



**PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**CONCEPÇÃO DE UM DISPOSITIVO PARA  
AUXÍLIO À LOCOMOÇÃO DE CANINOS**

**AUGUSTO CÉSAR MAGALHÃES GALIZA JÚNIOR  
VICTOR HUGO DE OLIVEIRA**

**Brasília, 2 de dezembro de 2020**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE GRADUAÇÃO

# CONCEPÇÃO DE UM DISPOSITIVO PARA AUXÍLIO À LOCOMOÇÃO DE CANINOS

**AUGUSTO CÉSAR MAGALHÃES GALIZA JÚNIOR**  
**VICTOR HUGO DE OLIVEIRA**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção dos graus de Engenheiro de Produção e Engenheiro Mecânico, respectivamente.

## Banca Examinadora

Profª. Drª. Andrea Cristina dos Santos, UnB/ EPR (Orientadora)

---

Prof. Dr. Antônio Manoel Dias Henriques, UnB/ ENM

---

Profª. Drª. Dianne Magalhães Viana, UnB/ ENM (Orientadora)

---

Prof. Dr. Mário Olavo de Carvalho, UnB/ ENM

---

Brasília, 2 de dezembro de 2020

# Dedicatórias

*A meu pai, minha eterna fonte de  
motivação.*

*Victor Hugo de Oliveira*

*A minha esposa, Bruna.*

*Augusto César G.M. Júnior*

# Agradecimentos

*Agradeço a minha orientadora Andrea por sua gentileza, presteza e prontidão. A meus pais por me darem as ferramentas para que eu pudesse me tornar o homem que sou. A meus familiares e amigos por todo o suporte, em especial ao Victor pela parceria neste projeto.*

*A minha esposa por ser minha fonte diária de inspiração.*

*A Deus por me amar.*

*Augusto César Galiza Magalhães Júnior*

*A realização deste trabalho não seria possível sem o apoio de familiares, colegas de trabalho e o conhecimento e auxílio fornecidos pelos professores da Universidade de Brasília.*

*Agradeço especialmente à minha esposa, Samara, pela motivação diária e conselhos preciosos.*

*Aos meus tios professores, Heloísa e Aquiles, pela disposição gratuita em ajudar em qualquer momento. Suas dicas foram essenciais.*

*As minhas mães, Andrea e Lu, pelas orações fervorosas desejando meu sucesso.*

*Às professoras Dianne e Andréia, nossas orientadoras, parceiras nessa empreitada pioneira que uniu duas engenharias, pela paciência e disposição em nortear nossas ideias muitas vezes desconexas.*

*Ao meu amigo Augusto, pela coragem em aceitar este desafio.*

*Ao meu pai, por tudo.*

*À cadela Estrela, por existir.*

*Victor Hugo de Oliveira*

---

## RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento conceitual de um dispositivo cujo objetivo é auxiliar a locomoção de caninos com membros amputados ou portadores de deficiências congênitas, tendo em vista a escassez de produtos com essa finalidade. A aplicação deste estudo baseou-se no caso da cadela Estrela, que apresenta deficiência em seu membro torácico. A fim de auxiliá-la em sua disfunção, foi proposta uma metodologia baseada na integração das diretrizes do Manual de Avaliação de Tecnologia Assistiva (ATA), desenvolvida pela Organização Mundial da Saúde (2018), aliada às metodologias amplamente empregadas no desenvolvimento de produtos de PAHL et al (2007) e ROZENFELD et al (2006). Como resultados, obtiveram-se: o conhecimento dos tipos de próteses caninas existentes, seus processos de fabricação e materiais utilizados; o teste de uma metodologia para o desenvolvimento de produtos assistivos para animais; uma concepção de produto a ser aplicado na Estrela; e a aferição, por meio de simulações numéricas nas quais utilizou-se o Método dos Elementos Finitos (MEF), das tensões nas estruturas rígidas frente aos esforços gerados durante a movimentação.

---

## ABSTRACT

This paper presents the conceptual development of a device whose objective is helping the locomotion of canines that have amputated limbs or those with congenital disabilities, owing to the scarcity of products for this purpose. This study's application was based on the case of the dog Estrela, who has a deficiency in her thoracic limb. In order to assist in her dysfunction, a methodology was proposed to unite the guidelines from the Assistive Technology Assessment (ATA), developed by the World Health Organization (2018), with the widely used product design methodologies of PAHL et al (2007) and ROZENFELD et al (2006). As a result, we obtained: the knowledge of canine prostheses existing kinds, their manufacturing processes and materials; a tested method for developing assistive products for animals; a conceptual design of a product to be applied on Estrela; and the measurement, by numerical simulations, of the stresses in rigid structures due to the efforts generated during movement by the Finite Element Method (FEM).

