugar do coração e que quando morrem, o coração fica no céu. Eles tinham uma estrela no lugar do coração e agora estão no céu, iluminando o espaço todos as noites, assim como iluminavam minha vida todos os dias. Obrigada por me proporcionarem a melhor das amizades e o melhor dos amores.



in  
loving  
memory



*“Não importa que sejam poucas suas posses e seu dinheiro. Ter um cão torna-o rico.”*

– Luis Sabin

# AGRADECIMENTOS

Um ano atrás sai em busca de um grande talvez. Não fazia ideia do que me aguardava do outro lado do oceano, só sabia as tantas coisas e pessoas que estava deixando para trás. Eu tenho plena certeza de que o mundo é um lugar espetacularmente bonito, mas grande parte da beleza está nas companhias que nos acompanham pela vida. E tenho sorte, pois as minhas companhias sempre tornaram tudo mais belo, fácil e divertido e é a elas a quem quero agradecer por essa jornada. Estive em 14 países e ainda assim não encontrei lugar melhor que ao lado de vocês.

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais Arlete e Leonir, meus irmãos Jéssica e João Lucas, meu cunhado Ullisses, meu sobrinho Gael e aos meus avós Antonio e Nivaira, que foram meus pilares durante todo o tempo, me apoiando em cada pequeno passo e ideia e confiando em mim quando eu mesma não confiava. Sem vocês não teria chego em lugar algum, sou imensamente grata a família com a qual Deus me presenteou.

Agradeço aos meus orientadores de Portugal, os professores João Rocha e Jorge, por todo conhecimento repassado, pelas tardes e risos no FabLab e pela paciência ao longo desse ano. Foi ótimo os conhece-los nessa caminhada. E ao meu coorientador do Brasil, professor David, que desde o início da graduação na UTFPR sempre me forneceu suporte e conselhos.

Agradeço aos Amigos do André, o melhor grupo que já existiu. Se não fossemos ligados pelo sangue eu escolheria vocês de qualquer modo. Obrigada por me mostrarem que distância nenhuma muda o que construímos ao longo do tempo.

Agradeço aos meus amigos que apesar dos km's permaneceram na minha vida, através de mensagens, ligações e piadas. Mariê Fernanda, Yankha, Lorena, Stella, Francini, Guilherme, Elisa, Rodrigo, Gabriel e Jean. As pessoas dizem que tudo passa, vocês não, vocês ficam para sempre, tenho certeza disso!

Agradeço a Dani, que sempre confiou em mim e sempre me disse que eu era capaz e que todas as vezes que cogitei ousar desistir me mostrou a direção. Você foi essencial nesse processo.

Agradeço aos amigos que fiz na terra dos amigos para sempre: Agatha, Kacper, Ingrid, Erika, Larissa, Maria Julia, Livya, Ana e Maria Isabel. Vocês tornaram a distância mais fácil de ser suportada com risos, companhia e passeios. Obrigada!

Agradeço a Deus por todas as bênçãos que ocorreram nessa jornada e por Ele sempre me colocar no lugar e na hora certa.

E a todos que de alguma forma contribuíram para que esse trabalho fosse concluído, meu muito obrigada. A felicidade só é real quando compartilhada e essa felicidade eu compartilho com todos aqueles que amo.

*“O segredo é rodear-se de pessoas que te  
façam sorrir o coração. É então, e só então,  
que estará no país das maravilhas.”  
– Alice no país das maravilhas*

# RESUMO

A impressão 3D surge como uma solução inovadora para a criação de cadeiras de rodas caninas personalizadas, proporcionando uma melhoria significativa na qualidade de vida e independência diária dos cães. O papel dos cães como melhores amigos do homem nos lares familiares, impulsionou a busca por soluções que atendam às necessidades específicas desses animais, agora considerados membros da família. Um dos grandes problemas nos casos de cães com problemas locomotores, são as diferentes necessidades de cada animal, bem como seus diferentes portes e pesos. Assim a impressão 3D surge como uma aliada, permitindo a produção personalizada para cada caso, resultado da convergência de conhecimentos da Engenharia Mecânica e Medicina Veterinária. Nesse trabalho, foi realizada a concepção e fabricação de uma cadeira de rodas adaptável, especificamente projetada para cães com peso de até 5kg, com possibilidade de adaptação para animais de maior porte e peso. O objetivo principal é disponibilizar essa solução a um custo acessível a qualquer pessoa que precise fornecer mobilidade aprimorada ao seu cão de estimação. Fornecendo assim, uma solução prática e customizada, e contribuindo para a democratização do acesso às tecnologias assistivas, promovendo o bem-estar e a inclusão de cães com necessidades de mobilidade especiais. Para tal foram realizadas medidas em um cão de 5kg e posteriormente modelado um protótipo em um software CAD. Foram realizadas simulações numéricas em duas das peças da cadeira de rodas a fim de estudar a resistência das peças modeladas antes da fase de impressão. Após realizada a análise, as peças foram impressas em uma impressora 3D e a montagem da cadeira de rodas foi realizada para testes em um cão. As peças e um guia de montagem da cadeira de rodas foram disponibilizados em um site para quem se interesse e precise de tal tecnologia para seu cão.

**Palavras-chave:** Impressão 3D, Cadeira de rodas, Cães, Problemas locomotores.

# ABSTRACT

3D printing emerges as an innovative solution for creating customized canine wheelchairs, significantly improving the quality of life and daily independence of dogs. The role of dogs as man's best friends in family homes has driven the search for solutions that meet the specific needs of these animals, now considered family members. One of the major challenges in cases of dogs with mobility issues is the varying needs of each animal, as well as their different sizes and weights. Thus, 3D printing emerges as an ally, allowing for personalized production for each case, resulting from the convergence of Mechanical Engineering and Veterinary Medicine knowledge. In this work, the conception and manufacturing of an adaptable wheelchair specifically designed for dogs weighing up to 5kg were carried out, with the possibility of adaptation for larger and heavier animals. The main objective is to make this solution available at an affordable cost to anyone who needs to provide enhanced mobility to their pet dog. This provides a practical and customized solution, contributing to the democratization of access to assistive technologies, promoting the well-being and inclusion of dogs with special mobility needs. To achieve this, measurements were taken on a 5kg dog, and subsequently, a prototype was modeled in CAD software. Numerical simulations were conducted on two of the wheelchair parts to study the strength of the modeled parts before the printing phase. After the analysis, the parts were printed using a 3D printer, and the wheelchair assembly was carried out for testing on a dog. The parts and an assembly guide for the wheelchair were made available on a website for those interested and in need of such technology for their dog.

**Keywords:** 3D printing, Wheelchair, Dogs, Mobility issues.

# CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Justificativa.....	4
1.2 Objetivos.....	5
1.2.1 Objetivo geral .....	5
1.2.2 Objetivos específicos .....	5
1.3 Estrutura da dissertação .....	6
2. ESTADO DA ARTE.....	7
2.1 História e tecnologia da impressão 3D .....	7
2.1.1 Etapas da impressão 3D.....	7
2.1.2 Tecnologias de impressão.....	9
2.1.2.1 Sinterização Seletiva a Laser (SLS).....	9
2.1.2.2 Estereolitografia (SLA).....	10
2.1.2.3 Modelagem por Fusão e Deposição (FDM).....	11
2.1.3 Impressão 3D na área da saúde.....	13
2.2 Impressão 3D aplicada em próteses caninas.....	14
2.3 Biomecânica canina .....	18
2.4 Locomoção canina .....	19
2.5 Amputação canina .....	21
2.6 Aspectos construtivos de próteses e tipos de próteses.....	23
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
3.1 Metodologia.....	27
3.2 Materiais.....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1 Modelagem da cadeira de rodas .....	32
4.2 Materiais utilizados e custos.....	33
4.2.1 Próteses existentes no mercado.....	34

4.2.2 Fabricação de prótese contratando um serviço terceirizado.....	36
4.2.3 Comparação de valores entre os três métodos.....	39
4.3 Simulação numérica.....	40
4.4 Testes de impressão.....	46
4.5 Impressão.....	47
4.6 Montagem da cadeira de rodas.....	50
5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	57
5.1 Trabalho desenvolvido.....	57
5.2 Trabalhos futuros.....	57
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
ANEXO.....	68

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Índia amamentando filhote de porco do mato, o que supostamente ocorreu no passado com os lobos. ....	2
Figura 2- Representação das principais etapas do processo de manufatura por camada. ....	9
Figura 3 - Esquema de funcionamento processo SLS. ....	10
Figura 4 - Esquema de funcionamento processo SLA. ....	11
Figura 5 - Princípio do processo FDM. ....	12
Figura 6 - Deposição de filamento. a) Trajetória de deposição. b) Esquema de deposição do preenchimento em duas camadas. ....	12
Figura 7 - (A) Derby com a sua deficiência congênita. (B) Primeiro modelo feito que possibilitava alguma locomoção de Derby. (C) Derby com suas próteses impressas em 3D, desenvolvidas sob medida. ....	15
Figura 8 - Guzzy e sua prótese em impressão 3D (exemplo 2). ....	16
Figura 9 - Yorkshire e sua prótese em impressão 3D (exemplo 3). ....	16
Figura 10 - Prótese desenvolvida em impressão 3D (exemplo 4). ....	17
Figura 11 - Prótese feita para Boris, no trabalho de conclusão do curso em 2022. ....	18
Figura 12 - Fases da locomoção canina. ....	20
Figura 13 - Cão com amputação baixa. ....	22
Figura 14 - Cão com prótese de soquete. ....	25
Figura 15 - Prótese real que será otimizada. ....	27
Figura 16 - Cães utilizados para medidas. ....	28
Figura 17 - Fluxograma do método utilizado para desenvolvimento do trabalho. ....	30
Figura 18 - Modelagem da cadeira de rodas. ....	33
Figura 19 - Prótese produzida pela Pineal3D. ....	35
Figura 20 - Prótese fabricada pela Ortoprime. ....	35
Figura 21 - Prótese fabricada pela PetDoctors. ....	36
Figura 22 - A) Custo da impressão do suporte na plataforma Makershop; B) Custo da impressão do suporte na plataforma Imprimakers. ....	37
Figura 23- A) Custo da impressão da roda na plataforma Makershop; B) Custo da impressão da roda na plataforma Imprimakers. ....	37

Figura 24 - A) Custo da impressão da cantoneira na plataforma Makershop; B) Custo da impressão da cantoneira na plataforma Imprimakers. ....	38
Figura 25 - A) Custo da impressão do camber na plataforma Makershop; B) Custo da impressão do camber na plataforma Imprimakers. ....	38
Figura 26 - A) Custo da impressão do grampo na plataforma Makershop; B) Custo da impressão do grampo na plataforma Imprimakers. ....	38
Figura 27 - Simulação do suporte com a aplicação do peso do animal. ....	41
Figura 28 - Simulação da aplicação de forças externas além da do peso do cão. ....	42
Figura 29 - Simulação da roda com a aplicação do peso do cão. ....	43
Figura 30 - Simulação da aplicação de forças externas na roda além da força do peso do cão. ....	44
Figura 31 - Opção de compra nº1 de rodas para cadeira de rodas. ....	45
Figura 32 - Opção de compra nº2 de rodas para cadeira de rodas. ....	45
Figura 33 - Opção de compra nº3 de rodas para cadeira de rodas. ....	46
Figura 34 – Testes de dimensão da impressora 3D. ....	47
Figura 35 - Impressora utilizada para impressão das peças em PLA. ....	47
Figura 36 - Torre de temperatura de PLA (190-215). ....	48
Figura 37 - Parâmetros de impressão utilizados. ....	49
Figura 38 - Peças impressas para montagem; A) Suporte; B) Camber; C) Rodas; D) Tampão; E) Cantoneiras; F) Grampos para tecido. ....	50
Figura 39 - A) alumínio para corte; B) Realizando marcação das medidas; C) Alumínio com a marcação das duas hastes. ....	51
Figura 40 - A) Corta-tubos; B) Fixação do alumínio na morsa de bancada; C) Corte do alumínio; D) Realizado o corte de uma das hastes de sustentação; E) As duas hastes cortadas. ....	51
Figura 41 - A) Haste e suporte; B) C) Acoplamento da haste no suporte; D) Retirando medidas de acordo com a altura do cão; E) Realizando o corte do alumínio; F) Alumínio cortado pronto para montagem. ....	52
Figura 42 - A) Hastes cortadas nos tamanhos adequados; B) Demarcação para realizar os furos; C) Furação com furadeira de bancada; D) Realização de rosqueamento; E) Hastes prontas para uso. ....	52
Figura 43 - Acoplamento e fixação do suporte as hastes. ....	53
Figura 44 - Acoplamento dos grampos. ....	53

Figura 45 - A) Peças a serem acopladas; B) Passando a super cola para fixação das extremidades; C) Peças acopladas; D) Haste traseira acoplada ao resto da estrutura. ...	54
Figura 46 - A) Peças a serem utilizadas; B) Acoplamento do camber ao alumínio; C) União de todas as peças; D) Cola para fixação da haste de alumínio para que não haja movimentação da peça; E) Acoplamento da roda ao resto da estrutura; F) Estrutura quase completa. ....	54
Figura 47 - Cadeira de rodas após montagem. ....	55
Figura 48 - Teste de tamanho e acomodação da cadeira de rodas no cão. ....	55
Figura 49 - Segundo teste da cadeira de rodas. ....	56
Figura 50 - Terceiro e último teste da cadeira de rodas.....	56

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Medidas dos 5 cães.....	29
Tabela 2 - Materiais utilizados. ....	31
Tabela 3 - Materiais utilizados para a confecção da prótese. ....	34
Tabela 4 - Preços para compra de próteses.....	36
Tabela 5 - Preço total da impressão da prótese baseado nos valores fornecidos pelas plataformas de simulações.....	39
Tabela 6 - Custo dos materiais adicionais, além do PLA.....	39
Tabela 7 - Comparação dos 3 métodos de impressão e fabricação da cadeira de rodas. ....	40
Tabela 8 - Escolha de temperatura de acordo com análise da impressão da torre de temperatura. ....	49

## Lista de abreviaturas e siglas

3D	Três dimensões
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
ASA	Acrilonitrilo Estireno Acrilato Nitrilo
CAD	Projeto Assistido por Computador
FDM	Modelagem por Fusão e Deposição
IPB	Instituto Politécnico de Bragança
ITAP	Prótese de Amputação Transcutânea Intraóssea
PLA	Ácido Polilático
SLA	Estereolitografia
SLS	Sinterização Seletiva a Laser
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

# Capítulo 1

## 1. INTRODUÇÃO

A interação entre humano-cão ainda é debatida e estudada até os dias atuais. De acordo com estudos recentes sugere-se que o processo de domesticação tenha ocorrido de maneira independente, tanto na parte oriental como na ocidental da Eurásia, há cerca de quinze mil anos atrás (Frantz, et al., 2016). Muitos pesquisadores, entre eles Galibert, Quignon, Hitte & André (2011) têm a ideia que o cão foi o primeiro animal a ser domesticado.

Robert Wayne, um biólogo da Universidade da Califórnia, juntamente com sua equipe analisaram o gene IGF1, sendo esse o gene responsável pelo tamanho do esqueleto dos cães domésticos, como foi mostrado em pesquisas anteriores. Nesse experimento foram analisados em torno de 900 cães de 85 raças e de lobos pertencentes a 3 continentes diferentes (Wayne & Vila, 2001).

Com esse estudo realizado por Robert e sua equipe, foi possível perceber que mesmo sendo de raças distintas são todas extremamente semelhantes entre si. O material genético dos lobos e dos cães diferem apenas em 1%, sendo os cães selecionados, treinados e domesticados pelos homens, até chegar ao momento de evolução atual, de cães domésticos (Wayne & Vila, 2001).

São várias as hipóteses de como, de fato, ocorreu a domesticação dos cães. Uma delas é que inicialmente os lobos se aproximaram dos acampamentos humanos, em busca de restos alimentares e a partir daí os lobos (cães primitivos) passaram a reduzir a distância entre eles e os humanos (Cruz, 2007).

Outra teoria é a de que como as matilhas de lobos ameaçavam a vida humana, os homens para se defender os caçavam, matando os lobos adultos e deixando os filhotes órfãos que atraídos pelos odores que as atividades humanas produziam acabavam por se aproximar. No livro de Mary Elizabeth Thurston (*The lost history of the canine race*) sugere-se que a aproximação lobo-humano ocorreu devido às mulheres que através da adoção do animal, amamentava-os com o próprio leite, como ilustra a Figura 1, aproximando assim a espécie e domesticando-a (Silva D. P., 2011).



**Figura 1 - Índia amamentando filhote de porco do mato, o que supostamente ocorreu no passado com os lobos.**

**Fonte: (Junqueira, 2012)**

Independente da maneira, o fato é que os cães adentraram na vida dos humanos com tanta veemência que acabaram por se tornar o melhor amigo do homem. Esse título foi concedido quando um senador (na época advogado), George Graham Vest, participou da defesa de um fazendeiro que buscava justiça pela morte do seu cão que havia sido morto por um vizinho e em um discurso que comoveu a todos, tornou o cão, o animal conhecido como “melhor amigo do homem” por qualquer pessoa que ouça essa frase (Mazon, 2020).

Senhores jurados, o melhor amigo que um homem tem neste mundo pode voltar-se contra ele e tomar-se seu inimigo. Aqueles que estão mais próximos e são mais amados por nós – aqueles a quem nós confiamos nossa felicidade e nosso bom nome – podem tornar-se traidores desta confiança. O dinheiro que um homem tem, pode perder [...]. O único amigo desinteressado que um homem pode ter neste mundo egoísta – aquele que nunca é ingrato ou traiçoeiro – é seu cão. Senhores jurados, o cão permanece com seu dono na prosperidade e na pobreza, na saúde e na doença. [...] ele lambe as feridas e as dores que aparecem nos encontros com a violência do mundo. [...] Quando todos os amigos o abandonarem, ele permanecerá. Se a fortuna arrasta o dono para o exílio, sem amigos e sem abrigo, o cão fiel não pede mais do que o privilégio de acompanhá-lo, a fim de protegê-lo contra o perigo, a fim de lutar contra seus inimigos. E quando a cena final se apresenta e a morte leva o dono em seus braços [...] não importa que todos os amigos sigam seu caminho; lá, ao lado de sua sepultura, se encontrará o nobre cão, [...] fiel e verdadeiro até à morte. (Mazon, 2020)

É comum que em quase todas as famílias haja um animal de estimação, sendo esse geralmente um cão. A interação entre humano-cão é uma relação benéfica para ambos os lados, tanto fisicamente como mentalmente. A família cuida do cão e o cão cuida da família e da casa em que habita, protegendo o lar e levando harmonia e felicidade,

principalmente se existem crianças, idosos ou pessoas acometidas de síndromes no lar em questão, onde o cão passa a ser um mediador/coterapeuta – um companheiro doméstico e terapêutico que auxilia as pessoas no dia a dia (Almeida, Paz, & Oliveira, 2020).

Essa valorização dos animais tem incentivado a evolução da tecnologia na medicina veterinária, pois os donos de animais de estimação estão mais propensos a gastar dinheiro com o animal, uma vez que o considerem parte da família. Essa evolução na veterinária, inclui também a indústria de próteses (Teixeira, 2021).

As próteses são aplicadas quando há amputações, deficiências físicas ou traumas. Em qualquer um desses casos a utilização de uma prótese para substituir o membro ausente ou com deficiências é aconselhável. Muitos dos cães que sofreram amputações ou que possuem alguma deficiência ou trauma apresentam um desvio na marcha normal, afetando a distribuição de forças articulares e gerando instabilidade e dor, dessa forma a utilização de uma prótese ofertará qualidade de vida ao animal (Teixeira, 2021).

O desenvolvimento de próteses para animais é uma área de estudo bastante recente e os processos de fabricação convencionais tem um custo um tanto quanto elevado, dessa maneira, um meio de produzir próteses eficazes, de rápida fabricação e baixo custo é através da impressão 3D, que permite a personalização conforme as necessidades específicas de cada animal.

Nesse contexto, a proposta desse trabalho é estudar e desenvolver cadeira de rodas em impressão 3D para cães que possuam porte físico e problemas semelhantes, a fim de melhorar a qualidade de vida do animal e estabilidade. Esse estudo será baseado em conhecimentos adquiridos empiricamente em um projeto anterior com um estudo de caso real.

## **1.1 Justificativa**

A oportunidade de pesquisa surgiu através da percepção da necessidade de um método de auxiliar os cães que não possuem membros posteriores na locomoção diária. Para isso são necessários estudos acerca de cada caso ao qual necessite de uma cadeira de rodas, respeitando as individualidades de cada animal, pois cada um terá uma necessidade específica. Dessa forma a Engenharia Mecânica aliada e Medicina Veterinária torna-se um meio poderoso para a obtenção de cadeiras de rodas eficazes, visto que possui um vasto campo de atuação e conhecimento, podendo auxiliar no campo de projeto da cadeira de rodas e posterior impressão 3D.