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrela. Fonte: Autores.....	14
Figura 2 – Porções do esqueleto dos caninos. Fonte: Miranda et al. (2015).....	19
Figura 3 – Articulações caninas. Fonte: Lage et al. (2018). ....	20
Figura 4 – Membro Torácico. Fonte: Miranda et al. (2015).....	20
Figura 5 - Membro Pélvico. Fonte: Miranda et al. (2015). ....	23
Figura 6 – Centros de massa dos membros torácico e pélvico e posição da FRS. Fonte: Lage et al. (2018). ....	29
Figura 7 – Efeitos da amputação parcial do membro pélvico. Fonte: Lage et al. (2018). ....	30
Figura 8 – Cão utilizando prótese de membro pélvico. Fonte: Animal Orthocare (2019). ....	42
Figura 9 – Cão com prótese de membro torácico. Fonte: Animal Orthocare (2019). ....	42
Figura 10 – Cão Duke antes e depois da prótese. Fonte: Nishimura (2018).....	50
Figura 11 – Membro artificial da pata dianteira do cão. Fonte: (CHUANZONG, 2015). .....	53
Figura 12 – Prótese de pata. Fonte: (Autor Desconhecido, 1975).....	53
Figura 13 – Membro artificial para Pug com deficiência nos membros traseiros. Fonte: (RUIQING, 2018).....	54
Figura 14 – Ciclo de vida do produto. Fonte: Pahl et al. (2007).....	56
Figura 15 - Processo de Desenvolvimento de Produto. Fonte: Rozenfeld et al. (2006). ....	58
Figura 16 - O processo ATA – Ações do Usuário/Cliente. Fonte: Federici e Scherer (2012). ....	60
Figura 17 - O processo ATA - Centro de assistência técnica. Fonte: Federici e Scherer (2012).....	61
Figura 18 – Curva tensão x deformação para um material submetido a ensaio de tração. Fonte: (NORTON, 2004).....	65
Figura 19 – Tensões de contato. Fonte: (CARVALHO, 2007).....	65
Figura 20 – Vista frontal da deformidade da cadela Estrela. Fonte: Autores.....	67
Figura 21 – Curvatura excessiva da coluna. Fonte: Autores. ....	69
Figura 22 – Posicionamentos anormais dos membros saudáveis. Fonte: Autores. .	69
Figura 23 – Confecção do molde de gesso. Fonte: Autores.....	71
Figura 24 – Molde de gesso. Fonte: Autores.....	71
Figura 25 – Classificação Internacional de Funcionalidade Incapacidade e Saúde. Fonte: OMS (2001).....	74
Figura 26 – Matriz de atributos. Fonte: Rozenfeld et al. (2006).....	75
Figura 27 – Diagrama de Mudge. Fonte: Rozenfeld et al. (2006).....	75
Figura 28 – Diagrama de Kano Fonte: Rozenfeld et. al. (2006). ....	76
Figura 29 – Matriz da Casa da Qualidade do QFD. Fonte: Rozenfeld et al. (2006). ....	76
Figura 30 – Fases do Projeto Conceitual. Fonte: Rozenfeld et al. (2006). ....	77
Figura 31 – Desenvolvimento da Estrutura Funcional. Fonte: Pahl et al. (2007).....	78
Figura 32 – Matriz Morfológica. Fonte: Pahl et al. (2007).....	78
Figura 33 – Diagrama de Pugh. Fonte: Pugh, 1981. Adaptado pelos autores. ....	79
Figura 34 – Evolução de dispositivos para cães com deficiência locomotora (CATRAKA, YELP, 2019; NISHIMURA, 2018). ....	84
Figura 35 – Modelos de cadeira Walkin Pets. Fonte: Nishimura (2018).....	85
Figura 36 – Cadeiras de rodas VetCar. Fonte: Nishimura (2018).....	85
Figura 37 – Cadeira "Amigo". Fonte: Nishimura (2018).....	86

Figura 38 – Próteses do cão Derby. Fonte: Nishimura (2018).....	87
Figura 39 – Processo de impressão FDM. Fonte: Lovo & Fortulan (2016).....	93
Figura 40 – Deposição de filamento e direção de carregamento. Fonte: Lovo & Fortulan (2016). .....	93
Figura 41 – Ensaio de tração de filamentos para impressão 3D. Fonte: Site da Empresa 3DLAB.....	95
Figura 42 – Propriedades dos filamentos para impressora 3D. Fonte: Site da Empresa 3DLAB.....	95
Figura 43 – Capa do questionário ATA adaptado para animais. Fonte: Autores.....	97
Figura 44 – Ciclo de vida do projeto de projeto de produto. Fonte: Autores.....	99
Figura 45 – Diagrama de Pareto. Fonte: Autores. ....	105
Figura 46 – Diagrama de Kano do Projeto. Fonte: Autores.....	106
Figura 47 – Casa da Qualidade - QFD. Fonte: Autores.....	108
Figura 48 – Função Total. Fonte: Autores. ....	111
Figura 49 – Esboço do produto, Concepção 1. Fonte: Autores.....	119
Figura 50 – Esboço do produto, Concepção 2. Fonte: Autores.....	119
Figura 51 – Esboço do Protótipo, Concepção 3. Fonte: Autores.....	120
Figura 52 – Componentes da Concepção 2. Fonte: Autores.....	124
Figura 53 – Evolução do formato da Cápsula. Fonte: Autores. ....	125
Figura 54 – Formatos iniciais para a Pata artificial. Fonte: Autores.....	126
Figura 55 – Sistemas de aperto da abraçadeira. Fonte: Mercado Livre® .....	127
Figura 56 – Peitoral zeedog®. Fonte: zeedog®. ....	128
Figura 57 – Peitoral unido à envoltória. Fonte: Autores.....	128
Figura 58 – Alterações na envoltória e peitoral. Fonte: Autores. ....	129
Figura 59 – Pata artificial. Fonte: Autores.....	129
Figura 60 – Cadela Estrela utilizando a concepção do dispositivo. Fonte: Autores.....	130
Figura 61 – Starwalker (elementos rígidos). Fonte: Autores.....	130
Figura 62 – Vista explodida do modelo Starwalker. Fonte: Autores. ....	131
Figura 63 – DCL Cápsula. Fonte: Autores.....	134
Figura 64 – DCL Abraçadeira. Fonte: Autores.....	135
Figura 65 – DCL Pata artificial. Fonte: Autores.. ....	135
Figura 66 – Definição do material no modelo linear. Fonte: Autores. ....	138
Figura 67 – Geometria fixa Cápsula. Fonte: Autores.....	139
Figura 69 – Forças atuantes na Cápsula. Fonte: Autores. ....	139
Figura 70 – Malha Cápsula. Fonte: Autores. ....	139
Figura 71 – Geometria fixa e conector da Abraçadeira. Fonte: Autores.....	140
Figura 72 – Malha Abraçadeira. Fonte: Autores. ....	140
Figura 73 – Geometria fixa e forças atuantes na Pata. Fontes: os autores. ....	141
Figura 74 – Malha Pata. Fonte: Autores.....	142
Figura 74 – Simulação linear Cápsula. Fonte: Autores. ....	143
Figura 75 – Simulação linear Abraçadeira. Fonte: Autores. ....	143
Figura 76 – Simulação linear Pata. Fonte: Autores. ....	144
Figura 77 – Modelo físico Starwalker. Fonte: Autores. ....	146
Figura 78 – Encaixe do molde de gesso no modelo impresso. Fonte: Autores.....	147

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Qualidade de vida para cães.....	34
Tabela 2 – Categorias de Tecnologias Assistivas (imagens adaptadas).....	38
Tabela 3 – Materiais utilizados na confecção de próteses para cães. ....	44
Tabela 4 – Indicadores do nível de qualidade de vida de um cão. ....	68
Tabela 5 – Indicadores do nível de dor de um cão.....	68
Tabela 6 – Dimensões corporais e distância relevantes à construção do protótipo. .	70
Tabela 7 – Etapas de desenvolvimento do projeto e suas respectivas bibliografias.	73
Tabela 8 – Avaliação dos projetos existentes. ....	88
Tabela 9 – Custos da matéria-prima para impressão 3D. ....	96
Tabela 10 – Necessidades obtidas por meio da ferramenta ATA adaptada. ....	98
Tabela 11 – Fases do ciclo de vida do produto, clientes e respectivas necessidades.	100
Tabela 12 – Matriz de Atributos. ....	102
Tabela 13 – Requisitos de cliente.....	103
Tabela 14 – Diagrama de Mudge Parcial. ....	104
Tabela 15 – Requisitos de clientes e seus respectivos atributos. ....	107
Tabela 16 – Especificações-Meta.....	110
Tabela 17 – Matriz de Decisão das estruturas funcionais. ....	113
Tabela 18 – Princípios de solução. ....	115
Tabela 19 – Concepções de Solução. ....	117
Tabela 20 – Matriz de Decisão das Concepções de produto. ....	121
Tabela 21 – BOM inicial. ....	123
Tabela 22 – Alternativas para Tecido Flexível. ....	127
Tabela 23 – Descrição das funções dos componentes estruturais da <i>Starwalker</i> ...	132
Tabela 24 – Detalhes dos componentes rígidos. ....	133
Tabela 25 – Valores máximos de tensão e deslocamento – análise linear.....	142
Tabela 26 – Deformações nas direções cartesianas na análise linear. ....	144
Tabela 27 – Orçamento da empresa Manivela®. ....	145
Tabela 28 – Massa e peso do modelo físico. ....	146

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

### Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
a.C	Antes de Cristo
ATA	<i>Assistive Technology Assessment</i>
BPM	<i>Ballistic Particle Manufacturing</i>
BOM	<i>Bill of Materials</i> - Estrutura do Produto
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CAE	<i>Computer-Aided Engineering</i>
CAPP	Planejamento de Processos Assistido por Computador
DFX	<i>Design for X</i>
DFMA	<i>Design for Manufacture and Assembly</i>
FDM	Modelagem por Deposição de Material Fundido (Fused Deposition Modeling)
F <sub>N</sub>	Função do produto na linha n
FMEA	Análise de Modos de Falha e Efeitos
ICF	Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde
IOT	Internet das coisas
LENS	Conformação Próxima ao Formato Final via Laser ( <i>Laser Engineered Net Shaping</i> )
LOM	Manufatura de Objetos em Lâminas ( <i>Laminated Object Manufacturing</i> )
MA	Manufatura Aditiva
MIM	Matriz Indicadora de Módulos
MJT	<i>Mult Jet Modeling</i>
MR	Manufatura Rápida
OMS	Organização Mundial da Saúde
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produtos
PETG	Piliteretalato de Etileno Glicol
PLA	Ácido Poliláctico
PR	Prototipagem Rápida

QFD	<i>Quality Function Deployment</i> – Desdobramento da Função Qualidade
QV	Qualidade de Vida
SSCs	Sistemas Subsistemas e Componentes
SGC	Cura Sólida na Base ( <i>Solid Ground Curing</i> )
SLA	Esteriolitografia ( <i>StereoLithography Apparatus</i> )
SLS	Sinterização Seletiva a Laser ( <i>Selective Laser Sintering</i> )
S <sub>nm</sub>	Princípios de soluções existentes
STL	Standard Triangle Language
TA	Tecnologia Assistiva
T <sub>g</sub>	Temperatura de Transição Vítreia
TRIZ	Teoria da Solução de Problemas Inventivos
V-OP	Órteses e Próteses Veterinárias ( <i>Veterinary Orthotic and Prosthetic</i> )
UnB	Universidade de Brasília
3D	Três Dimensões