Um trabalho desenvolvido em 2022 (Tussi, 2022) foi de extrema importância para análise das verdadeiras necessidades de um cão real que não possui os membros posteriores. Desse modo, considera-se que o desenvolvimento de um novo modelo de cadeira de rodas de membros posteriores é um estudo de interesse da comunidade científica, visto que um novo design, baseado em necessidades observadas em um estudo de caso real pode auxiliar cães de porte semelhante ao do caso de estudo e novos estudos acerca do tema para os mais variados portes de cães. Aumentando assim o acesso e conhecimento da tecnologia 3D a quem possa interessar e podendo esse conhecimento ser expandido a outros tipos de cadeiras de rodas para outros animais.

Sendo uma das principais metas deste trabalho, garantir o livre acesso às peças que compõem uma cadeira de rodas, por meio de plataformas especializadas como o Thingiverse, GrabCAD, Cults 3D, entre outras. Essa abordagem visa divulgar um design de cadeira de rodas de fácil construção, facilitando assim sua produção através da impressão 3D.

Além disso, é importante destacar que a cadeira de rodas desenvolvida neste trabalho é significativamente mais acessível em comparação com as opções disponíveis no mercado. Isso ressalta a importância de buscar alternativas acessíveis e eficazes para auxiliar cães com problemas locomotores, a fim de proporcionar uma maior qualidade de vida, inclusão e bem-estar do animal.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento do projeto de uma cadeira de rodas adaptativa em impressão 3D para cães que não possuem os membros posteriores, de forma que possa ser utilizada diariamente a fim de proporcionar uma melhor qualidade de vida aos animais. O projeto será realizado de modo que a prótese possa ser usada por cães com o mesmo problema e porte semelhante e será disponibilizada na internet para fabricação local.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Os seguintes objetivos específicos direcionam o trabalho a alcançar o objetivo geral:

- Relacionar os conhecimentos da Medicina Veterinária e da Engenharia Mecânica, necessários para o desenvolvimento de próteses caninas;
- Modelagem de prótese virtual para prototipagem;
- Simulação estático linear para esse protótipo utilizando como material o PLA (Ácido Polilático);
- Impressão 3D do projeto de prótese;
- Disponibilização de material arquivo STL para impressão e fabricação local.

### **1.3 Estrutura da dissertação**

A estrutura do trabalho corresponde a 5 capítulos.

O capítulo 1 refere-se à introdução que abrange o contexto do tema ao explicar a relação humano-cão e a sua importância que gera a relevância de objetos que podem ser desenvolvidos com a união da engenharia mecânica e medicina veterinária a fim de melhorar a qualidade de vida do melhor amigo do homem, além da justificativa e dos objetivos desejados.

O capítulo 2 abrange todo o conteúdo necessário para que seja possível compreender o projeto final, desde a história da impressão 3D e aplicação na área da saúde, até os conteúdos veterinários necessários para a compressão das necessidades de uma cadeira de rodas para que seja eficaz e funcional.

O capítulo 3 apresenta o método utilizado para desenvolvimento do trabalho, desde a modelagem até a impressão da cadeira de rodas, onde os resultados obtidos foram apresentados no capítulo 4. Foram apresentadas as modelagens e simulações realizadas, bem como uma projeção de custos acerca da fabricação ou compra da cadeira de rodas e por fim a montagem do projeto.

O capítulo 5 refere-se a conclusão do trabalho e recomendações futuras acerca do tema abrangido.

# Capítulo 2

## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1 História e tecnologia da impressão 3D

A impressão 3D é um processo de manufatura aditiva capaz de conceber objetos físicos, onde a matéria prima é adicionada camada por camada até chegar ao formato do objeto final, isso se dá através de um Projeto Assistido por Computador (CAD – do inglês (*Computer Aided Design*)) (Besko, Bilyk, & Sieben, 2017). Tem como principais vantagens o baixo custo, rapidez no processo de produção e a flexibilidade nos projetos, sendo capaz de criar conforme as necessidades exigidas (Wiltgen & Alcalde, 2019).

Apesar dessa tecnologia estar revolucionando o mercado atual, não se trata de nenhum método inovador, pois já era encontrada no mercado desde a década de 1980. Hideo Kodama foi um dos pioneiros na técnica de cura a laser de um único feixe em 1980 e após 6 anos, em 1986, o processo de estereolitografia (SLA) foi inventado por Charles Hull que fundou a 3D System, a primeira empresa de impressão 3D do mundo (Morandini & Vechio, 2020). Após isso, em 1988, Carl Deckard criou a Sinterização a Laser (SLS) e Scott Crump criou a Modelagem e Fusão por Deposição (FDM) e fundou a empresa Stratasys, sendo essa uma das empresas líder mundial no segmento de impressão 3D (Besko, Bilyk, & Sieben, 2017).

Através da tecnologia de impressão 3D os mais variados objetos podem ser fabricados. Desde objetos simples como moldes até estruturas complexas como peças para carro, casa ou até mesmo partes do corpo humano, além da utilização na medicina para próteses e cirurgias (Morandini & Vechio, 2020).

### 2.1.1 Etapas da impressão 3D

De acordo com Volpato (2007), existem algumas etapas constituintes da impressão 3D, sendo elas:

1. Modelagem 3D: A primeira etapa do processo de impressão 3D é o modelo digital do que será impresso. Essa modelagem do objeto pode ser feita usando softwares CAD ou através de técnicas de scanner/varredura 3D;
2. Preparação do arquivo para impressão: Após a criação do modelo 3D é importante prepara-lo para a impressão. Essa preparação inclui otimização da geometria do modelo, adição de suporte para estruturas suspensas e a criação de um arquivo em um formato que a impressora 3D possa ler, sendo esse geralmente o .STL;
3. Preparação da impressora: Antes de iniciar a impressão é necessário a configuração da impressora de acordo com as especificações do modelo e material a serem utilizados. Isso envolve alguns ajustes como velocidade, configurações de temperatura, espessura de parede e base, resolução, entre outros;
4. Impressão do objeto: Após as regulagens necessárias da impressora e do modelo de impressão, o processo pode ser iniciado. A impressora deposita camada por camada do material de impressão, seguindo as especificações do modelo digital, até que o objeto desejado esteja finalizado.
5. Pós processamento: Após a conclusão da impressão, as vezes são necessários alguns acabamentos no objeto, como por exemplo, remoção de suportes de impressão, lixamento, pintura, polimento, entre outros.

No geral, essas são as etapas básicas do processo de impressão 3D, no entanto, a depender da tecnologia de impressão e do tipo de material utilizado, podem ser necessárias etapas adicionais ou até mesmo diferentes (Volpato, 2007). A Figura 2 é uma ilustração das principais etapas do processo de impressão 3D.



**Figura 2- Representação das principais etapas do processo de manufatura por camada.**

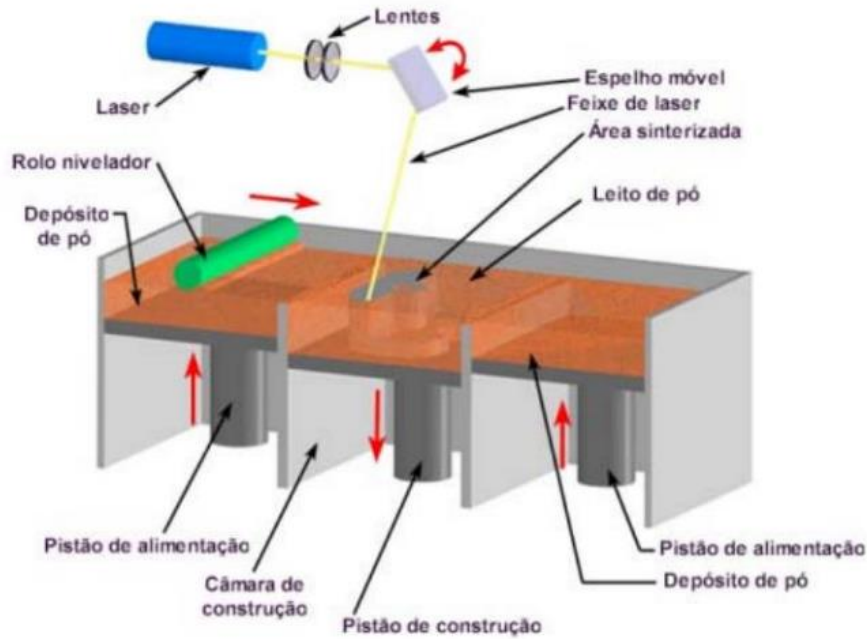
**Fonte: (Volpato, 2007).**

## 2.1.2 Tecnologias de impressão

Existem vários tipos de tecnologias de impressão 3D, sendo as mais utilizadas: SLA, DLP, SLS, SLM e FDM. Nessa seção serão abordadas as três principais, SLA, SLS e FDM com maior ênfase, visto ter sido a tecnologia utilizada para execução deste trabalho.

### 2.1.2.1 Sinterização Seletiva a Laser (SLS)

A técnica SLS é utilizada para construir objetos tridimensionais por meio da superposição de camadas homogêneas de polímeros em pó. O processo começa com a deposição de uma fina camada de pó dentro de um cilindro, que se solidifica ao receber a incidência de um laser. Com a adição de novas camadas de pó depositadas por roletes, o equipamento de emissão de laser gera calor, que liga quimicamente as camadas entre si. Quando a peça estiver completa, o pó não sinterizado que atua como suporte é removido (Raulino, 2011). A Figura 3 mostra o esquema de funcionamento do processo SLS.



*Figura 3 - Esquema de funcionamento processo SLS.*

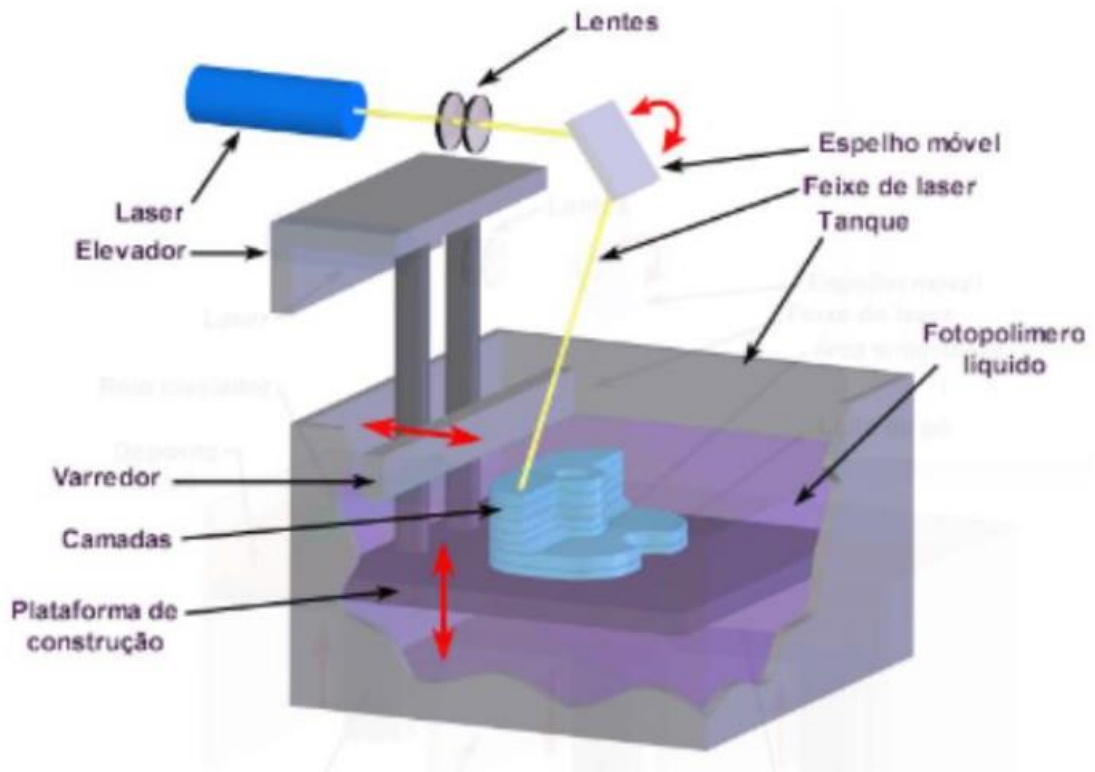
*Fonte: (Porto, 2016).*

Dos métodos de impressão 3D, o SLS é o mais caro, quando comparado ao FDM e SLA, devido aos objetos produzidos nesse método serem mais resistentes, mas com menor acabamento superficial (Volpato, 2007). Devido à sua alta resistência e à possibilidade de utilizar diversos materiais (como elastômeros, cerâmicos, poliamidas e metais com polímeros aglutinantes), a modelagem por SLS é um dos métodos mais utilizados na indústria aeroespacial e automobilística (Grimm, 2005).

#### 2.1.2.2 Estereolitografia (SLA)

A técnica SLA é a pioneira na impressão 3D, sendo até hoje a mais utilizada no mundo. O método se baseia na polimerização de uma resina fotossensível composta por monômeros, fotoiniciadores e aditivos, por meio de um feixe de laser (Badotti, 2003). O método SLA funciona através da polimerização de uma resina fotossensível, que é uma espécie de líquido que endurece quando exposto a luz de um laser. A impressora contém uma cuba com a resina e uma plataforma que se move para cima e para baixo. O computador transmite a primeira camada do objeto a ser impresso para a plataforma e o feixe de laser solidifica a resina correspondente àquela camada. Esse processo é repetido camada por camada até que o objeto esteja completamente

formado (Paiva & Nogueira, 2021). A Figura 4 ilustra o esquema de funcionamento do processo.



*Figura 4 - Esquema de funcionamento processo SLA.*

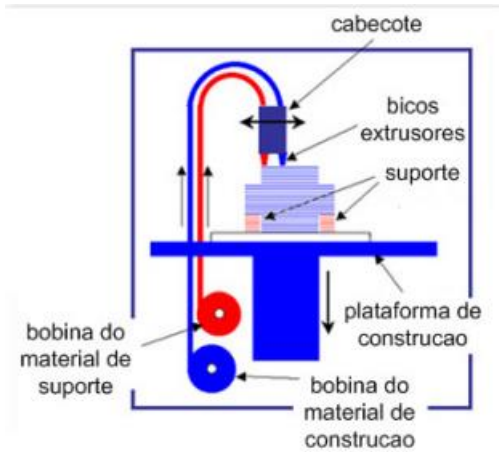
*Fonte: (Porto, 2016).*

A tecnologia SLA é capaz de criar peças com alta precisão e detalhamento, além de permitir a produção de objetos complexos e resistentes. No entanto, o custo de compra, manutenção, operação e materiais tem um custo mais elevado quando comparada a outras tecnologias como FDM e SLS. Por conta dessas vantagens, a SLA é bastante utilizada na indústria médica, na fabricação de próteses, em componentes espaciais e na produção de joias (Karasinski, 2013).

### 2.1.2.3 Modelagem por Fusão e Deposição (FDM)

Os dispositivos de Modelagem por Fusão e Deposição (FDM) são os mais utilizados no mercado, devido ao custo e facilidade do processo. Nesse processo de impressão são utilizados termoplásticos para obter o objeto desejado. A tecnologia FDM funciona através do aquecimento do termoplástico até o estado semilíquido, que é então depositado em camadas sucessivas pelo extrusor da impressora 3D. Durante esse processo, uma impressora pode depositar um pedaço do material como suporte,

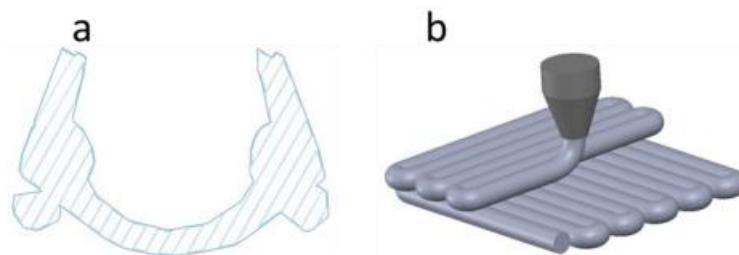
para evitar possíveis erros na impressão. Esses suportes são removíveis após a impressão e podem deixar algumas imperfeições, que precisam ser lixadas para um melhor acabamento visual da peça (Paiva & Nogueira, 2021). A Figura 5 mostra de maneira simplificada o processo de impressão FDM.



*Figura 5 - Princípio do processo FDM.*

*Fonte: (RAULINO, B. R., 2011).*

O método de preenchimento de camada empregado pelo comando numérico da máquina é otimizado para ser predominantemente direcional, o que resulta em peças com comportamento anisotrópico. Na Figura 6(a) é possível observar a trajetória de deposição contínua do filamento ao longo da borda e de forma direcional no preenchimento interno da camada. Enquanto na Figura 6(b) ilustra-se a adição de material em camadas pelo cabeçote de impressão (Lovo & Fortulan, 2016).



*Figura 6 - Deposição de filamento. a) Trajetória de deposição. b) Esquema de deposição do preenchimento em duas camadas.*

*Fonte: (Lovo & Fortulan, 2016).*

A tecnologia FDM apresenta algumas vantagens em relação a outras tecnologias de impressão 3D, como a redução do desperdício de material e menor necessidade de limpeza, além de ocupar menos espaço em comparação a outras tecnologias de impressão 3D. Essa técnica é mais utilizada na produção de objetos que recebem um

acabamento menor, como produtos customizáveis para comercialização e atividades acadêmicas (Raulino, 2011).

### 2.1.3 Impressão 3D na área da saúde

Os primeiros trabalhos da manufatura aditiva na área da saúde começaram em 1990 (Volpato, 2021). A utilização da impressão 3D na área da saúde tem aumentado significativamente, permitindo sua aplicação em diversas áreas da medicina, como a produção de tecidos e órgãos, a fabricação de próteses, e na área da pesquisa farmacêutica (Azevedo, et al., 2018).

A tecnologia 3D tem gerado avanços na área da cirurgia, permitindo inovações em diversos procedimentos. Um exemplo disso é a fabricação de modelos 3D pré-cirúrgicos, que além de possibilitar a realização de testes também otimizam o tempo de cirurgia. Além disso, as técnicas de modelagem de implantes, órteses e próteses personalizadas têm proporcionado maior conforto e acolhimento por parte dos pacientes. Essas pesquisas e aplicações na área da saúde transformaram a prática cirúrgica e melhoraram a qualidade de vida dos pacientes, ao permitir procedimentos mais precisos, eficientes e adaptados às necessidades individuais (Coutinho, 2018).

A bioimpressão tem uma ampla gama de aplicações, abrangendo desde processos simples, como a impressão de instrumentos cirúrgicos, até mesmo a impressão de órgãos. Recentemente, a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) realizou um estudo com o objetivo de viabilizar procedimentos cirúrgicos em missões espaciais de longa duração. Isso se deve ao fato de que os instrumentos convencionais não oferecem uma capacidade completa no ambiente espacial devido a restrições como massa, volume, habilidades, etc (Wong & Pfahnl, 2014).

Essas aplicações destacam a importância do desenvolvimento contínuo da tecnologia de impressão 3D e, mais especificamente, da bioimpressão para o avanço das ciências biomédicas. A capacidade de imprimir estruturas e tecidos vivos oferece um enorme potencial para a medicina regenerativa, transplantes de órgãos e estudo de doenças e terapias personalizadas. À medida que a pesquisa e o desenvolvimento nessa área avançam, espera-se que a bioimpressão desempenhe um papel fundamental na transformação dos cuidados de saúde, fornecendo soluções inovadoras e personalizadas para os pacientes (Vanelli & Maba, 2020).

## 2.2 Impressão 3D aplicada em próteses caninas

Embora a impressão 3D já tenha sido amplamente aceita na medicina humana, sua aplicação na medicina veterinária ainda está em fase de desenvolvimento e adaptação. Um campo promissor é o uso de próteses em casos de amputação de membros, traumas ou deficiências físicas em animais. A utilização de próteses desempenha um papel crucial na melhoria da qualidade de vida dos cães, uma vez que os cães amputados frequentemente apresentam desvios na marcha normal em comparação com cães que possuem as quatro patas. Esses desvios causam instabilidade e dor no animal, afetando sua mobilidade e bem-estar geral. Dessa maneira, a impressão 3D executa um papel importante na fabricação das próteses caninas, proporcionando personalização adaptadas às necessidades individuais de cada cão, agilidade no processo; complexidade nas geometrias, possibilitando detalhes precisos e necessários e custos reduzidos quando comparado aos métodos tradicionais de fabricação, além de inovação constante na área (Teixeira, 2021).