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	12
1.2	JUSTIFICATIVA .....	14
1.3	OBJETIVO GERAL .....	15
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	15
<b>2</b>	<b>ESTADO DA ARTE E CONCEITOS FUNDAMENTAIS .....</b>	<b>17</b>
2.1	ANATOMIA CANINA E QUALIDADE DE VIDA .....	18
2.1.1	ANATOMIA DO APARELHO LOCOMOTOR .....	18
2.1.2	OSTEOLOGIA .....	19
2.1.3	ARTROLOGIA .....	19
2.1.4	ESQUELETO APENDICULAR .....	20
2.1.5	MEMBRO TORÁCICO .....	20
2.1.5.1	ESCÁPULA .....	21
2.1.5.2	ÚMERO .....	21
2.1.5.3	ANTEBRAÇO - RÁDIO E ULNA .....	21
2.1.5.4	MÃOS .....	22
2.1.5.5	ARTICULAÇÃO DO OMBRO .....	22
2.1.5.6	ARTICULAÇÃO DO COTOVELO .....	22
2.1.5.7	ARTICULAÇÕES DO RÁDIO COM A ULNA .....	22
2.1.5.8	ARTICULAÇÕES DO CARPO .....	23
2.1.6	MEMBRO PÉLVICO .....	23
2.1.7	DEAMBULAR CANINO .....	25
2.1.8	BIOMECÂNICA .....	27
2.1.9	PATOMECÂNICA .....	29
2.1.10	AMPUTAÇÃO .....	30
2.1.11	TERAPIAS DE REABILITAÇÃO CANINA .....	32
2.1.12	QUALIDADE DE VIDA CANINA .....	33
2.2	TECNOLOGIA ASSISTIVA .....	36
2.2.1	TECNOLOGIA ASSISTIVA PARA CÃES .....	40
2.2.2	PRÓTESE DE MEMBRO .....	40
2.2.2.1	FATORES DETERMINANTES NO DESENVOLVIMENTO DE UMA PRÓTESE .....	43
2.2.2.2	MATERIAIS UTILIZADOS NO DESENVOLVIMENTO DE UMA PRÓTESE .....	43
2.2.2.3	PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE PRÓTESES .....	45
2.2.3	MANUFATURA ADITIVA .....	46
2.2.4	MANUFATURA ADITIVA E MEDICINA VETERINÁRIA .....	49
2.2.5	ESTUDO DE PATENTES .....	51
2.3	METODOLOGIAS DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS .....	54
2.3.1	PAHL ET AL. (2007) .....	55
2.3.2.1	PLANEJAMENTO DO PRODUTO E ESCLARECIMENTO DA TAREFA .....	55
2.3.2.2	PROJETO CONCEITUAL .....	55
2.3.2.3	PROJETO DE INCORPORAÇÃO .....	56
2.3.2.4	PROJETO DETALHADO .....	56
2.3.2	ROZENFELD ET AL. (2006) .....	57
2.3.2.1	PLANEJAMENTO DE PROJETO .....	57
2.3.2.2	PROJETO INFORMACIONAL .....	57
2.3.2.3	PROJETO CONCEITUAL .....	57
2.3.2.4	PROJETO DETALHADO .....	58
2.3.2.5	PREPARAÇÃO DA PRODUÇÃO .....	58
2.3.2.6	LANÇAMENTO DO PRODUTO .....	58
2.3.3	ABORDAGENS PARA O DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS ASSISTIVAS .....	58
2.3.3.1	MANUAL DE AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA (ATA) .....	59
2.4	MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS – MEF .....	63
<b>3</b>	<b>SITUAÇÃO-PROBLEMA E METODOLOGIA .....</b>	<b>66</b>
3.1	PROJETO INFORMACIONAL .....	73
3.2	PROJETO CONCEITUAL .....	77

<b>4</b>	<b>PROJETO INFORMACIONAL .....</b>	<b>82</b>
4.1	AVALIAÇÃO DE PROJETOS EXISTENTES.....	83
4.2	LEGISLAÇÃO DE PROTEÇÃO ANIMAL .....	88
4.3	ESTUDO PRELIMINAR DE REQUISITOS DE PROJETO .....	91
4.3.1	QUALIDADE DO PRODUTO .....	91
4.3.2	ATRITO .....	91
4.3.3	PRINCÍPIOS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO E PROPRIEDADES DA MATÉRIA-PRIMA.....	92
4.3.4	VIABILIDADE ECONÔMICA .....	96
4.4	APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA.....	97
4.5	CICLO DE VIDA DO PROJETO DE PRODUTO, NECESSIDADES E REQUISITOS DE CLIENTE..	98
4.6	DIAGRAMA DE MUDGE .....	104
4.7	DIAGRAMA DE PARETO.....	105
4.8	DIAGRAMA DE KANO .....	106
4.9	CASA DA QUALIDADE - QFD .....	108
4.10	ESPECIFICAÇÕES-META.....	109
<b>5</b>	<b>PROJETO CONCEITUAL.....</b>	<b>111</b>
5.1	DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA FUNCIONAL .....	111
5.2	DESENVOLVIMENTO DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO .....	114
5.3	CONCEPÇÕES DO PRODUTO.....	118
5.4	ANÁLISE DAS CONCEPÇÕES DO PRODUTO .....	121
5.4.1	FORÇA SOBRE O MEMBRO REMANESCENTE.....	121
5.4.2	POSTURA DO ANIMAL .....	122
5.4.3	CUSTO DO PRODUTO.....	122
5.4.4	ESPESSURA DO REVESTIMENTO .....	122
5.4.5	RESISTÊNCIA DO PRODUTO .....	122
5.4.6	NÚMERO DE COMPONENTES.....	122
5.4.7	ALTURA DO PRODUTO .....	123
5.5	BILL OF MATERIAL – ESTRUTURA DO PRODUTO .....	123
5.6	DETALHAMENTO INICIAL DA CONCEPÇÃO.....	124
5.6.1	CAPSULA EXTERNA.....	125
5.6.2	BASE.....	126
5.6.3	ABRAÇADEIRA.....	126
5.6.4	TECIDO FLEXÍVEL .....	127
5.6.5	PEITORAL.....	128
5.6.6	INTERFACE ENTRE ENVOLTÓRIA E CÁPSULA .....	129
5.6.7	MODELO VIRTUAL STARWALKER – SOLIDWORKS® .....	130
5.6.8	COMPONENTES ESTRUTURAIS .....	131
5.6.9	DIAGRAMAS DE CORPO LIVRE.....	134
5.6.10	ANÁLISE ESTÁTICA – ESCOAMENTO .....	136
5.6.11	MODELO LINEAR ELÁSTICO .....	137
5.7	ANÁLISE COMPUTACIONAL .....	138
5.7.1	CÁPSULA.....	138
5.7.2	ABRAÇADEIRA.....	140
5.7.3	PATA.....	141
5.7.4	RESULTADOS DAS ANÁLISES COMPUTACIONAIS.....	142
5.7.5	MODELO FÍSICO STARWALKER .....	145
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>148</b>
6.1	RESULTADOS OBTIDOS .....	148
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	150
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>152</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>159</b>
	APÊNDICE A – ENTREVISTA COM MÉDICA VETERINÁRIA, PROPRIETÁRIA DA ESTRELA .....	159
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO ATA ADAPTADO PARA ANIMAIS .....	162
	APÊNDICE C – DIAGRAMA DE MUDGE .....	172
	APÊNDICE D – DIAGRAMA DE PARETO – TABELA DE DADOS .....	173
	APÊNDICE E – ESTRUTURAS FUNCIONAIS .....	174
	APÊNDICE F – DESENHOS TÉCNICOS DOS COMPONENTES RÍGIDOS .....	180
	APÊNDICE G – MEMORIAL DE CÁLCULO .....	183

<b>ANEXOS</b> .....	<b>185</b>
ANEXO A – ESCALA DE QUALIDADE DE VIDA PARA CANINOS (BACHMAN ET AL., 2017). .....	185
ANEXO B – O PROCESSO ATA (FEDERICI & SCHERER, 2012). .....	187

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O último censo realizado sobre a população de animais de estimação no Brasil, em 2019, revelou que o Brasil ocupava a 4ª posição no ranking mundial de países com maior número de animais de estimação, com aproximadamente 141,6 milhões de pets. Dados fornecidos informaram que os serviços relacionados ao mercado dos animais de companhia foram responsáveis por uma movimentação de recursos da ordem de R\$ 22,3 bilhões, proporcionando a geração de mais de 1,5 milhão de empregos, fato que apontava o forte potencial econômico deste setor (ABINPET, 2020).

Outro aspecto da realidade brasileira em relação aos pets é o alarmante número de cerca de 30 milhões de indivíduos abandonados, conforme informações da Agência de Notícias de Direitos Animais – ANDA (2013). Alguns destes são resgatados por instituições públicas ou da sociedade civil, nas quais permanecem por tempo indeterminado no aguardo de adoção. Estes animais geralmente apresentam algumas enfermidades como Cinomose e Mielopatia, assim como lesões e fraturas ocasionadas por traumas que podem produzir deficiências locomotoras tais quais paralisias ou amputação de membros, gerando grande demanda por atenção médico-veterinária.

Investimentos em pesquisa e desenvolvimento de próteses e o avanço dos conhecimentos em biomecânica permitem que seres humanos portadores de deficiências motoras sejam capazes de viver com significativa independência locomotiva (ORTOLAN et al., 2001). Tal aspecto também pode ser observado na Medicina Veterinária, onde o progresso de novas áreas de especialização, tal qual a reabilitação de animais, incentiva o desenvolvimento de aparatos com tecnologias inovadoras que auxiliam a recuperação do deambular saudável. Dentre estas técnicas verifica-se grande aplicabilidade da a manufatura aditiva, que permite a produção de equipamentos customizados.

A grande maioria dos projetos existentes são equipamentos voltados ao atendimento das demandas locomotoras apresentadas por cães com deficiência no

membro pélvico, o que é compatível com o fato deste ser duas vezes mais acometido por lesões do que o membro torácico (NISHIMURA, 2018). Identifica-se, portanto, uma necessidade de produção de dispositivos que atendam as demandas fisiológicas apresentadas por cães acometidos por complicações locomotoras do membro torácico.

Ainda que existam no mercado alguns dispositivos para o auxílio de locomoção canina, tais como próteses, órteses e cadeiras de rodas, verifica-se que o desenvolvimento destes produtos não segue um caminho específico, divergindo consideravelmente entre os desenvolvedores. Neste sentido, buscou-se conhecer os processos de desenvolvimento de tecnologias assistivas – TA – para humanos, adaptando-os para as necessidades caninas, com respaldo em teorias de desenvolvimento de produto consagradas, com a consideração da legislação pertinente, e, por meio da utilização de conhecimentos das engenharias mecânica e de produção, aliados ao conhecimento contido na medicina veterinária, encontrar uma alternativa para o desenvolvimento conceitual de um dispositivo, de baixo custo e com alto desempenho, para o auxílio da locomoção de caninos.

Certas características anatômicas são necessárias para que um candidato seja considerado apto à utilização do equipamento ora em desenvolvimento. Conforme orientações encontradas no site da *Ortho Pets Brazil*® para o uso de prótese de encaixe considerou-se que o mecanismo só poderia ser aplicado em animais que possuíssem certa proporção de membro residual, representada por 30% de tíbia e fíbula, ou a mesma quantidade de rádio e ulna. Ressalta-se que o não atendimento dos requisitos corporais supracitados não extingue as possibilidades de utilização de próteses, entretanto, o utensílio proposto neste trabalho destina-se a suprir as necessidades locomotivas de animais com nível de amputação menos severo ou que apresentem deficiência congênita nos membros compatível com as características mencionadas.