A seguir serão apresentados alguns exemplos de casos reais de utilização de próteses em impressão 3D para cães. O primeiro caso apresentado na Figura 7, trata-se de Derby. Derby é um exemplo bastante conhecido nesse meio, pois trata-se de um cão que nasceu com má formação congênita nas patas dianteiras, o que o impedia de ter uma vida de cão normal, sem poder correr ou brincar livremente. Seu destino mudou quando Derby foi adotado por Tara Anderson, que substituiu a cadeira de rodas de Derby que lhe proporcionava poucos e raros movimentos, por uma prótese em impressão 3D que o permitia correr até 4km por dia (Charelli, 2021).



*Figura 7 - (A) Derby com a sua deficiência congênita. (B) Primeiro modelo feito que possibilitava alguma locomoção de Derby. (C) Derby com suas próteses impressas em 3D, desenvolvidas sob medida.*

*Fonte: (Charelli, 2021).*

Outro exemplo é o caso de Guzzy, uma Chihuahua sem as patas dianteiras, ilustrada na Figura 8. Uma prótese foi desenvolvida para ela, sendo ajustável de acordo com o tamanho do animal e contendo peças intercambiáveis em caso de falha ou fratura. Essa prótese, feita de resina tipo ABS, é leve e resistente, possuindo três rodas que deram apoio aos membros anteriores e à cabeça. Vale destacar que o responsável pela criação dessa prótese disponibilizou o projeto na internet, permitindo que qualquer pessoa interessada possa ter acesso à mesma tecnologia (Canal do pet, 2021).



*Figura 8 - Guzzy e sua prótese em impressão 3D (exemplo 2).*

*Fonte: (Canal do pet, 2021).*

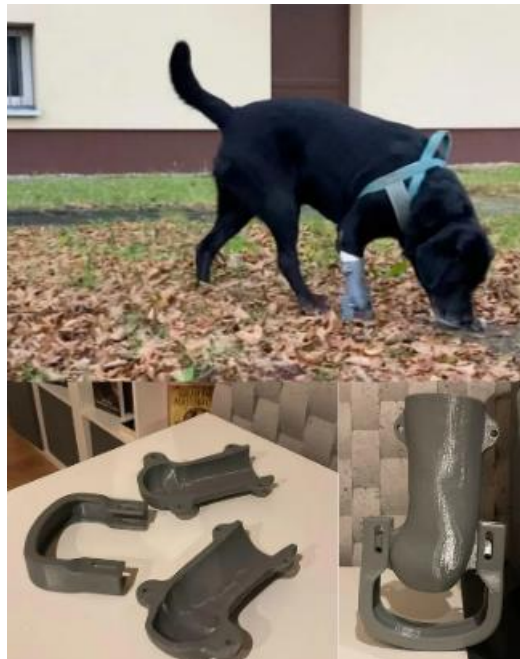
O próximo exemplo é o caso de uma cadela de pequeno porte da raça Yorkshire (Figura 9) que sofreu uma amputação transradial devido a uma reabsorção óssea decorrente de um procedimento mal sucedido. Considerando a biomecânica específica da cadela e os requisitos de resistência e funcionalidade desejados, foi desenvolvida uma prótese utilizando o material ABS e o método FDM (Jimenez, Rivera, Martins, Rubio, & Reis, 2018).



*Figura 9 - Yorkshire e sua prótese em impressão 3D (exemplo 3).*

*Fonte: (Jimenez, Rivera, Martins, Rubio, & Reis, 2018).*

O exemplo mostrado na Figura 10 é do trabalho que um jovem polonês, Maciek Szczepański, vem realizando. Ao observar que na Polônia o trabalho de impressão 3D para cães não era tão desenvolvido, o jovem resolveu criar próteses para cães que precisassem de ajuda, na figura abaixo é possível observar uma prótese desenvolvida para um cão que foi vítima de atropelamento e consequente amputação de membros (Guerra, 2022).



*Figura 10 - Prótese desenvolvida em impressão 3D (exemplo 4).*

*Fonte: (Guerra, 2022).*

O último exemplo é o citado na justificativa deste trabalho. O cão da Figura 11 é o Boris, que sofreu amputação dos membros posteriores após ser atropelado por um carro, gerando instabilidade na coluna. Essa amputação gerou problemas de cicatrização nos membros residuais o que acarretou em diversas dificuldades na hora da customização de sua prótese. Para chegar à prótese final foram realizados diversos testes, até obter-se um protótipo que atendesse às necessidades do cão.



*Figura 11 - Prótese feita para Boris, no trabalho de conclusão do curso em 2022.*

### **2.3 Biomecânica canina**

A biomecânica é uma área de estudo que se dedica à análise das forças e acelerações que ocorrem sobre os organismos vivos. Assim como os objetos inanimados, os animais também estão sujeitos às mesmas regras, leis e forças. A biomecânica pode ser dividida em duas subáreas principais: bioestática e biodinâmica. A biodinâmica, por sua vez, é subdividida em biocinemática e biocinética (Grossman & Sisson, 2000)

Na biocinemática, os movimentos (deslocamento, velocidade, aceleração) são analisados sem considerar as forças que os geraram. Por exemplo, na análise dos movimentos dos membros de um cavalo em marcha, apenas os aspectos cinemáticos são observados (Grossman & Sisson, 2000).

Na biocinética, são tratadas as alterações nos movimentos e as forças que os causam. Por exemplo, analise-se as forças nas pernas de um cão enquanto ele corre, levando em conta tanto os aspectos cinéticos quanto as forças envolvidas. Enquanto a bioestática é o estudo das forças de equilíbrio de um animal, seja ele em repouso ou em movimento. Esse campo de estudo abrange a análise das forças que operam sobre o corpo do animal para mantê-lo em equilíbrio estático ou dinâmico (Grossman & Sisson, 2000).

A abordagem biomecânica está intimamente relacionada com as articulações, pois são nelas que os movimentos ocorrem. Portanto, qualquer deformidade ou fraqueza muscular pode afetar a estabilidade, tanto estática quanto dinâmica, e exigir que o animal busque defesas musculoesqueléticas compensatórias para se manter em diferentes posturas e executar os movimentos necessários (Bombonato, Moraes, & Oliveira, 2005).

## **2.4 Locomoção canina**

O estudo da locomoção é de extrema importância na ciência veterinária, pois permite estabelecer tratamento para distúrbios do sistema motor (Tokuriki, 1973). A locomoção é um processo rítmico de deslocamento de todas as partes do corpo do animal, impulsionando-o continuamente para frente (Inman, Ralston, & Todd, 1998).

A locomoção canina pode ser classificada em dois tipos: simétrica e assimétrica e é dentro destes conceitos que os quatro tipos de locomoção: caminhada, marcha, trote e galope, se distinguem pela velocidade média de deslocamento. Os movimentos simétricos incluem o trote, o passo e a marcha, nos quais os movimentos ocorrem de maneira espelhada nos dois lados do corpo, com intervalos de tempo iguais. Já o movimento assimétrico é exemplificado pelo galope, no qual os movimentos ocorrem de forma distinta em cada lado do corpo, com intervalos de tempo também diferentes (DeCamp, 1997).

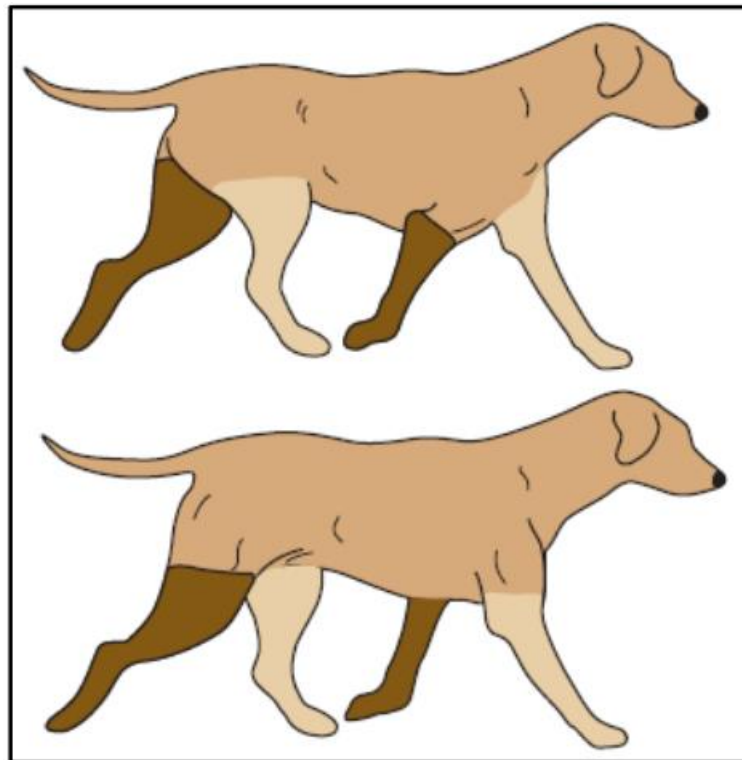
De acordo com Silva (Silva G. C., 2006), os animais escolhem o padrão de locomoção que otimiza a eficiência ou o consumo de energia para cada velocidade de deslocamento. A marcha normal é o movimento eficiente para a frente, caracterizado pelo mínimo gasto de energia durante a locomoção. Qualquer desvio mínimo desse padrão pode ser considerado uma marcha anormal, devido ao aumento no deslocamento do centro de gravidade do corpo que resulta em maior gasto energético, levando a um aumento na demanda metabólica e consequente diminuição na eficiência da locomoção e aumento da fadiga do animal (Gross, Fetto, & Rosen, 2000).

A marcha canina normal ou funcional ocorre quando o membro torácico de um lado realiza movimentos equivalentes ao membro pélvico do mesmo lado, ou em diagonal, quando o membro torácico realiza movimentos contralaterais ao membro

pélvico. Essa marcha equilibrada envolve o suporte adequado das forças (Bombonato, Moraes, & Oliveira, Biomecânica canina, 2005).

O trote pode ser descrito como uma forma acelerada de marcha, na qual o corpo é sustentado por duas ou três pernas. Durante o trote, um par de patas diagonais se encontra na fase de balanço, enquanto o outro par de patas está na fase de apoio (Grossman & Sisson, 2000).

Durante uma fase de apoio inicial, o membro canino começa a fazer contato com o solo. À medida que o membro se apoia completamente, ele recebe a carga e inicia a transferência de peso para os outros membros, preparando-se para a fase de propulsão. Durante essa fase, o membro realiza um balanço e inicia uma extensão para acomodação ou desaceleração, preparando-se para um novo apoio e início de um novo ciclo de movimento. A fase em que a pata toca o solo e permanece em contato com ele é chamada de fase de apoio, enquanto a fase em que a pata está no ar é chamada de fase de balanço. O passo, por sua vez, consiste em todas as fases de apoio das patas juntas (Silva G. C., 2006). Na Figura 12 é possível visualizar os membros que estão na cor mais clara estão na fase de apoio enquanto os que estão na cor mais escura estão na fase de balanço.



*Figura 12 - Fases da locomoção canina.*

*Fonte: (Dal Corso, 2019).*

Compreender a locomoção canina é de suma importância para o diagnóstico de diversas patologias, assim como para analisar a marcha de cães que passaram por amputação de membros, permitindo entender a influência da cirurgia no estado funcional do cão e as alterações de peso nos membros restantes. A avaliação da marcha envolve a observação do cão em diferentes ângulos durante a marcha e o trote, em uma superfície plana. A marcha permite uma detecção mais fácil de anomalias devido à sua menor velocidade, enquanto o trote é mais eficaz para identificar claudicação, já que os membros não contam com o suporte do membro contralateral para sustentar o peso (Teixeira, 2021).

As plataformas de força são um dos métodos mais amplamente utilizados atualmente para avaliar as oscilações e a locomoção canina, sendo de grande importância para o estudo da biomecânica da locomoção (Anderson & Mann, 1994).

## **2.5 Amputação canina**

As cirurgias são procedimentos que remontam aos primórdios da medicina, sendo consideradas um feito significativo sobreviver a uma operação em tempos passados (Luccia & Guimarães, 1996). Com o avanço da medicina e das tecnologias biológicas, ocorreu um progresso notável nos materiais de emergência, nas técnicas cirúrgicas, na formação médica e nas condições dos centros de emergência. Como resultado dessas melhorias, os procedimentos cirúrgicos passaram a ser planejados de acordo com as necessidades individuais de cada pessoa, levando em consideração a capacidade de cicatrização e tratamento das estruturas comprometidas, com o objetivo de promover a cura e melhorar a qualidade de vida (Gabarra & Crepaldi, 2009).

O termo "amputação" na cirurgia refere-se à remoção de um órgão ou parte dele, localizado em uma extremidade, como língua, mama, intestino, reto, colo do útero, pênis, etc (Luccia & Guimarães, 1996). Atualmente, essas cirurgias têm uma abordagem reconstrutiva, com o objetivo de restaurar um membro doente, de modo a planejar a cirurgia para que o coto resultante da amputação possa ser transformado em um membro funcional para posterior reabilitação (Luccia & Guimarães, 1996; Luccia N. D., 2002).

A amputação de cães e gatos na medicina veterinária é frequentemente realizada com o objetivo de proteger a vida do paciente em casos de lesões graves, como necrose, neoplasias malignas e outras complicações (Ann L. Johnson, 2005). Além

disso, a amputação também pode ser recomendada em situações de trauma, isquemia, infecção ortopédica, paralisia, deformidade congênita e outras condições. No entanto, a decisão de realizar uma amputação deve levar em consideração a adaptação e supervisão do animal a esse tipo de procedimento, bem como a aceitação e decisão do proprietário do cão (Weigel, 2007).

Embora muitos pacientes consigam se adaptar bem à locomoção com apenas três membros, essa adaptação apesar de funcional não proporciona uma alta qualidade de vida ao animal. A caminhada com três membros resulta em mudanças no centro de gravidade e redistribuição do peso. A amputação total de um membro causa alterações na biomecânica da locomoção dos cães em comparação aos cães quadrúpedes. Essas alterações podem ter efeitos nocivos na saúde musculoesquelética a longo prazo e levar à redução da qualidade de vida dos cães que sofreram uma amputação (Teixeira, 2021).

Quando a realização do procedimento de amputação se torna necessária, é recomendável buscar preservar o máximo possível do membro afetado, sempre que permitido. Amputações baixas são caracterizadas pela preservação de pelo menos 50% da ulna/rádio e/ou tíbia/fíbula (Figura 13). Esse tipo de amputação facilita a utilização de próteses, oferecendo maior simplicidade e adaptabilidade para o animal. Em certos casos, amputações mais altas ou próximas ao tórax podem ser necessárias, dependendo do estágio da doença ou trauma. No entanto, essas amputações podem ser mais complexas em relação à aplicação de próteses (Mich, 2014).



*Figura 13 - Cão com amputação baixa.*

*Fonte: (Mich, 2014).*

Em uma posição quadrúpede normal, a distribuição de peso em cães é de aproximadamente 60% nos membros torácicos e 40% nos membros pélvicos (Borghese, Fair, Kaufmann, & Mich, 2013). Com base nessa proporção de força

vertical exercida por cada membro, o centro de gravidade dos cães é estimado como localizado a três quintos da distância entre os membros pélvicos e os membros torácicos (Kirpensteijn, Bos, Brom, & Hazewinkel, 2000).

Quando um cão passa por uma amputação de membro torácico, os 30% da carga que esse membro suporta são redistribuídos para os outros membros. Nesse caso, 17% da carga é funcional para o membro torácico remanescente e 13% para os membros pélvicos. Por outro lado, quando ocorre amputação em um membro pélvico, dos 20% da carga que esse membro suportava, 6% são transferidos para o membro pélvico remanescente e 14% para os membros torácicos (Teixeira, 2021).

Após a amputação de membros torácicos, observe-se mudanças mais significativas na marcha em comparação com a amputação de membros pélvicos. As amputações de membros torácicos são mais incapacitantes, uma vez que esses membros suportam uma carga maior, conforme mencionado acima. A amputação de membros torácicos dificulta a manutenção do equilíbrio, levando a quedas, enquanto a amputação de membros pélvicos resulta em maior dificuldade em alcançar velocidade. Portanto, espera-se que o tempo de recuperação seja maior em casos de amputação de membros torácicos (Teixeira, 2021).

A amputação de um membro pode resultar em problemas articulares, instabilidade na marcha e redução na qualidade de vida do animal. Nesse sentido, o uso de próteses é uma ótima opção, pois auxilia na estabilização da marcha e na correta distribuição de peso, permitindo que o cão recupere sua qualidade de vida após se adaptar à prótese.

## **2.6 Aspectos construtivos de próteses e tipos de próteses**

As próteses são dispositivos projetados para auxiliar pessoas afetadas por amputações traumáticas ou cirúrgicas, traumas ou deficiências físicas, a fim de restaurar sua capacidade de locomoção. Portanto, uma prótese deve ser capaz de suportar o peso corporal do usuário, proporcionar conforto e distribuir corretamente as tensões mecânicas ao longo do membro. Ao produzir próteses, é importante considerar as propriedades e a estrutura do material a ser utilizado. Para um funcionamento bem-sucedido da prótese, o dispositivo precisa ser leve e resistente. Os materiais termoplásticos são ideais para aplicações protéticas devido à sua flexibilidade e propriedades mecânicas. Esses dispositivos devem ser suficientemente

robustos para resistir às forças de alto impacto experimentadas durante a marcha de um animal canino (Teixeira, 2021).

A confecção de próteses requer um entendimento aprofundado do problema a ser solucionado, o que demanda uma equipe multidisciplinar. Cada prótese é única devido à complexidade do problema, resultando em uma variedade de técnicas de fabricação. Portanto, existem inúmeras abordagens na confecção de próteses e órteses para animais (Lima, 2022).

Como cada prótese é única devido às necessidades individuais de cada paciente, antes da fabricação do modelo, faz-se necessário uma modelagem da geometria do membro residual do cão, que pode ser feita de algumas maneiras.

O método mais comumente utilizado para obtenção da geometria da prótese é o processo de moldagem utilizando gesso, devido à facilidade e baixo custo. A primeira etapa desse processo é a criação de um molde negativo, no qual é feita uma cópia reversa do membro residual do animal, juntamente com medições de suporte para a confecção do molde positivo. Durante esse procedimento, é possível utilizar plástico filme ou malha tubular para proteger o membro que receberá a prótese. Em seguida, é aplicada uma atadura gessada de 10 cm a 15 cm ao redor do membro, permitindo a modelagem necessária. A mistura de gesso em pó e água (50% de cada elemento) é utilizada para preencher o molde, resultando no molde positivo (Dal Corso, 2019).

Entretanto, devido ao pelo dos cães, a técnica do molde de gesso não é o método mais indicado. Dessa forma, a tomografia computadorizada ou o uso de um scanner 3D portátil são utilizados para obter uma imagem detalhada do membro afetado. Essa imagem é posteriormente enviada a uma impressora 3D, que produz um molde positivo. A renderização da superfície da pele por meio dessa tecnologia tende a reproduzir com maior precisão a geometria do membro residual, em comparação ao processo de moldes com gesso, especialmente em animais de pequeno porte (Marcellin-Little, Drum, Levine, & McDonald, 2015).

Na ausência dos recursos mencionados anteriormente, o processo de fabricação pode ser realizado empiricamente, através de tentativa e erro. Resumidamente, o processo de fabricação consiste em três etapas:

1. Escaneamento do membro residual do animal para obter medidas e distâncias relevantes.

2. Personalização da prótese específica para o animal em questão, seguida da impressão 3D e posterior montagem.
3. Testes e adaptação da prótese no animal, avaliando se são necessárias quaisquer modificações na prótese fabricada.

Existem dois tipos de próteses amplamente utilizados atualmente: a prótese de soquete e a prótese ITAP (*Intraosseous Transcutaneous Amputation Prosthesis*). Ambos os tipos são projetados para animais que passaram por amputações de membros inferiores, mantendo um segmento residual do membro (coto) (Mich, 2014). A prótese de soquete (Figura 14) é uma extensão do membro amputado que permite o contato com o solo por meio de uma pata mecânica, sem a necessidade de intervenção cirúrgica no animal.



*Figura 14 - Cão com prótese de soquete.*

*Fonte: (Dal Corso, 2019).*

Nesse tipo de prótese é necessário garantir a suspensão e retenção do dispositivo no resíduo do membro, pois alguns procedimentos podem deixar uma parte do tecido altamente móvel na região do membro residual, o que aumenta o desconforto do animal e pode levar ao aparecimento de feridas, dificultando a fixação da prótese e dificultando a oxigenação do membro residual. Já no caso da prótese ITAP, faz-se necessário um procedimento cirúrgico para implantar uma endoprótese no osso do animal. Essa endoprótese permite a implementação de uma exoprótese ou prótese externa (Mich, 2014). A endoprótese tem contato direto com o osso do animal, enquanto a exoprótese tem contato apenas com a parte externa do corpo.

As próteses de soquete apresentam várias vantagens, como custo relativamente baixo, simplicidade na colocação no animal (sem necessidade de cirurgia) e um alto número de adaptabilidade aos animais aos quais foram conferidos esse tipo de prótese. Por outro lado, no método ITAP, também são observados pontos positivos, sendo o principal a integração esquelética direta. Isso significa que a endoprótese transmite as forças de reação diretamente para o esqueleto através da exoprótese, eliminando o atraso mecânico. Além disso, a prótese ITAP reduz o trauma nos tecidos moles e elimina possíveis desconfortos intermitentes (Mich, 2014).

# Capítulo 3

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados a metodologia e os materiais utilizados pra concepção do trabalho.

### 3.1 METODOLOGIA

Neste trabalho é apresentado o projeto de uma cadeira de rodas para cães de porte semelhante, sendo esta uma otimização de uma prótese já existente, para membros posteriores (Figura 15) e já testada em um cão real.



*Figura 15 - Prótese real que será otimizada.*

Para a realização da cadeira de rodas, realizou-se a medida de cães reais, sem deficiências locomotoras, com diferentes tamanhos, pesos e raças, para que fosse possível realizar a otimização de forma fidedigna, sendo essas medidas sem significado estatístico.

Foram então utilizados cinco cães, sendo eles das raças de: Labrador, Pastor Alemão com mistura de Labrador, Cooker Spaniel, Dálmata filhote e SRD (sem raça definida), popularmente conhecido como vira-lata. Os cães são mostrados na Figura 16 abaixo.

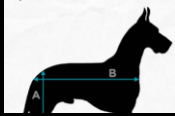





*Figura 16 - Cães utilizados para medidas.*

As medidas dos cinco cães foram realizadas pois a ideia era criar um modelo de cadeira de rodas que pudesse ser adaptável aos mais diferentes portes de cães. Entretanto, após análises, notou-se que a melhor opção era criar uma cadeira de rodas para cada porte. Para este trabalho, optou-se pelo desenvolvimento de uma cadeira de rodas para cães de até 5kg, visto que cães de menor porte são os cães que normalmente vivem dentro da casa, além de ser uma maneira de atender uma necessidade específica do mercado e beneficiar a recuperação de cães desse porte com um dispositivo leve e compacto. Para isso foram utilizadas as medidas do cão sem raça definida (SRD).

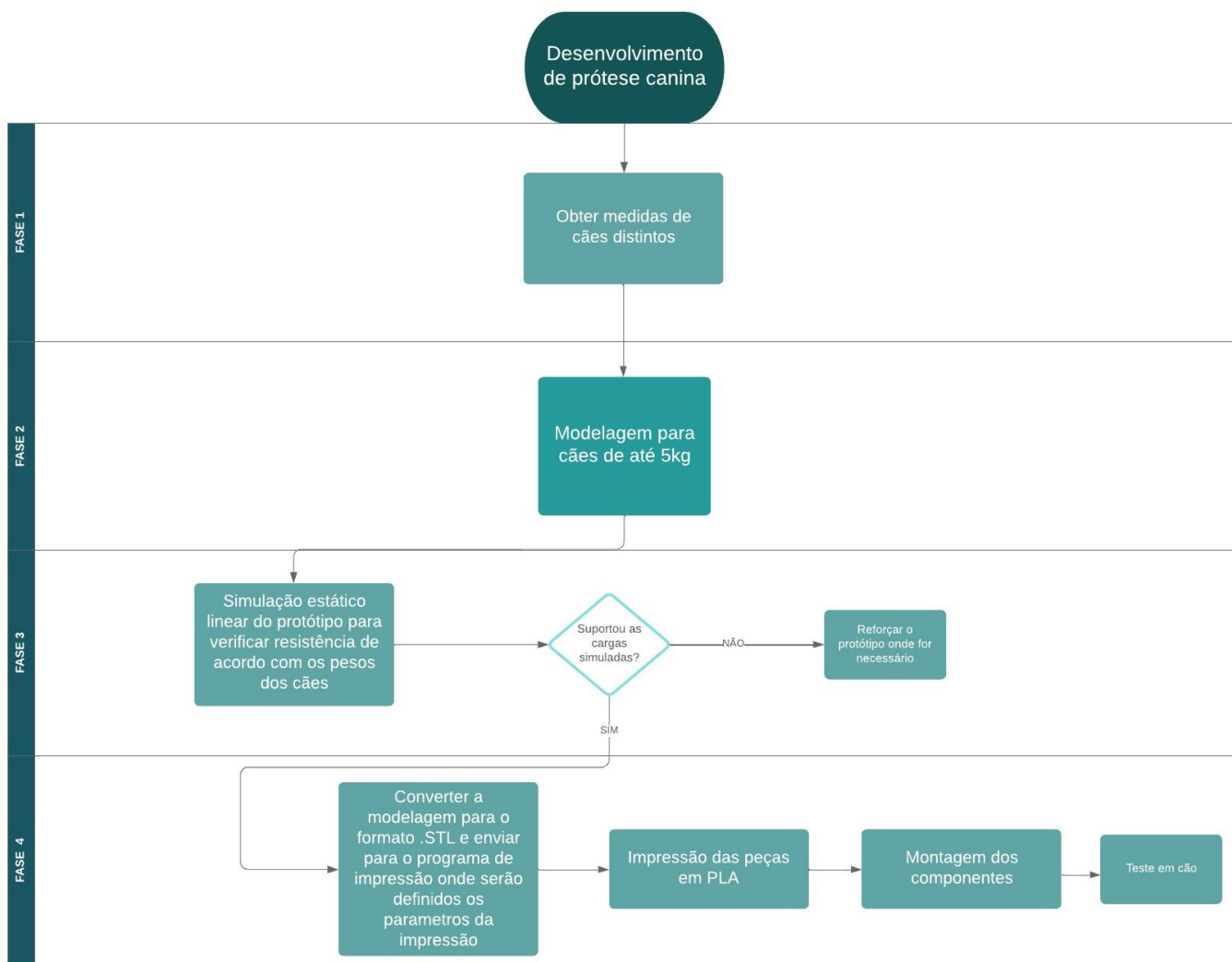
Na Tabela 1 constam as medidas que foram realizadas em cada cão e as medidas do cão SRD que foram utilizadas para a realização da prototipagem da cadeira de rodas.

Tabela 1 - Medidas dos 5 cães.

Cão	Comprimento das costas (cm)	Comprimento das pernas (cm)	Traseira (cm)	Peitoral (cm)	Peso (kg)	Idade (anos)
						
<b>Labrador</b>	63	56	26	20	40	7
<b>Cooker Spaniel</b>	50	45	25	18	14,5	3
<b>Pastor alemão</b>	86	59	27	22	42	2
<b>SRD</b>	30	24	13	10	4,6	1
<b>Dálmatas</b>	38	35	12	13	5,4	8

(meses)

Para a realização do projeto, a elaboração do trabalho dividiu-se em quatro etapas, sendo elas: (1) Levantamento da geometria dos cães; (2) Modelagem do protótipo via CAD para impressão 3D; (3) Simulação estática linear para obter um parâmetro de peso suportado pela cadeira de rodas; (4) Impressão da cadeira de rodas. A Figura 17 apresenta o fluxograma do método utilizado neste trabalho.



**Figura 17 - Fluxograma do método utilizado para desenvolvimento do trabalho.**

As medidas dos cães foram adquiridas por meio de uma fita métrica e consolidadas em uma tabela para a subsequente modelagem da cadeira de rodas no software Autodesk Inventor. Após conclusão do processo de modelagem, foram realizadas simulações de carga nas peças modeladas, a fim de avaliar a capacidade da cadeira de rodas de oferecer suporte ao cão para qual foi projetada. Além disso, foram realizadas análises de custo, comparando a aquisição da prótese em uma empresa especializada com a fabricação independente do dispositivo.

## 3.2 MATERIAIS

A Tabela 2 mostra os materiais e softwares utilizados para a confecção da prótese.

*Tabela 2 - Materiais utilizados.*

<b>Materiais</b>	<b>Softwares</b>
Impressora 3D Anycubic Kobra Max	SolidWorks 2023
Torno de bancada	Inventor 2021
Furadeira de bancada	Ultimaker Cura 5.6.0
Fita métrica/régua	
Cola	
Parafuso M4	
Parafuso M5	
PLA	
Tecido	
Tubo de alumínio (Ø8)	
Corta-tubos	

Os materiais foram escolhidos com base em critérios específicos. Optou-se por uma impressora 3D com uma mesa de impressão maior (400x400x450)mm<sup>3</sup> para acomodar peças maiores, visto que a ideia inicial era uma cadeira de rodas adaptável para cães de diferentes portes. O material PLA foi selecionado devido ao seu baixo custo, leveza, resistência e acabamento satisfatório. As peças foram preparadas no software Ultimaker Cura 5.6.0 para fatiamento e geração do código de impressão.

Para garantir a leveza e adaptação da cadeira de rodas para o cão, além do PLA, foi utilizada uma barra de alumínio de 8mm de diâmetro. Esse tamanho foi escolhido conforme o porte e peso do animal. Para suportar a estrutura sem comprometer a integridade do tubo, foram utilizados parafusos M4 e M5.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Modelagem da cadeira de rodas**

A cadeira de rodas canina é uma forma de suporte que facilita a locomoção do animal, funcionando como um complemento para fornecer maior autonomia e qualidade de vida ao cão (Guzzo, 2020).

Muitas podem ser as técnicas utilizadas na construção de uma cadeira de rodas canina, visto que cada caso em particular pode trazer diversas variáveis, entretanto, elas costumam ser de materiais leves e resistentes, variando de acordo com o porte do cão, que precisa ser levado em consideração para fornecer um dispositivo adequado (Guzzo, 2020).

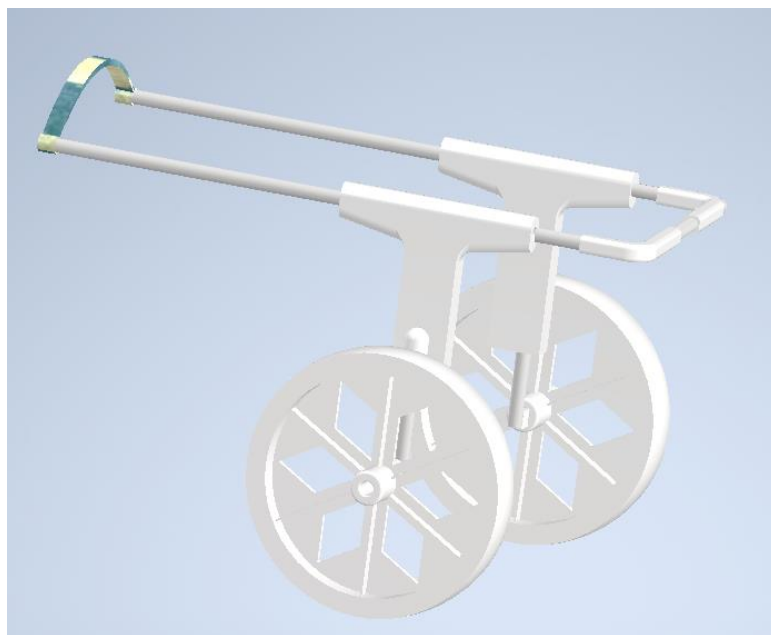
Na elaboração do modelo da cadeira de rodas proposta para este estudo, foram considerados alguns aspectos, incluindo aplicações em que o cão pode apresentar deficiência locomotora, seja devido a condições congênitas ou como resultado de amputações decorrentes de traumas.

No primeiro cenário, onde o cão mantém as patas traseiras é necessária a incorporação de um suporte traseiro para fornecer o devido apoio.

No segundo cenário, onde houve amputação de membros, o design da cadeira de rodas foi concebido levando em conta a adaptabilidade.

Dessa forma, visou-se modelar uma cadeira de rodas que atendesse ambos os casos, levando em consideração aspectos como conforto e leveza, além do custo e da possibilidade de adaptação da prótese para o caso de haver produção independente do dispositivo.

Na Figura 18 é possível observar a modelagem, realizada no software Autodesk Inventor 2021, que foi baseada nas medidas do cão sem raça definida (SRD) da Tabela 1, sendo então uma cadeira de rodas para cães de pequeno porte.



*Figura 18 - Modelagem da cadeira de rodas.*

Esta cadeira de rodas incorpora componentes que serão impressos em PLA e com hastes de alumínio, proporcionando assim uma melhora em sua leveza estrutural. O design final do modelo impresso incluirá também os elementos de suporte para as patas traseiras, destinados à fixação dos materiais textéis correspondentes.

#### **4.2 Materiais utilizados e custos**

É fundamental fornecer informações suficientes para que qualquer pessoa que tenha um cão portador de deficiências locomotoras seja capaz de fabricar a sua própria cadeira de rodas de maneira barata e eficaz, o que faz com que a Tabela 3 seja de extrema importância. Para a confecção da cadeira de rodas foram utilizados os materiais que constam na Tabela 3.

*Tabela 3 - Materiais utilizados para a confecção da prótese.*

<b>Material</b>	<b>Quantidade (unidade)</b>	<b>Valor (€)</b>
PLA	1	18,23
Tubo de alumínio (Ø8)	1	2,69
Parafusos M4	2	0,30
Parafusos M5	2	0,30
Tecido	1 m	1,80
Cola	1	1,20
Velcro	1 m	1,00
<b>Total (€)</b>		<b>25,52</b>

Os valores apresentados na tabela 3 são valores reais, porém para que a construção da cadeira de rodas saia no valor estipulado na tabela acima, faz-se necessário que tenha-se uma impressora 3D no local em questão, pois dessa forma os valores serão apenas dos materiais a serem comprados, sem levar em conta a mão de obra, energia, entre outros custos relacionados quando contrata-se um serviço terceirizado.

#### 4.2.1 Próteses existentes no mercado

Existem algumas empresas especializadas nesse tipo de serviço, como por exemplo Pineal3D (Brasil), Loja PetDoctors (Portugal), Ortoprime (Portugal). A Pineal 3D fornece tanto próteses prontas, como também oferece o serviço de prótese personalizada de acordo com as necessidades individuais do cão. Na Figura 19 nota-se um dos seus vários modelos.



*Figura 19 - Prótese produzida pela Pineal3D.*

*Fonte: (Pineal 3D).*

Já a PetDoctors e a Ortoprime oferecerem próteses prontas que podem ser ajustadas de acordo com o peso do animal ou de acordo com a altura de suas pernas. Na Figura 20 é possível observar a prótese da Ortoprime.



*Figura 20 - Prótese fabricada pela Ortoprime.*

*Fonte: (OrtoPrime)*

Na Figura 21 observa-se a prótese da PetDoctors.



*Figura 21 - Prótese fabricada pela PetDoctors.*

**Fonte: (PetDoctors).**

A estrutura de todas as cadeiras de rodas apresentadas são semelhantes entre si e com a deste trabalho em questão. Na Tabela 4 são apresentados os valores de cada empresa e uma média de mercado.

*Tabela 4 - Preços para compra de próteses.*

<b>Prótese</b>	<b>Valor (€)</b>
Pineal3D	417,34
OrtoPrime	550,00
PetDoctors	458,85
<b>Média (€)</b>	<b>475,40</b>

Levando em consideração essa pequena amostra, a média de uma cadeira de rodas adaptável no mercado é de 475,40 euros, sendo 95% mais cara que a produção da prótese adaptável produzida nesse trabalho, que custou cerca de 26 euros, excluindo mão de obra e utilização da máquina de impressão 3D.

#### 4.2.2 Fabricação de prótese contratando um serviço terceirizado

Com a grande expansão do mercado de impressão 3D, existem diversas empresas que fornecem o serviço de impressão. Um exemplo disso é a empresa Igus e a empresa

Imprimakers, que fornecem a opção de enviar o objeto desejado em sua plataforma online e simular o preço para o objeto em questão.

No caso de não se ter a impressora 3D, serão utilizadas duas plataformas para simular quanto a cadeira de rodas desse trabalho em questão custaria contratando um serviço terceirizado para a parte de impressão. As plataformas utilizadas para simulação serão a Imprimakers e a Makershop, a Igus (outra das plataformas encontradas) não será utilizada pois a mesma fornece um tipo de PLA específico cujo o seu custo benefício não se adequa aos objetivos deste trabalho.

A cadeira de rodas é constituída de 5 peças, sendo elas: O suporte, responsável pelo acoplamento dos alumínio de sustentação; a cantoneira responsável pelo ligamento de ambos os lados; a roda; o camber responsável por garantir que o cão não irá tombar enquanto utiliza a cadeira de rodas e os grampos responsáveis pelo acoplamento do tecido que irá sustentar o cão. Com exceção dos grampos que são 6, todos as outras peças são impressas em pares.

1. Custo da impressão do suporte: Na Figura 22 tem-se os valores simulados em ambas as plataformas.

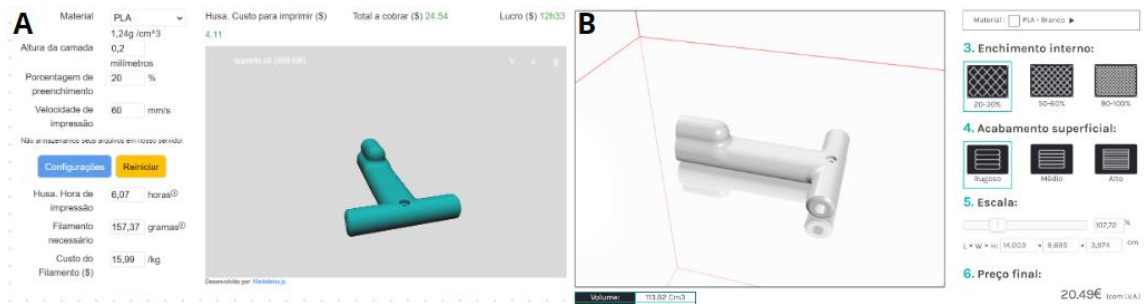


Figura 22 - A) Custo da impressão do suporte na plataforma Makershop; B) Custo da impressão do suporte na plataforma Imprimakers.

2. Custo da impressão da roda: Figura 23 tem-se os valores simulados em ambas as plataformas.

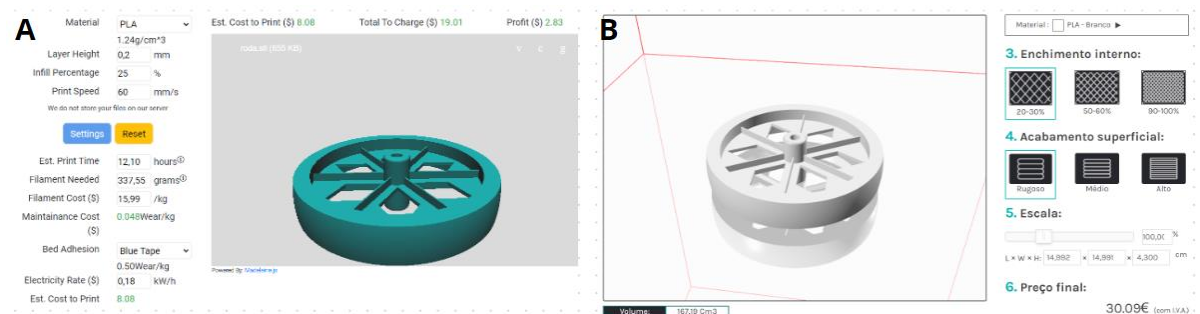


Figura 23- A) Custo da impressão da roda na plataforma Makershop; B) Custo da impressão da roda na plataforma Imprimakers.

3. Custo da impressão da cantoneira: Na Figura 24 tem-se os valores simulados em ambas as plataformas.

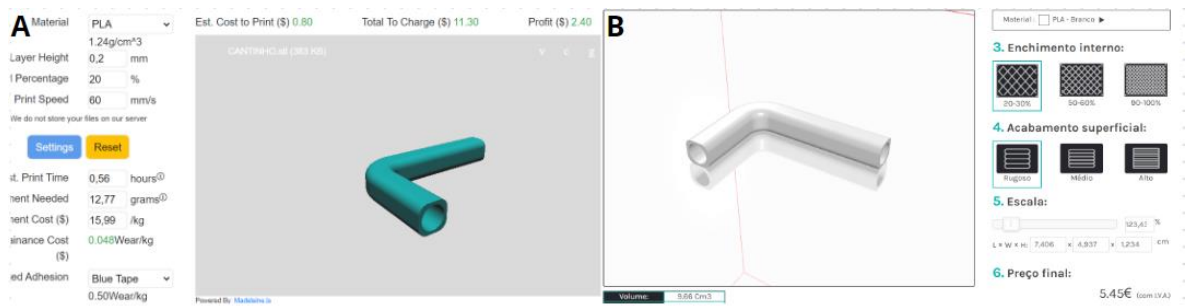


Figura 24 - A) Custo da impressão da cantoneira na plataforma Makershop; B) Custo da impressão da cantoneira na plataforma Imprimakers.