Uma fotografia da cadela que motivou o desenvolvimento deste projeto pode ser observada na figura 1. Abandonada por seus primeiros donos por conta de sua deficiência locomotora, Estrela foi adotada por uma médica veterinária que, quando informada sobre a proposta do projeto, demonstrou grande entusiasmo e boa vontade ao disponibilizar a cadela para os procedimentos. Trata-se de um espécime

da raça Jack Russel, de aproximadamente 3 anos, com amputação da pata dianteira direita pouco acima da articulação do carpo. A proprietária não soube informar se Estrela já nasceu com essa deficiência ou se perdeu parte do membro devido a algum trauma ocorrido antes de sua adoção.



Figura 1 – Estrela. Fonte: Autores.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Ainda que existam no mercado alguns dispositivos para o auxílio de locomoção canina, tais como próteses, órteses e cadeiras de rodas, verifica-se que o desenvolvimento destes produtos não segue um caminho específico, divergindo consideravelmente entre os desenvolvedores. Além disso pelo fato de não possuírem uma metodologia específica, deixa-se de compartilhar informações de desenvolvimento de produtos assistivos para animais, tais quais suas necessidades específicas e como um produto pode afetá-las.

Neste sentido, o presente trabalho buscará conhecer os processos de desenvolvimento de tecnologias assistivas – TA – para humanos, adaptando-os para as necessidades caninas, com respaldo em teorias de desenvolvimento de produto consagradas, com a consideração da legislação pertinente, e, por meio da utilização de conhecimentos das engenharias mecânica e de produção, aliados ao conhecimento contido na medicina veterinária, encontrar uma alternativa para o

desenvolvimento de um dispositivo, de baixo custo e com alto desempenho, para o auxílio da locomoção de caninos.

Como resultado, além da concepção, será possível indicar um caminho trilhado pelos autores deste trabalho para chegar na melhor concepção possível dentro das ferramentas desta equipe.

### **1.3 OBJETIVO GERAL**

- Conceber um dispositivo de baixo custo para o auxílio de locomoção de caninos.

### **1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Compreender aspectos relacionados à reabilitação e medicina veterinária, bem como métodos e técnicas concernentes à tecnologia assistiva e sua aplicabilidade aos caninos;
- Adaptar uma metodologia a ser utilizada no desenvolvimento de produtos assistivos para animais com disfuncionalidades;
- Aplicar a metodologia proposta na concepção de um dispositivo de auxílio à locomoção de caninos.

### **1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO**

No capítulo 2 a anatomia canina é apresentada, bem como os critérios utilizados para avaliação da qualidade de vida de um cão, além de técnicas utilizadas na reabilitação animal. Também são abordados conceitos de tecnologia assistiva, com ênfase nas próteses para cães, onde são elencados os parâmetros essenciais no desenvolvimento, os materiais e os processos de fabricação mais empregados. Realizou-se ainda um estudo de patentes de produtos que poderiam ter semelhança com o dispositivo proposto neste trabalho. A seguir foram apresentadas as metodologias de desenvolvimento de produto de Pahl et al. (2007) e Rozenfeld et al. (2006), como também a metodologia ATA para elaboração de produtos assistivos.

O capítulo 3 contém a definição da situação-problema na qual foi apresentada a cadela Estrela e sua deficiência no membro anterior direito. Nesta fase do trabalho também foi explicada a aplicação da metodologia, que propõe uma integração entre as metodologias de desenvolvimento de produto e a ATA. Neste mesmo foi exposto o Método dos Elementos finitos e alguns dos tipos de estudos que podem ser realizados com a sua utilização.

O capítulo 4 contém a descrição do Projeto informacional onde foram reunidas as informações necessárias a elaboração das especificações-meta do produto, um conjunto de descrições mensuráveis dos requisitos de produto que orienta as etapas posteriores do projeto.

O Projeto Conceitual foi exposto no capítulo 5 onde foram elaboradas possíveis concepções para o dispositivo. Como forma de subsídio para o projeto conceitual foram realizadas simulações para verificar a resistência das peças sujeitas a esforços estáticos.

No capítulo 6 estão presentes as conclusões e pospostas de trabalhos futuros.

## 2 ESTADO DA ARTE E CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Ainda que os primeiros registros da utilização de próteses ortopédicas em seres humanos datem de 2300 a.C, representados em figuras rupestres na Europa (LIANZA, 2007), este ainda é um assunto recente na medicina veterinária. Há não muito tempo, as dificuldades de locomoção causadas por enfermidades neurológicas ou acidentes eram consideradas problemas insolúveis, que resultavam na precoce indicação de eutanásia do animal, conforme exposto por Diniz-Gama (2007). Segundo o autor, não obstante aos espécimes apresentarem melhoras em tratamentos de acupuntura, os proprietários não consideravam os resultados convincentes para que a vida do animal fosse prolongada. O surgimento de novas tecnologias que aglutinam conhecimentos da veterinária e engenharia, municiado de boa-fé e determinação por parte dos pesquisadores tem proporcionado a quebra deste paradigma impulsivo.

Embora os cães apresentem grande potencial de adaptação no caso da falta de um de seus membros, tal adequação não necessariamente significa uma melhora na qualidade de vida do paciente. Pelo contrário, há um consenso entre veterinários de que a mobilidade limitada traz consigo consequências inevitáveis a longo prazo como o colapso dos membros saudáveis, além de dor crônica nas costas e no pescoço (MICH, 2014).