4. Custo da impressão do camber: Na Figura 25 tem-se os valores simulados em ambas as plataformas.

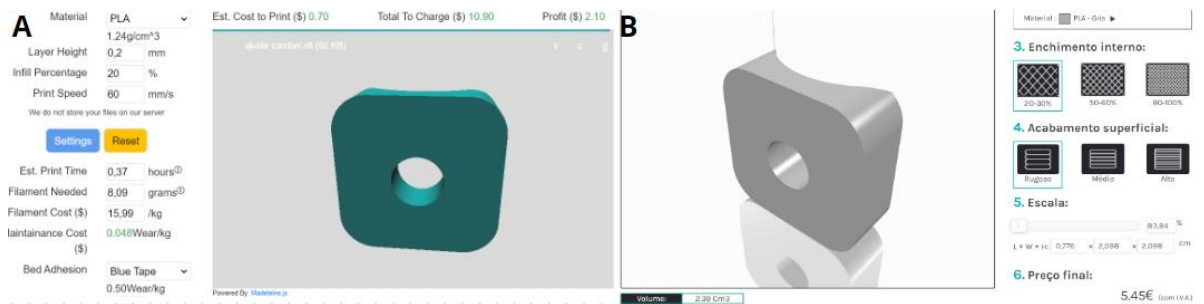


Figura 25 - A) Custo da impressão do camber na plataforma Makershop; B) Custo da impressão do camber na plataforma Imprimakers.

5. Custo da impressão do grampo: Na Figura 26 tem-se os valores simulados em ambas as plataformas.

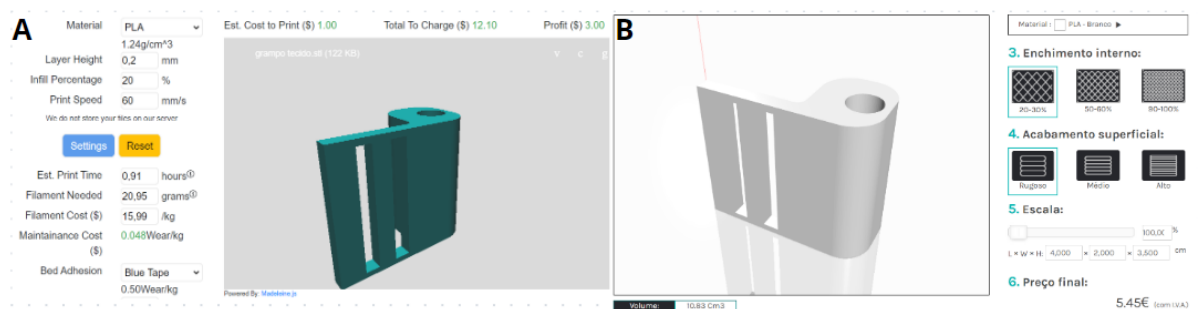


Figura 26 - A) Custo da impressão do grampo na plataforma Makershop; B) Custo da impressão do grampo na plataforma Imprimakers.

Na Tabela 5 constam os valores de cada peça de acordo com suas quantidades. Os valores da plataforma Makershop são fornecidos em dólares, realizou-se então a conversão para euro na cotação do dia em questão.

*Tabela 5 - Preço total da impressão da prótese baseado nos valores fornecidos pelas plataformas de simulações.*

Peça	Quantidade (unid.)	Valor	Valor total	Valor	Valor total
		Makershop unid. (€)	Makershop (€)	Imprimakers unid. (€)	imprimakers (€)
Suporte	2	22,48	44,96	20,49	40,98
Roda	2	17,41	34,82	30,09	60,18
Cantoneira	2	10,35	20,70	5,45	10,90
Camber	2	9,98	19,96	5,45	10,90
Grampo	8	11,08	88,64	5,45	43,6
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	-	<b>209,08</b>	-	<b>166,56</b>

A média de valores simulados é de 187,82 euros, entretanto, além dos materiais impressos também tem-se os demais materiais, elencados na Tabela 6 com seus respectivos valores.

*Tabela 6 - Custo dos materiais adicionais, além do PLA.*

Material	Quantidade (unid.)	Valor (€)
Impressão 3D	16	187,82
Tubo de alumínio (Ø8)	1	2,69
Velcro	1 m	1,00
Parafusos	4	0,60
Tecido	1 m	1,80
Cola	1	1,20
<b>TOTAL</b>	-	<b>195,11</b>

Dessa forma, para produzir a prótese com terceiros, o valor total seria de **195,11** euros. Saindo 59% mais barata do que comprar uma prótese pronta, ou seja, mais da metade do valor economizado.

#### 4.2.3 Comparação de valores entre os três métodos

Na Tabela 7 são elencados os valores médios de cada produção, sendo elas: (1) a compra de uma cadeira de rodas pronta, (2) terceirizando a impressão e montando a

cadeira de rodas e (3) imprimindo e montando em casa, no caso de ter-se uma impressora 3D.

*Tabela 7 - Comparação dos 3 métodos de impressão e fabricação da cadeira de rodas.*

<b>Tipo de produção</b>	<b>Valor médio (€)</b>
Cadeira de rodas pronta	<b>475,40</b>
Terceirizando a impressão	<b>195,11</b>
Impressão local	<b>25,52</b>

Outra forma de terceirizar a impressão sem ser pela internet é se dirigir a universidade ou ao município mais próximo, onde geralmente será possível encontrar laboratórios de impressão 3D, conhecidos como FabLab's, que fornecem o serviço de impressão terceirizada a sociedade por um valor justo.

Nota-se que os valores são bastante variantes entre si. A fabricação de uma cadeira de rodas em impressão 3D, seja ela terceirizada ou completamente realizada em casa é o método mais econômico, sendo uma excelente opção para quem possui cães com problemas de locomoção e quer fornecer uma melhor qualidade de vida ao animal.

A economia pode variar de 59% até 95%, tornando a compra de uma cadeira de rodas pronta completamente inviável e a fabricação da própria cadeira de rodas uma ótima opção.

### **4.3 Simulação numérica**

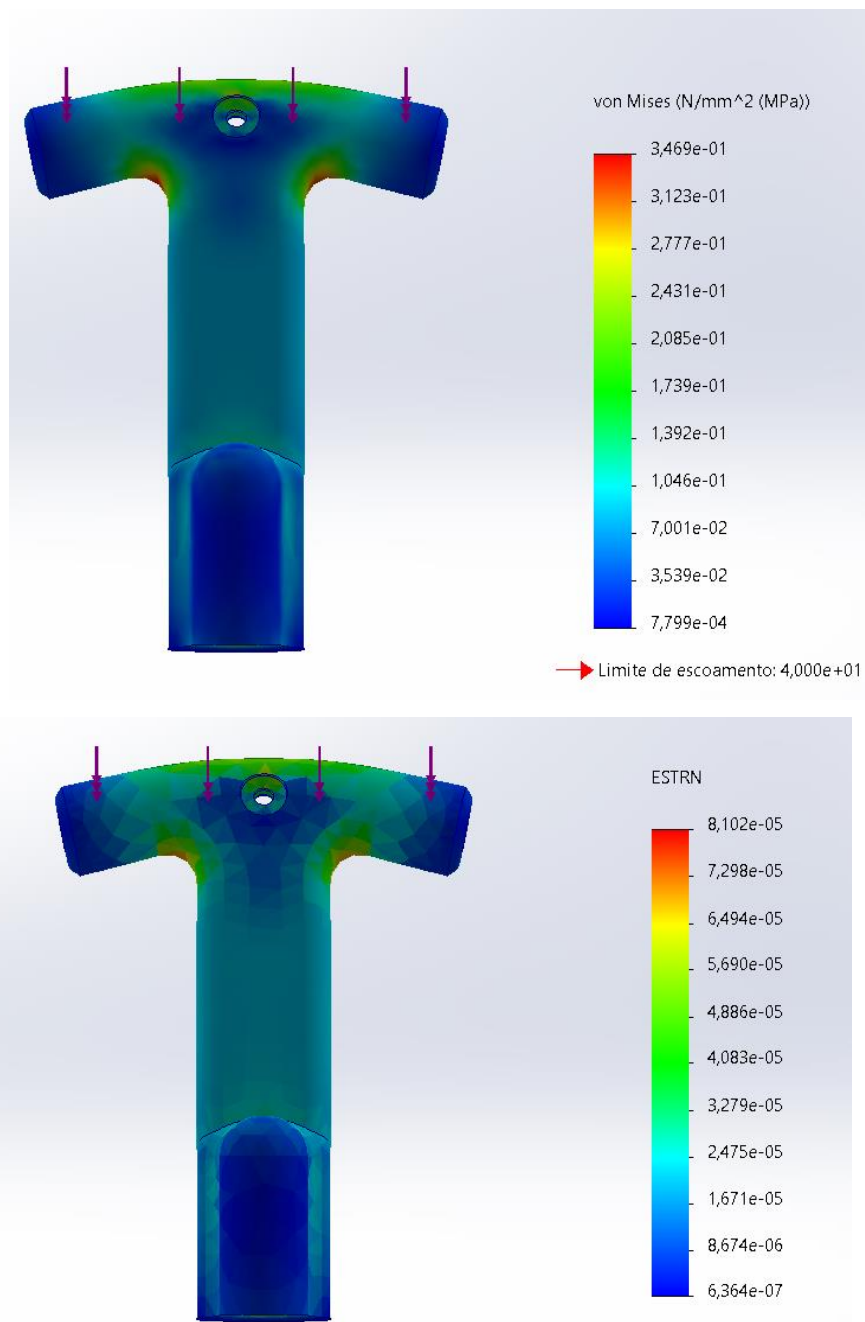
Antes de realizar a impressão das peças, foi realizada a simulação numérica de duas das peças que sofrem as maiores forças aplicadas quando o cão está em movimento, para que fosse possível ter uma noção mais fidedigna da resistência da cadeira de rodas em um caso real.

Para tal, utilizou-se o software SolidWorks 2023. Entretanto, nas bibliotecas de materiais fornecidas pelo software, não havia o material da impressão 3D, o PLA, dessa forma, fez-se necessária a criação de uma nova biblioteca desse material, para

isso foram utilizados valores fornecidos em artigos de ensaios destrutivos do PLA. Após criada a biblioteca, iniciou-se a simulação.

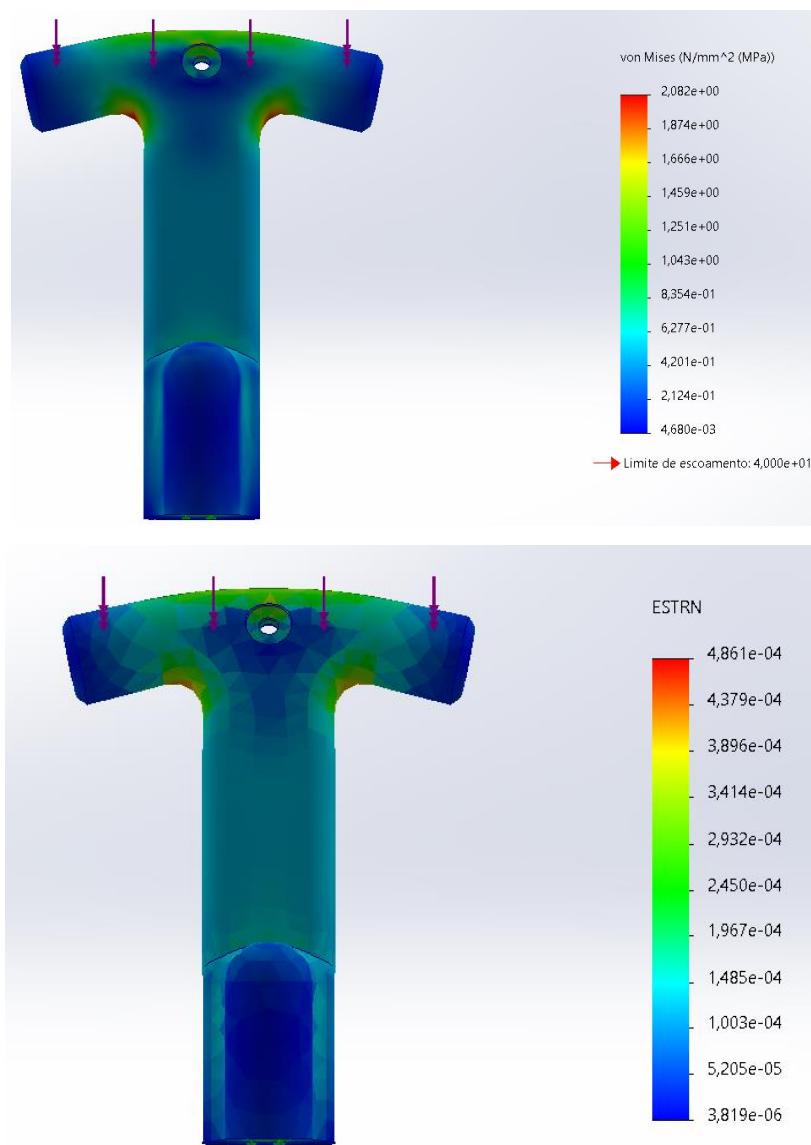
As simulações das peças foram realizadas utilizando a definição por defeito, com malha fina, sem aumentar consideravelmente o tempo de processo e tornando os resultados mais confiáveis.

Na Figura 27 tem-se a primeira simulação, realizada na peça de suporte principal da cadeira de rodas, com uma força de 50N aplicada primeiramente, pois o peso do cão para qual a prótese foi projetada inicialmente é de 5kg.



*Figura 27 - Simulação do suporte com a aplicação do peso do animal.*

Nota-se pela imagem que a peça não sofreu deformação significativa e que as áreas de maior tensão foram as extremidades abaixo de onde o alumínio será inserido, essa fragilidade apesar de não ser determinante nem indicar que a peça sofrerá ruptura, pode ser melhorada com um arredondamento ainda maior dos cantos, que fornecerá maior resistência ao local em questão. Entretanto, como numa situação real o peso do cão não é a única força atuante, foi realizada uma nova simulação, onde foram aplicadas forças de 300N, considerando 6 vezes o peso do cão, sendo esse valor considerado um fator de segurança, simulando assim possíveis situações reais para compreender se a peça suportaria ser utilizada no dia a dia em um caso real. Na Figura 28 é possível observar essa simulação.



*Figura 28 - Simulação da aplicação de forças externas além da do peso do cão.*

Com essa nova força aplicada, notou-se que não houve diferença na deformação e na tensão da peça, podendo então concluir que a peça suporta não somente o peso do cão em questão, como também eventuais forças externas que possam interferir no uso diário. Foram simulados posteriormente diversas aplicações de forças, onde foi possível constatar que a peça do suporte pode ser utilizada para cães de maior porte sem sofrer rupturas.

Também foram realizadas simulações para a roda, como é possível observar na Figura 29, onde primeiramente foi aplicado o peso do cão (50N=5kg).

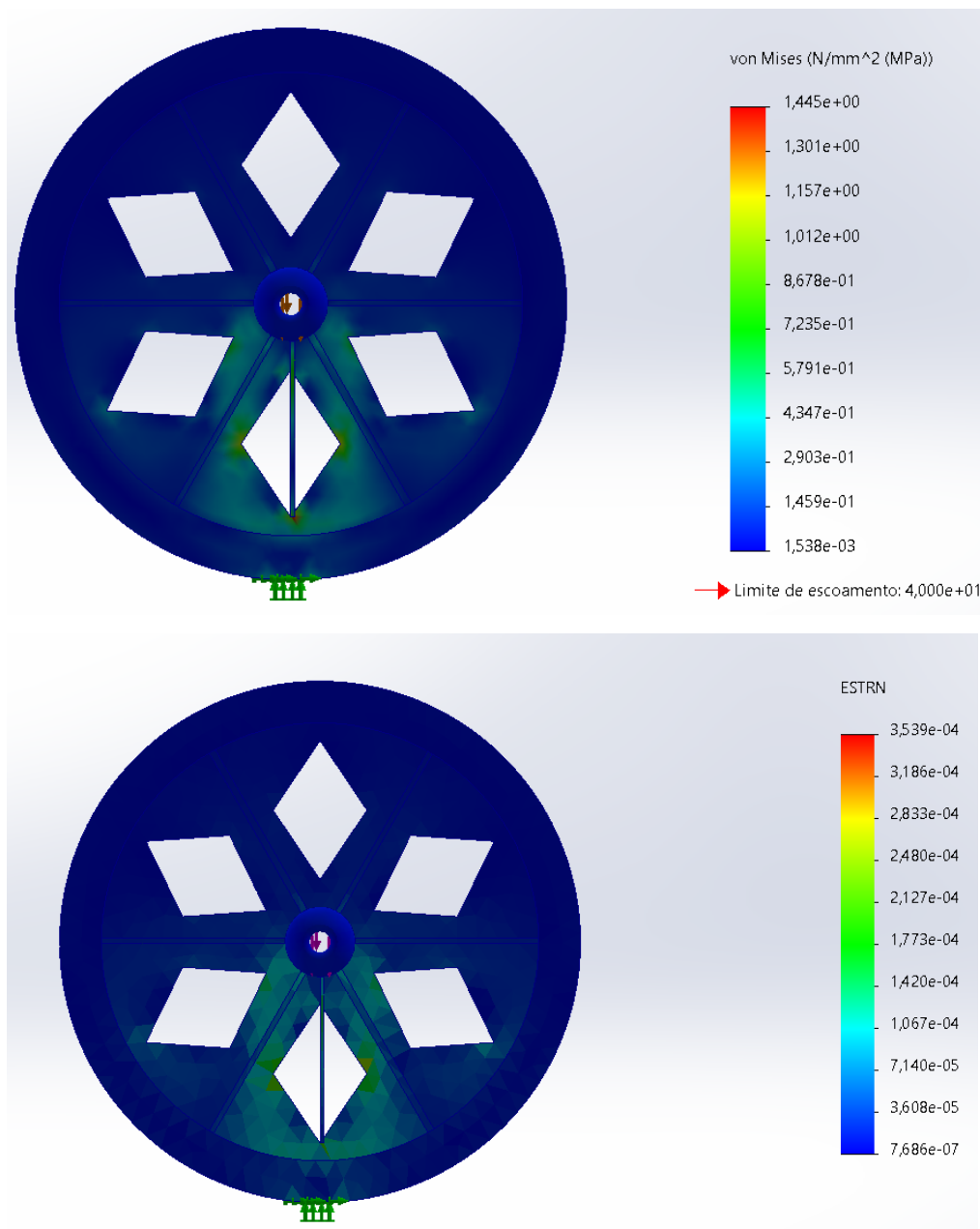


Figura 29 - Simulação da roda com a aplicação do peso do cão.

A roda não sofreu deformação significativa com a aplicação de força do peso do cão, e a área de maior tensão foram as arestas pontiagudas do design da roda, o que pode ser resolvido com o arredondamento das arestas, fazendo com que haja uma diminuição do fator de concentração de tensões.

Novamente foi realizada uma segunda simulação agora contando com forças externas que podem agir durante o uso da cadeira de rodas, nessa simulação foi novamente aplicado 6 vezes o peso do cão, como fator de segurança, sendo assim aplicadas forças de 300N para teste, o resultado é observado na Figura 30.

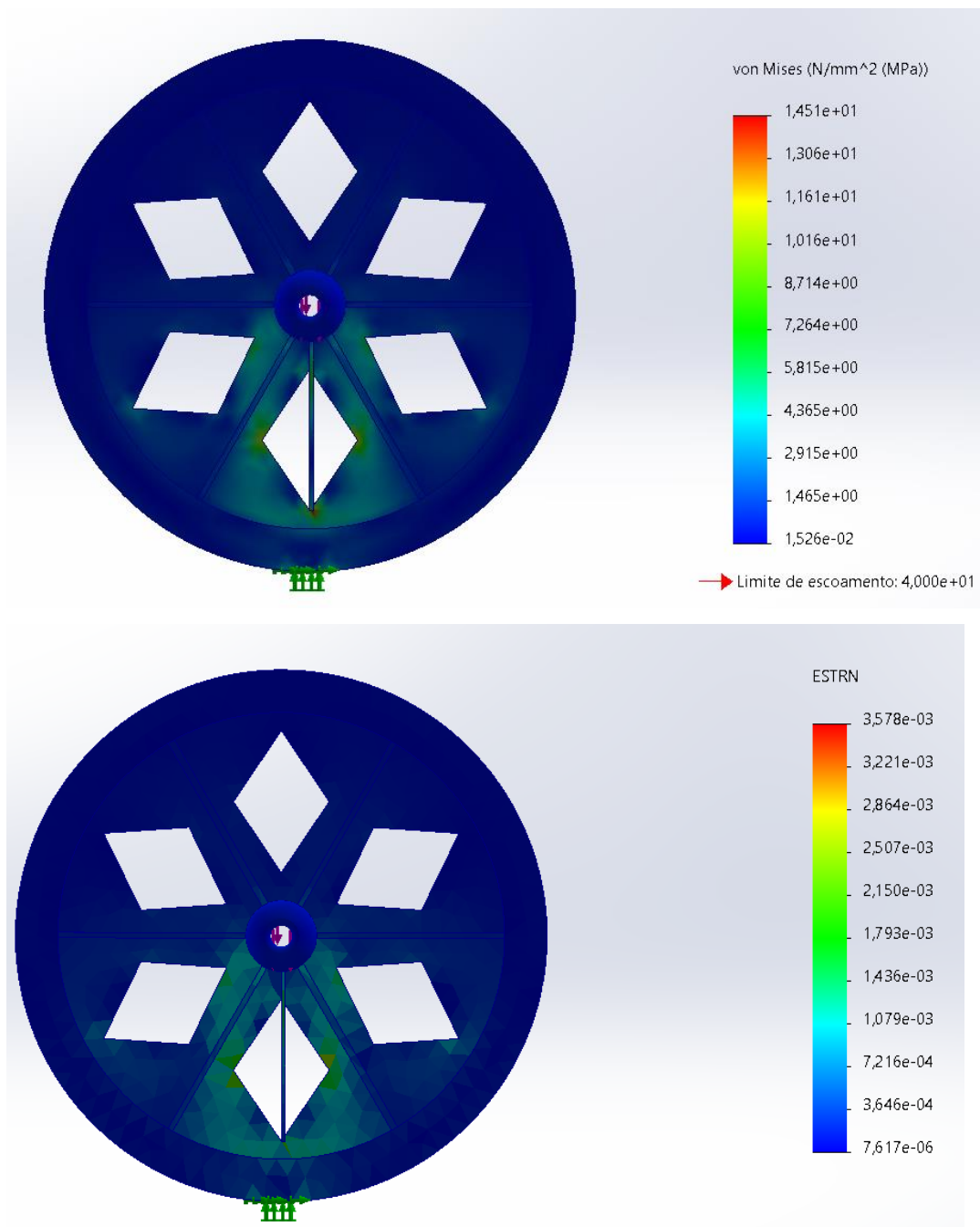


Figura 30 - Simulação da aplicação de forças externas na roda além da força do peso do cão.

Com a nova força aplicada, novamente não houve diferença significativa na deformação e tensão da peça, podendo então concluir que a peça suporta o peso do cão em questão e eventuais forças externas que possam interferir no uso diário. Entretanto, apesar da simulação ter obtido um bom resultado, para cães de maior porte ou até mesmo do mesmo porte em questão, indica-se a alternativa de comprar rodas prontas, que são possíveis de serem encontradas em lojas de materiais de construção ou até mesmo na internet e que tem o mesmo valor da impressão das rodas.

Alternativa 1: A Figura 31 é um exemplo de roda que pode ser encontrada em lojas na internet e que é feita justamente para cadeira de rodas caninas.



Figura 31 - Opção de compra n°1 de rodas para cadeira de rodas.

Fonte: (Medicalshop).

Alternativa 2: Na Figura 32 tem-se outra opção, onde pela metade do preço da impressão é possível comprar as duas rodas necessárias.



Figura 32 - Opção de compra n°2 de rodas para cadeira de rodas.

Fonte: (Fruugo).

Alternativa 3: Na Figura 33 tem-se uma opção onde pode-se escolher as rodas de acordo com o tamanho do cão, medindo a distância do chão até a virilha do animal, essa opção já vem com o suporte de alumínio para ser acoplada na prótese.

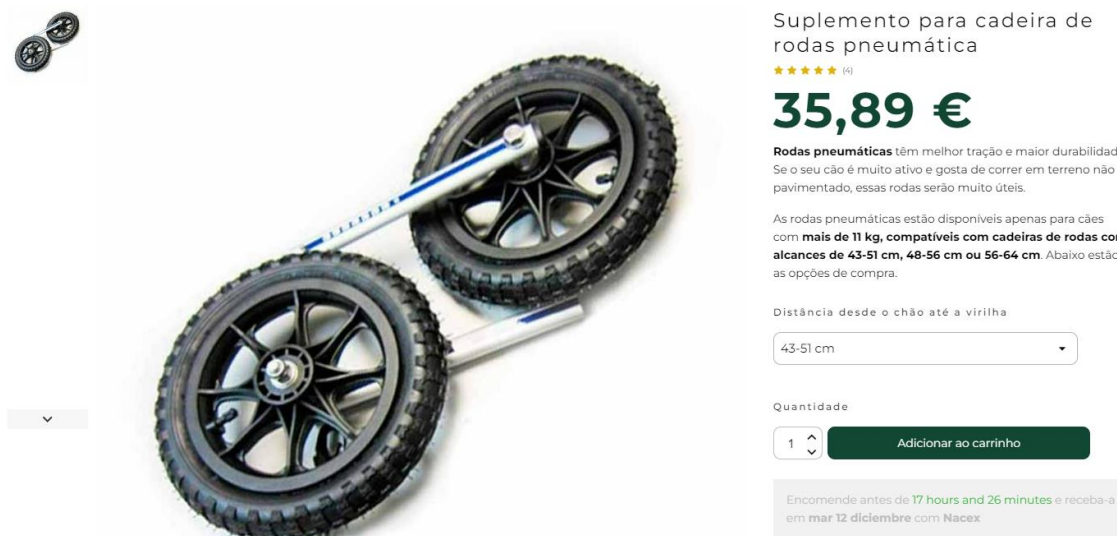


Figura 33 - Opção de compra n°3 de rodas para cadeira de rodas.

Fonte: (Ortocanis).

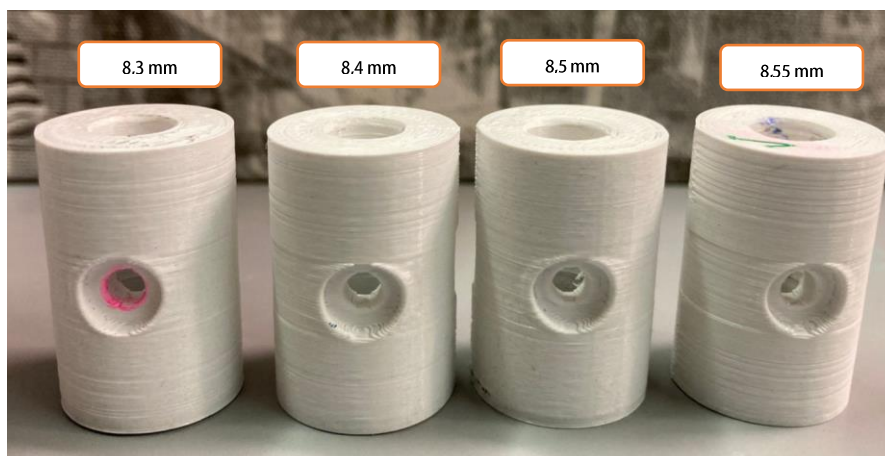
A compra das rodas é uma ótima opção, pois além de custar o mesmo preço que a impressão (ou até mais barato), essas peças são mais resistentes e já vem com a borracha ou a proteção para evitar o desgaste que ocorre devido ao atrito do uso, que seria outro custo na impressão, pois faz-se necessário a compra de uma borracha para colocar ao redor da roda, evitando assim seu desgaste.

Além de ser possível a compra de infinitos modelos, desde que o acoplamento encaixe no restante da cadeira de rodas.

#### 4.4 Testes de impressão

Antes de realizar a impressão das peças constituintes da cadeira de rodas, foram realizados testes de impressão para conferir as medidas de acordo com o ajuste da impressora 3D utilizada.

Foram necessárias 4 tentativas até chegar ao diâmetro com a tolerância dimensional necessária de acordo com a máquina para que fosse possível acoplar a peça de impressão 3D ao tudo de alumínio. Na Figura 34, é possível visualizar as 4 tentativas realizadas.



*Figura 34 – Testes de dimensão da impressora 3D.*

O teste começou com o diâmetro de 8,3mm e terminou com o diâmetro de 8,55mm que foi o adequado para acoplar a peça. Para essa impressão teste foi utilizado um preenchimento de 25%, com altura da camada de 0,2mm e espessura da parede de 1,2mm, valores que se mostraram satisfatórios para a finalidade objetivada.

Como a impressora utilizada para impressão nunca havia sido utilizada anteriormente, esse teste foi realizado para compreender as tolerâncias dimensionais da impressora. Desse modo, constatou-se a necessidade de uma tolerância de 0,3mm a mais nas peças fabricadas para acopla-las no tubo de alumínio.

#### **4.5 Impressão**

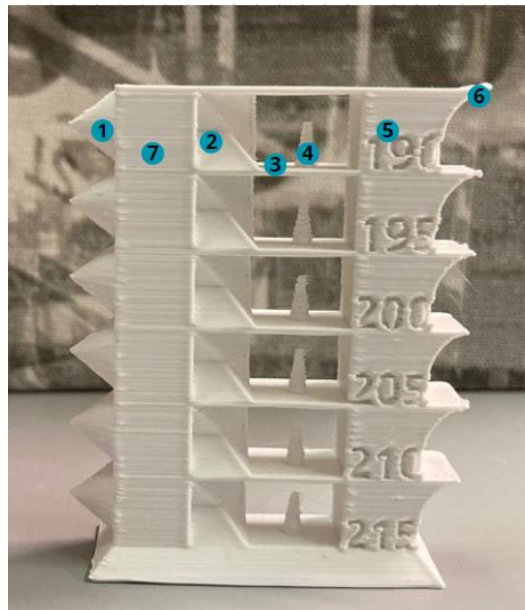
Para a impressão utilizou-se a impressora Anycubic Kobra Max, mostrada na Figura 35, que possui uma mesa de impressão de (400x400)mm e se encontra no FabLab do Instituto Politécnico de Bragança.



*Figura 35 - Impressora utilizada para impressão das peças em PLA.*

Para material utilizou-se o PLA, onde antes de iniciar a impressão, realizou-se um teste de temperaturas, para compreender qual seria a temperatura mais adequada para um melhor acabamento das peças.

Para isso imprimiu-se uma torre de temperatura, mostrada na Figura 36, para verificar se a impressora estava trabalhando nos parâmetros corretos. Os números mostrados na figura significam a parte da impressão que está sendo analisada.



*Figura 36 - Torre de temperatura de PLA (190-215).*

Cada andar da torre corresponde a temperatura enunciada no canto direito, dessa forma torna-se possível analisar qual a melhor temperatura para a finalidade da impressão desejada. Para isso elaborou-se uma tabela para avaliar cada elemento da torre e decidir qual a temperatura mais adequada para as peças. Os triângulos vermelhos indicam que a parte analisada (de acordo com o número mostrado na Figura 36) não está ok, enquanto os triângulos verdes indicam que a parte em questão está ok. A avaliação foi feita comparando cada um dos detalhes (de acordo com os números da Figura 36) em cada uma das temperaturas. É possível observar essa avaliação, de acordo com a numeração mostrada na Tabela 8.

Tabela 8 - Escolha de temperatura de acordo com análise da impressão da torre de temperatura.

Temperatura (°C)	1	2	3	4	5	6	7	Total
190	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	3
195	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	4
200	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	3
205	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	4
210	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	3
215	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	2

Apesar de a impressão na temperatura de 195°C e 205°C terem obtido a mesma nota total (4), a temperatura de impressão escolhida foi a de 205°C, pois para as formas que as peças exigiam essa temperatura fornecia o melhor acabamento e garantia melhor uniformização das camadas.

Para a impressão das peças utilizou-se o software Ultimaker Cura 5.6.0, onde o objeto é descarregado no formato .STL na plataforma e então são selecionados alguns parametros de impressão. A Figura 37 apresenta os parametros de impressão utilizados para as peças.

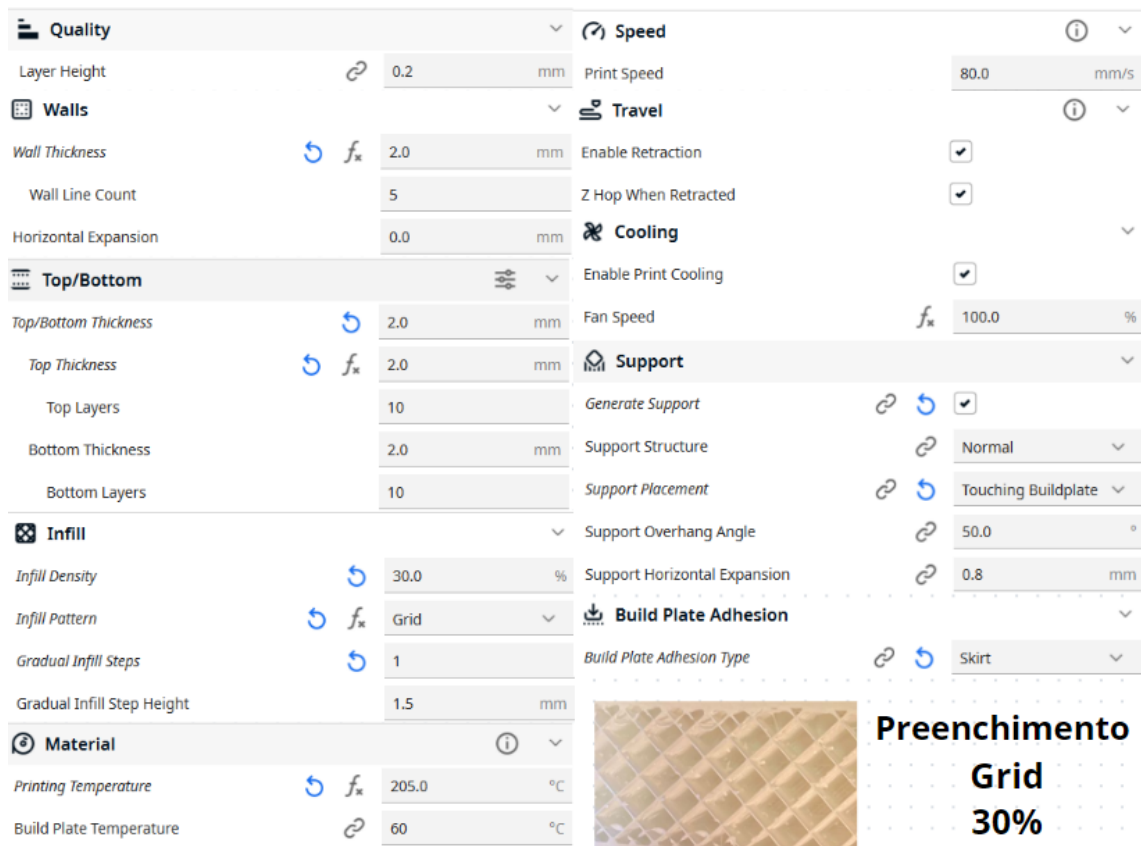
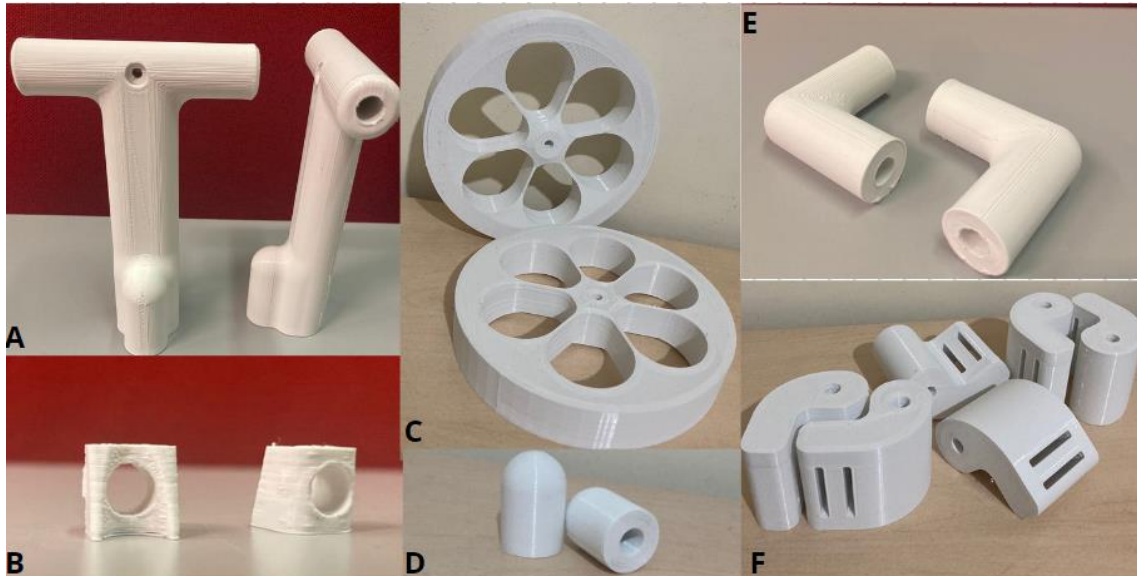


Figura 37 - Parâmetros de impressão utilizados.

Para a roda, houve uma única diferença nos padrões de impressão, pois não se fez necessário suporte para impressão de ambas as rodas.

Ao todo, foram 16 peças, que levaram **46h56min** para serem impressas. A Figura 38 mostra as peças depois de impressas.



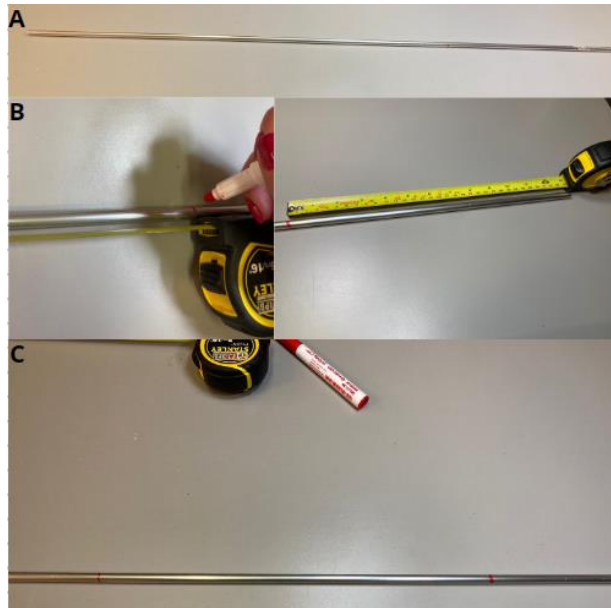
*Figura 38 - Peças impressas para montagem; A) Suporte; B) Camber; C) Rodas; D) Tampão; E) Cantoneiras; F) Grampos para tecido.*

Após a impressão, observou-se que os grampos para o tecido ser acoplado (peça F na Figura 38) foram superdimensionados, não necessitando desse tamanho para um cão de porte pequeno, devido ao peso e resistência que esse tipo de cadeira de rodas necessitaria. Para um cão de pequeno porte, os grampos para o tecido podem ser a metade do tamanho, deixando esses grampos maiores para serem utilizados em cães de maior porte. Pois ao imprimi-los notou-se que os grampos foram superdimensionados, o que gera maior tempo de impressão, maior desperdício de material e espaço desnecessário na montagem da cadeira de rodas.

E como mencionado anteriormente no tópico 4.3 é indicada a compra das rodas já prontas, devido a resistência necessária para um cão de maior porte.

#### **4.6 Montagem da cadeira de rodas**

Primeiramente foram realizadas as medidas do alumínio de acordo com as medidas retiradas do animal SRD da Tabela 1. Realizada essas medidas, foi feita uma marcação no alumínio para cortar na medida correta, como é possível observar na Figura 39.



**Figura 39 - A) alumínio para corte; B) Realizando marcação das medidas; C) Alumínio com a marcação das duas hastes.**

Após feitas todas as marcações na peça, foi utilizado um corta-tubos para realizar os cortes e um torno de bancada para poder fixar o alumínio, como é possível observar na Figura 40.