Adamson et al. (2005) esclarece que a reabilitação assume gradativamente uma posição de destaque como especialização na medicina veterinária o que, aliado à crescente valorização dos animais de companhia, resulta na expansão da aplicabilidade das próteses em animais. Tal fato é comprovado pela crescente utilização de dispositivos V-OP (*Veterinary Orthotic and Prosthetic*) como uma estratégia terapêutica na clínica de pequenos animais, demonstrando que os esforços veterinários tem evoluído para a aplicação da biomecânica e tecnologias avançadas no tratamento de membros amputados e dos membros que perderam suas funções (MICH e KAUFMANN, 2018). Este cenário é impulsionado pelo atual estágio da comunicação global que, além de compartilhar informações para o surgimento de terapias veterinárias inovadoras, permite o acesso dos clientes a

estas novidades gerando uma demanda por tratamentos de maior qualidade (MICH, 2014).

É importante salientar que tanto pacientes como os proprietários devem ser treinados para que o uso do equipamento seja eficaz e traga benefícios para a mobilidade do animal e, conseqüentemente, melhore sua qualidade de vida (MARCELLIN-LITTLE et al., 2015).

## **2.1 ANATOMIA CANINA E QUALIDADE DE VIDA**

O desenvolvimento do dispositivo buscou, desde o início, fornecer ao animal uma forma de locomoção tão semelhante quanto possível à sua movimentação natural. Assim, o prévio conhecimento dos componentes do aparelho locomotor canino, como também a compreensão de como eles interagem entre si, representou um estágio imprescindível no processo de elaboração. Neste sentido, realizou-se um breve estudo fisiológico dos cães, o que facilitou a aquisição de informações junto a profissionais da medicina veterinária, assim como esclareceu a atuação motora e o posicionamento corporal dos elementos a serem substituídos pela prótese. Vale destacar que as descrições anatômicas foram realizadas de forma simplificada.

### **2.1.1 ANATOMIA DO APARELHO LOCOMOTOR**

O aparelho locomotor canino é formado por ligamentos, cartilagens, ossos e articulações, que constituem sua parte passiva, como também pelos músculos que representam sua seção ativa (KÖNIG et al., 2016). De forma sucinta, o estudo deste sistema de movimento, estabilidade e suporte pode ser dividido em: Osteologia (ossos), Miologia (músculos) e Artrologia (articulações).

A utilização da prótese não exigirá qualquer incisão muscular no animal, por conseguinte, apenas a Osteologia e Artrologia serão abordadas neste trabalho. Os termos proximal e distal foram amplamente utilizados na descrição dos ossos e articulações e referem-se à extremidade mais próxima do tronco e à mais distante, respectivamente.

No intuito de caracterizar o movimento das articulações, foram utilizados alguns termos amplamente empregados na Medicina Veterinária que, entretanto, podem ser incomuns no cotidiano do engenheiro. São eles:

- Abdução: movimento de afastamento do membro do plano mediano;
- Adução: retorno do membro de qualquer grau de abdução.

### 2.1.2 OSTEOLOGIA

A Osteologia é a parte da anatomia responsável pelo estudo dos ossos, um tecido conjuntivo especializado com propriedades tensoras, piezelétricas – capacidade de reagir ações mecânicas produzindo estímulos elétricos – e biológicas como o metabolismo do cálcio e remodelação em caso de fratura (EUGÊNIO, 2014). O conjunto dos ossos forma o esqueleto, que nos caninos pode ser dividido em duas porções: Esqueleto Axial, composto pelos ossos da cabeça, pescoço e tronco e Esqueleto Apendicular, do qual fazem parte os membros torácicos e pélvicos. As duas porções são unidas pela cintura escapular – membros anteriores – e pélvica – posteriores, conforme ilustrado na figura 2. Tendo em vista que a prótese substituiria um dos componentes do Esqueleto Apendicular, foi para esta porção anatômica que foram voltadas as atenções deste trabalho.

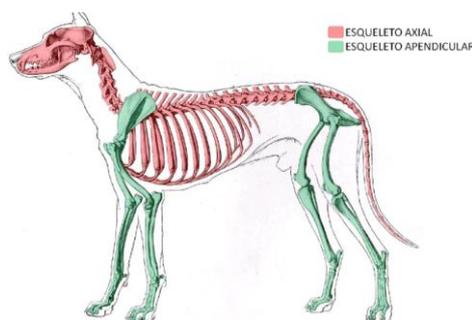


Figura 2 – Porções do esqueleto dos caninos. Fonte: Miranda et al. (2015).

### 2.1.3 ARTROLOGIA

A Artrologia estuda como os ossos se unem para a formação do esqueleto (MIRANDA et al., 2015). As articulações são delimitadas pela cápsula articular e lubrificadas pelo líquido sinovial, que ainda possui as funções de nutrição da cartilagem articular e proteção das superfícies articulares (EUGÊNIO, 2014).

A figura 3 elenca as articulações dos membros pélvico e torácico, referências muito importantes para a avaliação da postura do paciente e, portanto, essenciais para o desenvolvimento do dispositivo.

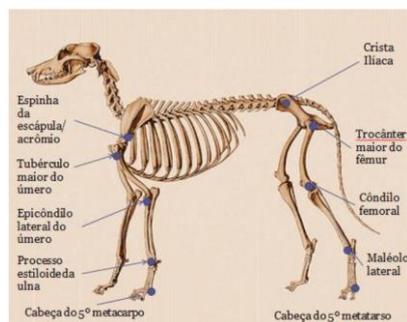


Figura 3 – Articulações caninas. Fonte: Lage et al. (2018).

## 2.1.4 ESQUELETO APENDICULAR

Responsável pela sustentação e propulsão dos caninos, essa composição óssea é subdividida em membro torácico e membro pélvico (MIRANDA et al., 2015).

### 2.1.5 MEMBRO TORÁCICO

A figura 4 apresenta o membro torácico, a porção anterior do Esqueleto Apendicular. Formado por escápula, braço (úmero), antebraço (rádio e ulna) e mão (carpo, metacarpo e falanges). Sabe-se que outros ossos compõem o membro torácico dos caninos, entretanto, os mencionados apresentam papel primordial no equilíbrio, sustentação e locomoção dos cães, por isso foram postos em evidência. Tal abordagem também foi utilizada para os componentes do membro pélvico a serem descritos em seção posterior.