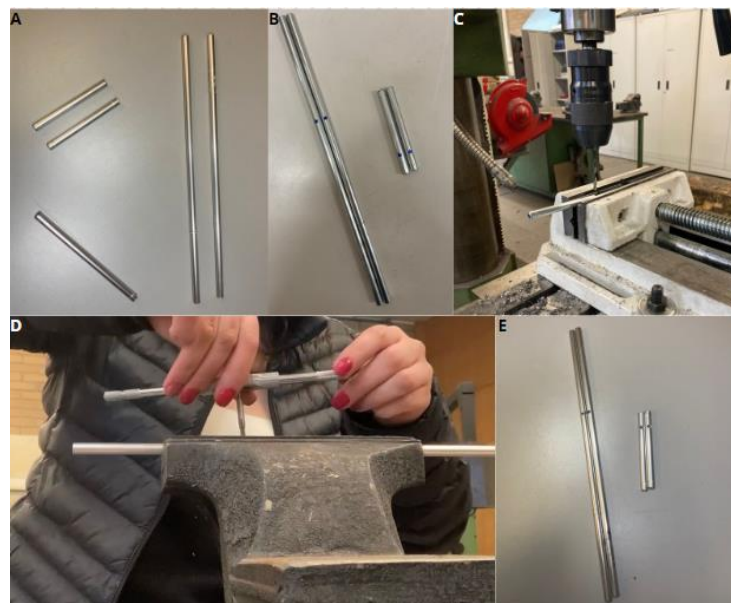
**Figura 40 - A) Corta-tubos; B) Fixação do alumínio na morsa de bancada; C) Corte do alumínio; D) Realizado o corte de uma das hastes de sustentação; E) As duas hastes cortadas.**

O mesmo procedimento foi realizado para o alumínio que será utilizado no acoplamento das rodas, para isso, foi acoplado o suporte principal da cadeira de rodas no alumínio e realizado o teste de altura, conforme medidas da Tabela 1. Após realizada as medidas, o alumínio foi cortado do mesmo modo apresentado na Figura 39. Na Figura 41 é possível observar o procedimento.



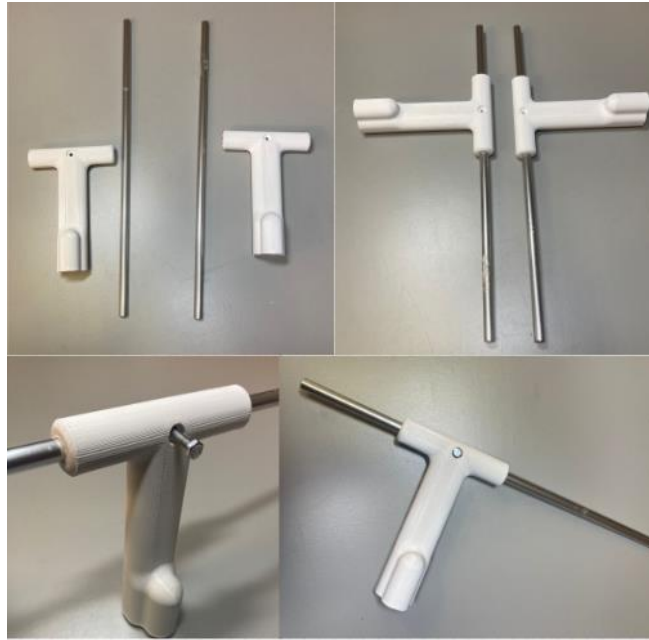
**Figura 41 - A) Haste e suporte; B) C) Acoplamento da haste no suporte; D) Retirando medidas de acordo com a altura do cão; E) Realizando o corte do alumínio; F) Alumínio cortado pronto para montagem.**

Após ter todas as hastes de alumínio cortadas, foram marcados os locais onde seriam necessários os furos, para fixar as peças com parafusos. Para realizar os furos de rosca, utilizou-se uma furadeira de bancada. Na Figura 42 é possível realizar o procedimento.



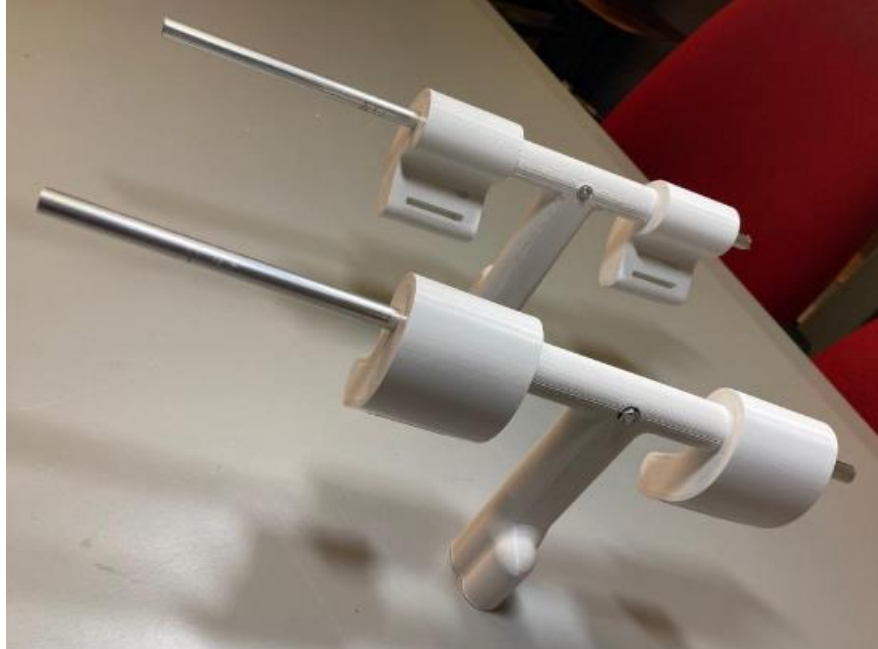
**Figura 42 - A) Hastes cortadas nos tamanhos adequados; B) Demarcação para realizar os furos; C) Furação com furadeira de bancada; D) Realização de rosqueamento; E) Hastes prontas para uso.**

Iniciou-se então a montagem da cadeira de rodas. A primeira etapa foi o acoplamento dos suportes nas hastes das costas (Figura 43).



*Figura 43 - Acoplamento e fixação do suporte as hastes.*

Na sequência foram acopladas as peças que foram chamadas de grampos, para que fosse possível inserir os tecidos de sustentação do cão, posteriormente (Figura 44).



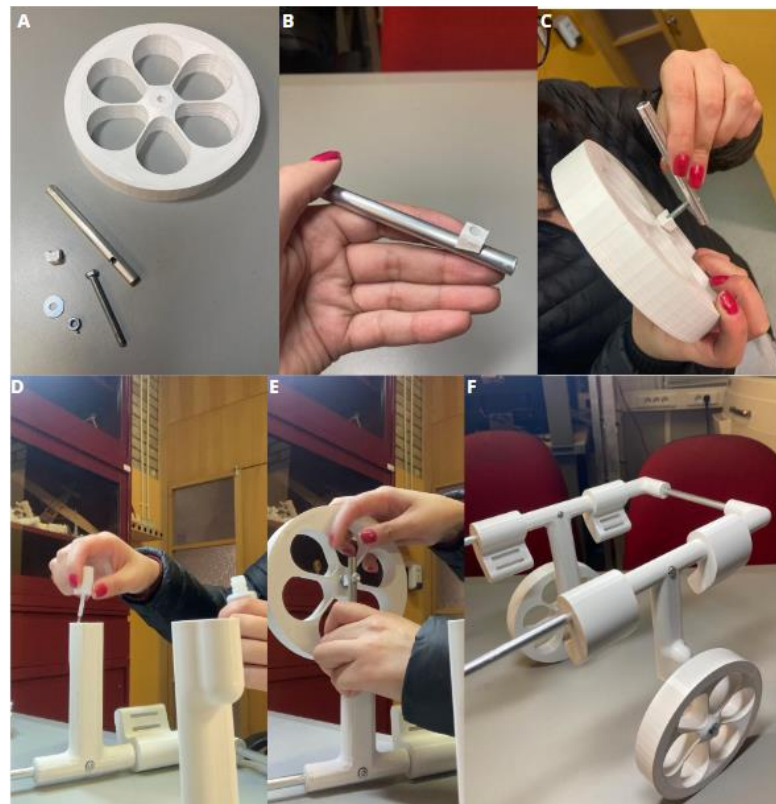
*Figura 44 - Acoplamento dos grampos.*

Em seguida foram acopladas as cantoneiras e a haste traseira, mostrados na Figura 45. Para fixar e não haver deslizamento, foi passado adesivo de base cianoacrilato.



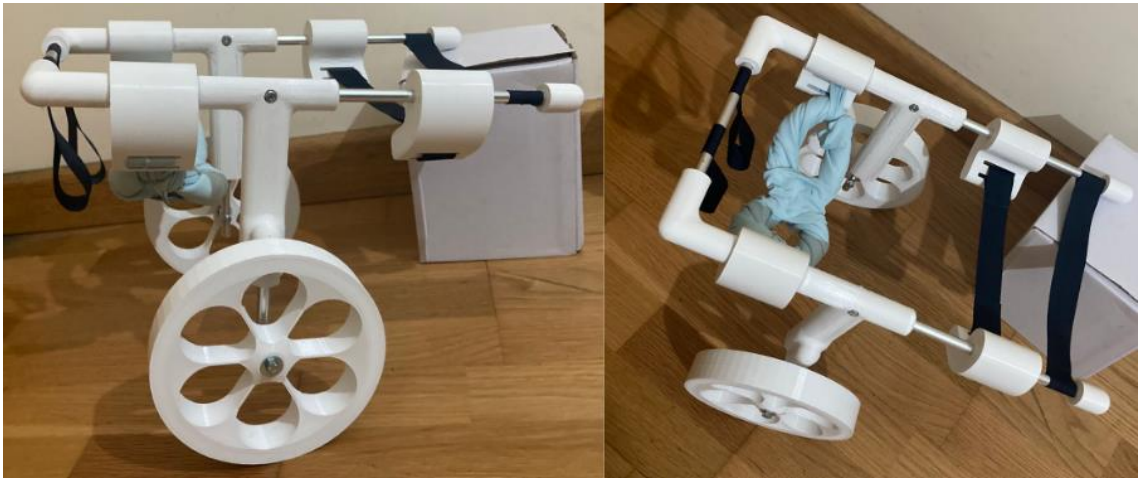
**Figura 45 - A) Peças a serem acopladas; B) Passando a super cola para fixação das extremidades; C) Peças acopladas; D) Haste traseira acoplada ao resto da estrutura.**

O próximo passo foi o acoplamento das rodas ao resto da estrutura (Figura 46).



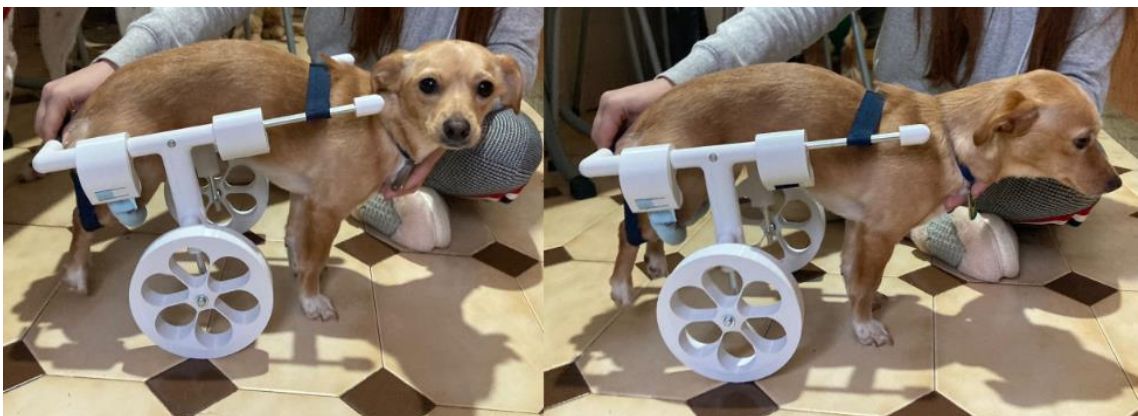
**Figura 46 - A) Peças a serem utilizadas; B) Acoplamento do camber ao alumínio; C) União de todas as peças; D) Cola para fixação da haste de alumínio para que não haja movimentação da peça; E) Acoplamento da roda ao resto da estrutura; F) Estrutura quase completa.**

Foram então inseridos tecidos para dar sustentação a barriga do animal, membros residuais ou patas sem movimento e pescoço, na Figura 47 é possível visualizar o aspecto final.



*Figura 47 - Cadeira de rodas após montagem.*

Por fim, foi realizado um teste de tamanho e funcionalidade no cão de quais foram retiradas as medidas, que embora não possua deficiências locomotoras, serviu de delimitador de medidas e possíveis testes de acomodação, como observa-se na Figura 46. Notou-se que algumas melhorias seriam necessárias na parte de fixação do cão à cadeira de rodas através do tecido.



*Figura 48 - Teste de tamanho e acomodação da cadeira de rodas no cão.*

Um segundo teste foi realizado, agora com as melhorias necessárias para uma melhor acomodação do cão a cadeira de rodas. Na Figura 49 é possível visualizar o segundo teste.



*Figura 49 - Segundo teste da cadeira de rodas.*

No segundo teste foi possível notar que ainda era necessária uma melhor fixação da parte dianteira do cão, o que resultou em um terceiro teste.

No terceiro e último teste da cadeira de rodas ao corpo do cão, foi utilizada uma roupa do próprio animal para fixar o corpo as hastes de alumínio, o que tornou a cadeira de rodas mais confortável ao animal e gerou estabilidade, como é possível observar na Figura 50.



*Figura 50 - Terceiro e último teste da cadeira de rodas.*

Em anexo encontra-se um tutorial passo a passo de como montar a cadeira de rodas em casa, desde as medidas do cão ate o passo a passo e o link para obter as peças para impressão.

## **5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS**

### **5.1 Trabalho desenvolvido**

Neste trabalho desenvolveu-se uma cadeira de rodas para cães de até 5kg que não possuem os membros pélvicos, que foi posteriormente fabricada pelo processo de impressão 3D, a fim de possibilitar que as pessoas possam construir cadeira de rodas para seus cães, em casa, por valores menores que as ofertadas no mercado. Para isso, utilizou-se de conhecimentos da Engenharia Mecânica juntamente com conhecimentos da Medicina Veterinária.

Concluiu-se que ao fabricar uma cadeira de rodas de forma independente e local, os custos serão reduzidos significativamente, variando de 59% a 95% em comparação com a compra de uma cadeira de rodas pronta. Portanto, a impressão 3D surge como uma excelente opção para melhorar a qualidade de vida do cão a um custo acessível.

Foram realizados testes no cão SRD da Tabela 1, a respeito do tamanho e da funcionalidade da prótese, onde através desse teste foi possível perceber que o projeto foi validado, cumprindo seus objetivos e unindo as áreas de conhecimento da Engenharia Mecânica e Medicina Veterinária.

O guia de fabricação da cadeira de rodas, juntamente com as peças, foram disponibilizados no site Thingiverse, permitindo que outras pessoas tenham acesso a essas informações e possam melhorar a qualidade de vida de seus animais de estimação.

### **5.2 Trabalhos futuros**

Mesmo que o objetivo inicial tenha sido atingido, existem sempre melhorias que podem ser realizadas a fim de aprimorar os projetos, dentre estas, podem ser citadas:

- Estudo de outros materiais de impressão, a fim de analisar qual possui a melhor resistência para a finalidade desejada. Uma possibilidade é a impressão no material ASA (Acrilonitrilo-estireno-acrilato-nitrilo), que tem como vantagens a resistência aos raios UV, tornando a prótese resistente ao tempo (altas temperaturas, chuva e vento) e não necessitando de pintura para que possa ser uma maior vida útil, além de ter uma

resistência semelhante à do material ABS (Acrilonitrilo-butadieno-estireno).

- Melhoria nas peças adaptáveis, pois a cadeira de rodas produzida é passível de ser adaptada a qualquer porte de cão, podendo assim ser constantemente adaptada de acordo com as necessidades de cada cão;
- Testes destrutivos das peças desenhadas, para analisar com dados reais qual a resistência.
- Remodelagem de peças e testes de resistência das mesmas realizado em laboratório de ensaios.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, J. R., Paz, C. E., & Oliveira, M. R. (2020). Cinoterapia: A importância do vínculo entre cães e humanos. *Psicologia.pt*. Fonte: <https://www.psicologia.pt/artigos/textos/A1388.pdf>

Amadio, A. C. (2003). Biomecânica do esporte: fundamentos e aplicações. *Atividade física e desporto: Fundamentos e contexto.*, pp. 15-24. Fonte: <https://www.scielo.br/j/rbefe/a/6LRgqXLHGhgyrFM5FG5Vydt/?format=pdf&lang=pt>

Anderson, M. A., & Mann, F. A. (1994). Force plate analysis: a noninvasive tool for gait evaluation. *Small Animal Orthopedics*, 15, pp. 857-867.

Ann L. Johnson, D. D. (2005). *Orthopedic surgery of the dog and cat.* . Saunders. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-7216-9381-1.X5001-7>

Azevedo, L. G., Junior, L. O., Oliveira, M. d., Amorim, N. D., Coutinho, K. D., Nagem, D. A., . . . Ricardo. (2018). Órteses e próteses aplicadas à tecnologia 3d na saúde: uma revisão sistemática. Em C. L. Neto, D. A. Nagem, H. R. Heks, K. D. Coutinho, & R. A. Valentim, *Tecnologia 3D na saúde: uma visão sobre órteses e próteses, tecnologias assistivas e modelagem 3D* (p. 95). Natal: SEDIS-UFRN.

Badotti, A. V. (2003). *Avaliação do processo de metalização superficial aplicado à peças obtidas por estereolitografia*. Florianópolis, Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina. Fonte: <https://core.ac.uk/download/pdf/30367031.pdf>

Besko, M., Bilyk, C., & Sieben, P. G. (2017). Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D. *Gestão Tecnologia e Inovação*,

v. 1, pp. 9-18. Fonte: <https://www.opet.com.br/faculdade/revista-engenharias/pdf/n3/Artigo2-n3-Bilyk.pdf>

Bombonato, P. P., Moraes, V. V., & Oliveira, M. A. (2005). Biomecânica canina. *Fisioterapia veterinária*, pp. 13-17.

Bombonato, P. P., Moraes, V. V., & Oliveira, M. A. (2005). Biomecânica canina. São Paulo: Manole.

Borghese, I., Fair, L., Kaufmann, M., & Mich, P. M. (2013). Dispositivos Assistivos, Órteses, Próteses e Bandagens. Em M. C. Zink, & J. B. Dyke, *Medicina Esportiva Canina e Reabilitação*.  
doi:<https://doi.org/10.1002/9781118783443.ch11>

*Cadela ganha prótese feita em impressora 3D*. (2021). Fonte: Canal do pet: <https://canaldopet.ig.com.br/guia-bichos/cachorros/2021-08-09/cadela-usa-protese-feitas-em-impressora-3d.html>

Carvalho, J. A. (2003). *Amputações de membros inferiores: em busca da plena reabilitação* (2 ed.). São Paulo: Manole.

Charelli, L. (6 de Junho de 2021). *A impressão 3D na medicina veterinária*. Fonte: BioEdTech: <https://www.bioedtech.com.br/post/a-impress%C3%A3o-3d-na-medicina-veterin%C3%A1ria>

Coutinho, K. S. (2018). Modelagem e tecnologias 3d (CAD/CAM) aplicada à saúde: Uma revisão sistemática. *Karilany D. Coutinho Org. Natal. SEDIS-UFRN*.

Cruz, C. M. (2007). *As raças portuguesas de cães de gado e de pastoreio: Aspectos morfológicos e comportamentais*. Lisboa. Fonte: [https://www.carnivoreconservation.org/files/thesis/oliveiracruz\\_2007\\_msc.pdf](https://www.carnivoreconservation.org/files/thesis/oliveiracruz_2007_msc.pdf)

Dal Corso, M. S. (2019). *Desenvolvimento de prótese para membro anterior de um canino por meio de impressão 3D*. Caxias do Sul. Fonte:  
<https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/5743/TCC%20Marcelo%20dos%20Santos%20Dal%20Corso.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

DeCamp, C. E. (1997). Kinetic and kinematic gait analysis and the assessment of lameness in the dog. *The Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, v. 27, pp. 825-840. doi:[https://doi.org/10.1016/S0195-5616\(97\)50082-9](https://doi.org/10.1016/S0195-5616(97)50082-9)

Frantz, L. A., Mullin, V. E., Pionnier-Capitan, M., Lebrasseur, O., Ollivier, M., Perri, A., . . . Larson, G. (2016). Genomic and archaeological evidence suggest a dual origin of domestic dogs. *Science*, pp. 1228-1231. doi:  
[10.1126/science.aaf3161](https://doi.org/10.1126/science.aaf3161)

Gabarra, L. M., & Crepaldi, M. A. (2009). Aspectos psicológicos da cirurgia de amputação. *Aletheia*, pp. 59-72. Fonte:  
[http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-03942009000200006](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-03942009000200006)

Galibert, F., Quignon, P., Hitte, C., & André, C. (2011). Toward understanding dog evolutionary and domestication history. *Comptes Rendus Biologies*, v. 334, 190-196. doi:<https://doi.org/10.1016/j.crv.2010.12.011>

Grimm, T. (2005). Choosing the Right RP System. *A study of seven RP Systems*.

Gross, J., Fetto, J., & Rosen, E. (2000). *Exame musculoesquelético*. Porto Alegre: Artmed Editora.

Grossman, J. D., & Sisson, S. (2000). *The Anatomy of the Domestic Animals*. Rio de Janeiro: Salvat.

Guerra, Y. (2022). *Estudante imprime próteses em 3D para cães amputados*.

Fonte: Vida de bicho:

<https://vidadebicho.globo.com/comportamento/noticia/2022/04/estudante-imprime-proteses-em-3d-para-caes-amputados.ghtml>

Guzzo, I. (2020). Órtese para cães com displasia coxofemoral. *Issu*. Fonte:

[https://issuu.com/isabelleguzzo/docs/issuu\\_avaliac\\_a\\_o3\\_designvisual\\_isabelle\\_paula\\_ros](https://issuu.com/isabelleguzzo/docs/issuu_avaliac_a_o3_designvisual_isabelle_paula_ros)

Harada, E. (2014). *Você vai se emocionar: impressora 3D dá vida nova à cão que não podia andar*. Fonte: Tecmundo:

<https://www.tecmundo.com.br/impressora-3d/69448-voce-emocionar-impressora-3d-vida-nova-cao-nao-andar.htm>

Hottinger, H. A., DeCamp, C. E., Olivier, N. B., Hauptman, J. G., & Soutas-Little, R. W. (1996). Noninvasive kinematic analysis of the walk in healthy large-breed dogs. *American Journal of Veterinary Research*, v. 57.

doi:<https://doi.org/10.2460/ajvr.1996.57.03.381>

Inman, V. T., Ralston, H. J., & Todd, F. (1998). *A locomoção humana*. Rose J, Gamble JG. *Marcha humana*. (2ª ed.). São Paulo: Premier.

Jimenez, F. M., Rivera, A. D., Martins, F. M., Rubio, J. C., & Reis, P. H. (2018). Fabricação de prótese personalizada para um cão utilizando a tecnologia de manufatura aditiva FDM. *CpnBRepro*.

Junqueira, A. (2012). *1992 – Índia Huyra*. Fonte: Junkafotos:

<http://junkafotos.blogspot.com/2012/11/1992-india-huyra-india-amamenta-filhote.html>

Karasinski, V. (2013). *Como funciona uma impressora 3D? [ilustração]*. Fonte:

Tecmundo: <https://www.tecmundo.com.br/impressora-3d/38826-como-funcionauma-impressora-3d-ilustracao-.htm>

Kirpensteijn, J., Bos, R. v., Brom, W. E., & Hazewinkel, H. A. (Fevereiro de 2000). Ground reaction force analysis of large breed dogs when walking after the amputation of a limb. *Veterinary Record*, pp. 155-159.

doi:10.1136/vr.146.6.155

Lacerda, T. F., Romanielo, A. F., Gomes, S. d., Souza, J. K., Carvalho, V. C., Machado, L. C., . . . Martins, A. C. (2020). Aplicabilidade da impressora 3D na prática médica contemporânea/ 3D printer applicability in contemporary medical practice. *Brazilian Journal of Health Review*. doi:

<https://doi.org/10.34119/bjhrv3n1-050>

Lage, M. H., Lamounier, A. R., & Pertence, A. E. (2016). Desenvolvimento de uma metodologia de fabricação de próteses e órteses para cães . *XXV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*.

Lima, F. C. (2022). Um estudo sobre a fabricação de órtese de membro animal por impressão 3D. Fonte:

<https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/27472/TCC%20-%20Felipe%20Coelho.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lovo, J. F., & Fortulan, C. A. (2016). Estudo de Propriedades Mecânicas e Anisotropia em Peças Fabricadas por Manufatura Aditiva Tipo FDM. *SiPGEM*.

Fonte:

[https://www.researchgate.net/publication/321162555\\_ESTUDO\\_DE\\_PROPRIEDADES\\_MECANICAS\\_E\\_ANISOTROPIA\\_EM\\_PECAS\\_FABRICADAS\\_POR\\_MANUFATURA\\_ADITIVA\\_TIPO\\_FDM](https://www.researchgate.net/publication/321162555_ESTUDO_DE_PROPRIEDADES_MECANICAS_E_ANISOTROPIA_EM_PECAS_FABRICADAS_POR_MANUFATURA_ADITIVA_TIPO_FDM)

Luccia, N. D. (2002). Reabilitação Pós-amputação. Em P. GBB, C. AA, & B. E, *Interfaces da angiologia e cirurgia vascular*. São Paulo: Rocca.

Luccia, N. G., & Guimarães, J. S. (1996). Amputação de membros. Em F. S. Goffi, *Técnica cirúrgica: bases anatômicas, fisiopatológicas e técnicas de cirurgia* . São Paulo: Editora Atheneu.

Marcellin-Little, D. J., Drum, M. G., Levine, D., & McDonald, S. S. (2015). Orthoses and Exoprostheses for Companion Animals. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, pp. 167-183.  
doi:10.1016/j.cvsm.2014.09.009

Marques, L. G., Neto, R. C., Lins, R. A., & Guimarães, M. C. (2019). Technological innovations of the 3D printer applied to health. *Revista GEINTEC– ISSN: 2237-0722*, pp. 854-864. doi:10.7198/S2318-3403201900010888

Mazon, M. d. (2020). O melhor amigo do homem: Afetos e cachorros no Brasil em perspectiva sociológica. *Estudos de sociologia*.  
doi:https://doi.org/10.52780/res.14080

Melo, P. H. (2022). Impressão 3D de uma órtese para membro torácico direito de um cão de raça Toy. Fonte:  
<https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/prefix/16352/1/21853336.pdf>

Mich, P. M. (2014). The Emerging Role of Veterinary Orthotics and Prosthetics (V-OP) in Small Animal Rehabilitation and Pain Management. *Topics in companion animal medicine*. doi:https://doi.org/10.1053/j.tcam.2014.04.002

Morandini, M. M., & Vechio, G. H. (2020). Impressão 3D, tipos e possibilidades: Uma revisão de suas características, processos, usos e tendências. *Revista Interface Tecnológica*.  
doi:https://doi.org/10.31510/infa.v17i2.866

Muniz, A. M. (2008). *Quantificação da marcha humana utilizando análise de componentes principais para avaliação de procedimentos terapêuticos*. Fonte:  
[https://www.peb.ufrj.br/images/Tese0079\\_2008\\_11\\_12.pdf](https://www.peb.ufrj.br/images/Tese0079_2008_11_12.pdf)



Silva, G. C. (2006). *Análise cinemática da marcha de cães da raça Golden Retriever saúdaveis*. Fonte:

<https://www.scielo.br/j/pvb/a/F3fcNZZbGrBdvq55nhvJcSh/abstract/?lang=pt>

*Suplemento para cadeira de rodas pneumática*. (2023). Fonte: OrtoCanis:

[https://www.ortocanis.com/pt/acessorios-silla-de-ruedas-autoajustable/rodas-pneumaticas-cadeira-rodas.html?SubmitCurrency=1&id\\_currency=1&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQiA4NWrBhD-ARIsAFCKwWtSEIKdXRESbbpDX8lGg5soKB2ZhNgxCYlyDibhu9p221Y\\_lxbnGLoaAu45EALw\\_wcB](https://www.ortocanis.com/pt/acessorios-silla-de-ruedas-autoajustable/rodas-pneumaticas-cadeira-rodas.html?SubmitCurrency=1&id_currency=1&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA4NWrBhD-ARIsAFCKwWtSEIKdXRESbbpDX8lGg5soKB2ZhNgxCYlyDibhu9p221Y_lxbnGLoaAu45EALw_wcB).

Teixeira, M. F. (2021). *Simulação biomecânica de próteses para cães*. Fonte:

[https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/20130/1/DM\\_MarianaTeixeira\\_2021\\_MBIOM.pdf](https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/20130/1/DM_MarianaTeixeira_2021_MBIOM.pdf)

Tokuriki, M. (1973). Electromyographic and Joint-Mechanical Studies in Quadrupedal Locomotion. I. Walk. doi:10.1292/jvms1939.35.433

Tussi, L. (2022). *Sobre Rodas: Projeto Adaptativo de uma Prótese em Impressão 3D para um cão com membro pélvico amputado*. Fonte:

<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/29435/1/proteseimpressao3dcaomembros.pdf>

Vanelli, C. M., & Maba, I. K. (2020). Bioimpressão: uma abordagem em saúde para impressão 3D. *Revista Saúde e Desenvolvimento*. Fonte:

<https://www.revistasuninter.com/revistasauade/index.php/saudeDesenvolvimento/article/view/933>

Vidal, B. D. (2022). *Uso de prototipagem rápida na confecção de prótese e cadeira de rodas para cão*. Fonte:

<https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/prefix/16344/1/21751667.pdf>

*Vídeo: cadela ganha prótese feita em impressora 3D.* (Agosto de 2021). Fonte: Canal do pet: <https://canaldopet.ig.com.br/guia-bichos/cachorros/2021-08-09/cadela-usa-protese-feitas-em-impressora-3d.html>

Volpato, N. (2007). *Prototipagem Rápida: Tecnologias e Aplicações*. São Paulo: Editora Blucher.

Volpato, N. (2021). *Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D*. São Paulo: Editora Blucher.

Wayne, R. K., & Vila, C. (2001). Phylogeny and origin of the domestic dog. Em A. Ruvinsky, & J. Sampson, *The Genetics of the Dog*. CABI.  
doi:10.1079/9780851995205.0001

Weigel, P. J. (2007). Amputações. Em D. Slatter, *Manual de cirurgia de pequenos*. São Paulo: Manole.

Wiltgen, F., & Alcalde, E. (2019). Prototipagem rápida aditiva aplicada em dispositivos funcionais de auxílio humano. *ABCM*.  
doi:10.26678/ABCM.COBEF2019.COF2019-0442

Wong, J. Y., & Pfahnl, A. C. (2014). 3D printing of surgical instruments for long-duration space missions. *Aviation, space, and environmental medicine*.  
doi:10.3357/asem.3898.2014



**ESTE GUIA É UM TUTORIAL DE COMO MONTAR A CADEIRA DE RODAS DO SEU CÃO IGUAL A MOSTRADA NA IMAGEM ABAIXO:**

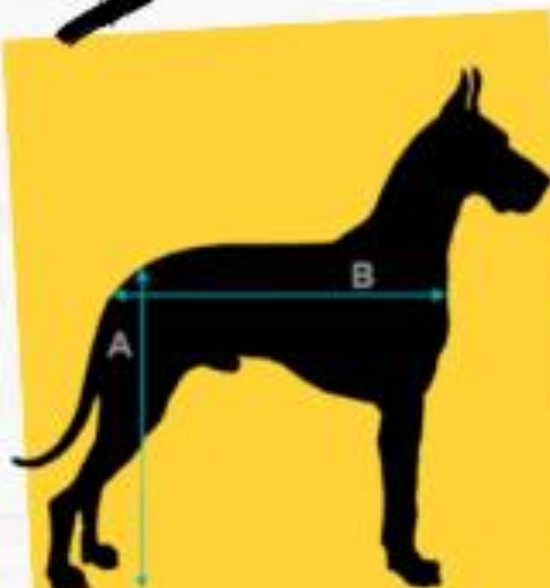


**PARA ISSO VOCÊ PRECISARÁ DOS SEQUINTE MATERIAIS:**

- **IMPRESSORA 3D;**
- **UMA TRENA;**
- **1 TUBO DE ALUMÍNIO DE Ø8;**
- **2 PARAFUSOS SEXTAVADOS M5;**
- **2 PARAFUSOS SEXTAVADOS M4;**
- **COLA SUPER BONDER;**
- **TECIDO;**
- **FURADEIRA;**
- **MATERIAL PARA CORTE DO TUBO DE ALUMÍNIO.**

1

TIRE AS MEDIDAS DO SEU CÃO:



**A** - MEÇA A ALTURA DA COSTAS ATÉ O CHÃO;

**B** - MEÇA O COMPRIMENTO DA TRASEIRA ATÉ O PESCOÇO.



**C** - MEÇA O COMPRIMENTO DA TRASEIRA DO CÃO.



\*\* Anote-as em uma tabela para posterior consulta.

2

ENTRE NO LINK ABAIXO PARA OBTER AS PEÇAS  
PARA IMPRESSÃO:



<https://www.thingiverse.com/thing:6526556>



AGUARDE TODAS AS PEÇAS SEREM IMPRESSAS

# 3

## CORTE OS ALUMÍNIOS

AS MEDIDAS RETIRADAS NA ETAPA 1, SÃO IMPORTANTES AGORA:

1º: CORTE OS ALUMÍNIOS DAS HASTES LATERAIS DE ACORDO COM A MEDIDA **B**



- PARA ISSO, UTILIZE UMA FITA MÉTRICA / TRENA E COM UMA CANETA MARQUE NO ALUMÍNIO A MEDIDA CORRETA



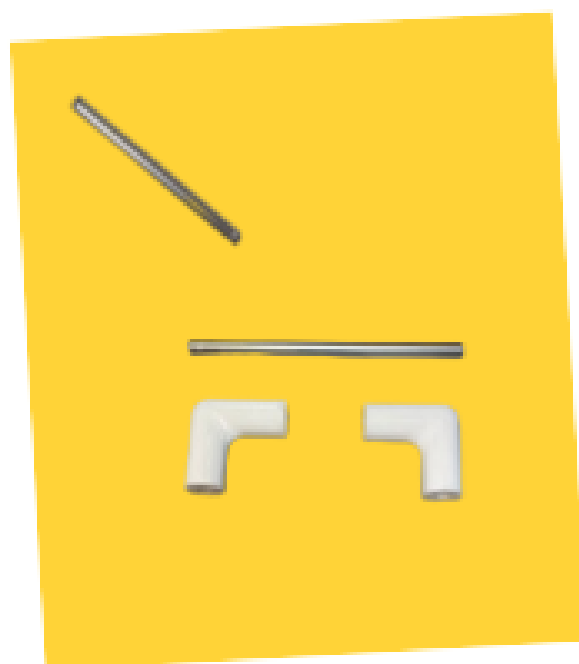
## 2º: CORTE OS ALUMÍNIOS DE SUSTENTAÇÃO DA RODA

- UTILIZE A MEDIDA CORRETA DE ACORDO COM A MEDIDA A



### 3º: CORTE OS ALUMÍNIOS DA TRASEIRA

- UTILIZE A MEDIDA C PARA REALIZAR O CORTE.



4º - ANTES DE INICIAR A MONTAGEM É NECESSÁRIO FAZER OS FUROS PARA FIXAÇÃO DAS PEÇAS DE SUPORTE E DAS RODAS. PARA ISSO REALIZE UMA PRE MONTAGEM. VERIFIQUE ONDE AS PEÇAS SERÃO FIXADAS, MARQUE COM UMA CANETA E REALIZE O FURO DE ACORDO COM O PARAFUSO QUE FOR UTILIZAR.

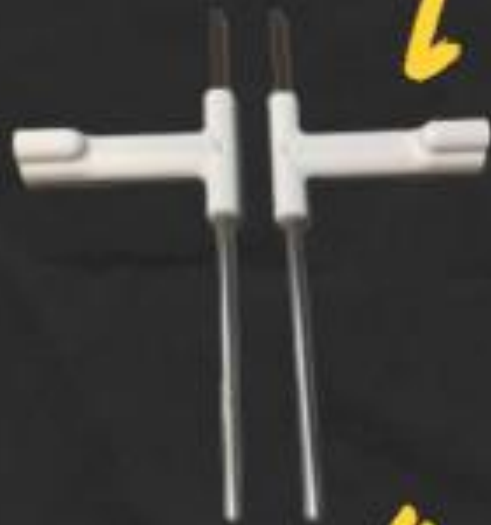
4

# MONTAGEM

1



2



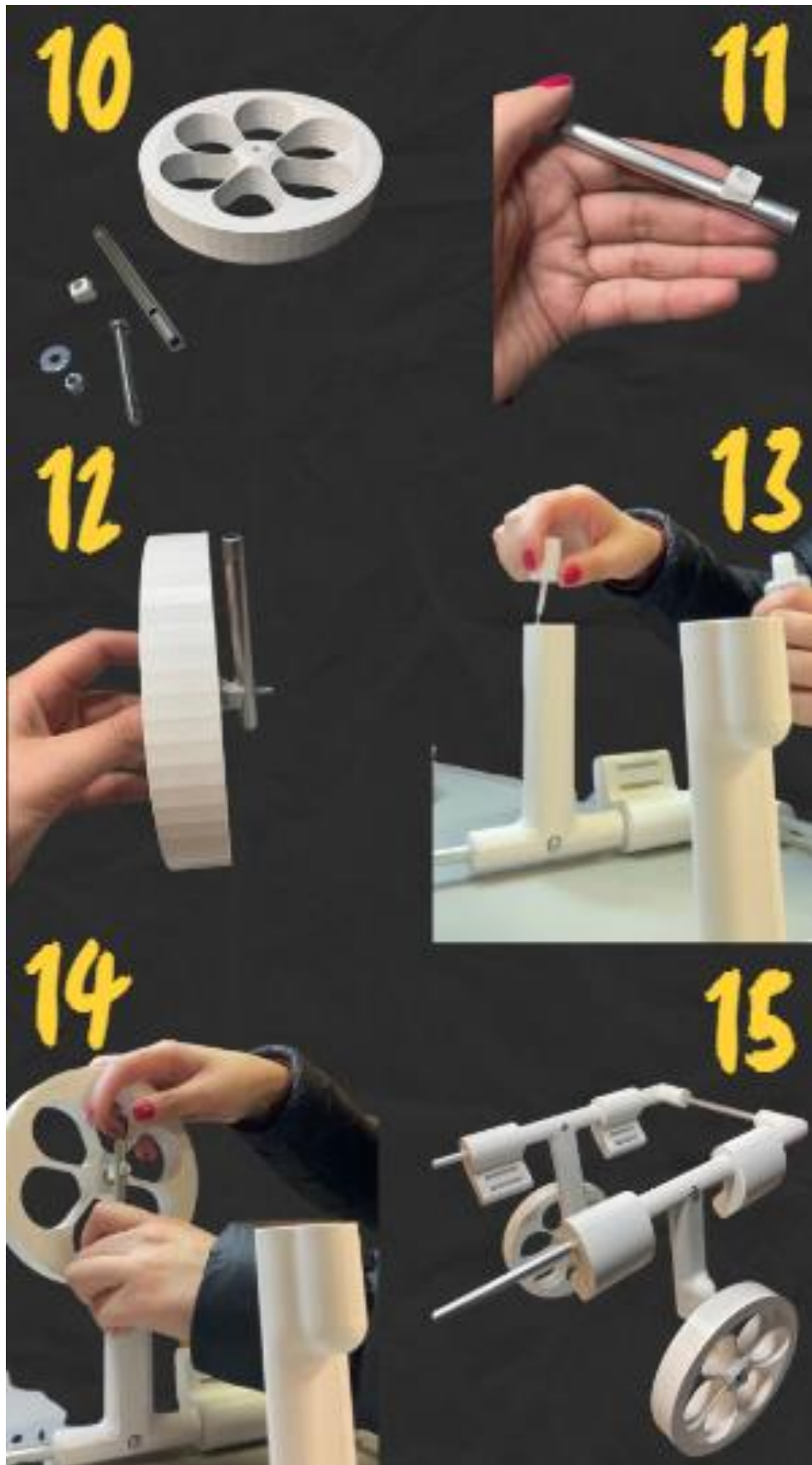
3



4







**A ÚLTIMA ETAPA DA MONTAGEM SÃO OS TAMPÕES E OS TECIDOS PARA ACOMODAÇÃO DO CÃO. PARA REALIZAR A PARTE DO TECIDO, SERÃO DEIXADOS ALGUNS MODELOS QUE PODEM SER SEGUIDOS NA HORA DA COMPRA OU CONFECÇÃO.**