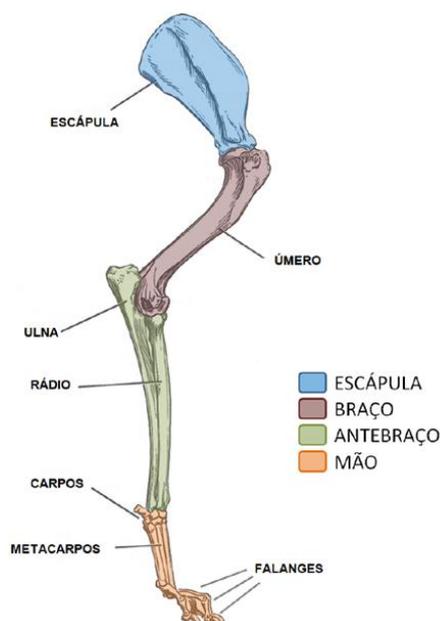


Figura 4 – Membro Torácico. Fonte: Miranda et al. (2015).

### **2.1.5.1 ESCÁPULA**

A Escápula é um osso plano – comprimento e largura equivalentes e maiores que a espessura. Sua extremidade proximal é fixa à parede torácica, enquanto articula-se distalmente ao úmero, por meio da articulação do ombro (articulação escápoumeral), localizada na Cavidade Glenóide. É o elemento que conecta o membro torácico ao esqueleto axial.

### **2.1.5.2 ÚMERO**

O Úmero é único osso do braço dos caninos. Classificado como longo – comprimento maior do que espessura e largura - apresenta superfície modelada para a inserção de forte musculatura, desempenhando uma função fundamental no movimento do membro torácico (MAIERL et al, 2016). Articula-se proximalmente com a escápula e distalmente com rádio e ulna, mediante a articulação do cotovelo, situada no Côndilo do Úmero (MIRANDA et al., 2015). Este componente pode ser fracionado em três segmentos: extremidade proximal (cabeça), corpo e extremidade distal.

### **2.1.5.3 ANTEBRAÇO - RÁDIO E ULNA**

A Ulna é um dos componentes do antebraço dos cães. Assim como o Úmero, é um osso longo. Situa-se na região posterior do Rádio, sendo parcialmente fundida a este em sua porção distal. Apresenta ainda um prolongamento em sua região proximal denominado Olecrano, que apresenta uma incisura troclear. Nesta região observa-se um formato triangular, que dá lugar a uma forma mais arredondada na extremidade distal.

O Rádio é o outro componente do antebraço canino. Em sua área proximal localizam-se a cabeça e a fôvea, que, em conjunto com a incisura troclear da Ulna e a superfície distal do Úmero, formam a articulação ulnar. Sua região distal, analogamente ao que ocorre à da Ulna, articula-se com o Carpo. Apesar de fundido parcialmente à Ulna, existe determinada separação entre eles, conhecida como Espaço Interósseo Antebraquial.

#### **2.1.5.4 MÃOS**

Formadas pelos ossos do Carpo, Metacarpos e Falanges, as mãos representam a extremidade distal do membro torácico.

O carpo é composto por duas fileiras de ossos. A primeira articula-se com Rádio e Ulna de forma proximal, devido a articulação antebraquicarpal e distalmente com a segunda. Esta, por sua vez, articula-se com os ossos metacarpiais, graças a articulação carpometacarpal (KÖNIG et al., 2016).

Caninos apresentam cinco metacarpos, articulados proximalmente aos ossos do carpo e distalmente com as falanges.

As falanges são as subdivisões dos dedos. Cães possuem cinco dedos, sendo o primeiro extremamente curto e sem contato com o solo. Cada um deles possui três falanges.

#### **2.1.5.5 ARTICULAÇÃO DO OMBRO**

A articulação do ombro ou umeral é a responsável por unir a escápula ao úmero. Trata-se de uma articulação esferoide que teoricamente deveria apresentar grande versatilidade de movimento, o que, no entanto, não acontece por conta da musculatura que a circunda. Funciona como uma articulação em dobradiça proporcionando principalmente os movimentos de flexão e extensão. Outros movimentos como rotação, adução e abdução são possíveis, todavia, limitados (KÖNIG et al., 2016).

#### **2.1.5.6 ARTICULAÇÃO DO COTOVELO**

A articulação do cotovelo representa o elemento responsável por unir o úmero ao rádio e à ulna. Típica articulação em dobradiça que proporciona apenas movimentos de flexão e extensão. Em cães, é possível alcançar uma extensão entre 100° e 140° (KÖNIG et al., 2016).

#### **2.1.5.7 ARTICULAÇÕES DO RÁDIO COM A ULNA**

A união do rádio com a ulna é promovida por duas articulações, a radioulnar proximal e a radioulnar distal. A capacidade de rotação entre estes ossos do

antebraço, assim como nos demais carnívoros, é reduzida nos cães e o movimento de supinação atinge 50° (KÖNIG et al., 2016).

### 2.1.5.8 ARTICULAÇÕES DO CARPO

Este componente une os ossos do antebraço aos ossos do carpo e metacarpo. Possibilita amplos movimentos de extensão e flexão, bem como pequenos movimentos de rotação e lateralidade (MIRANDA et al., 2015).

### 2.1.6 MEMBRO PÉLVICO

O membro pélvico é a porção posterior do esqueleto apendicular, representada na figura 5. Formado pela cinta pélvica (ossos coxais e sacro), coxa (fêmur), perna (tíbia e fíbula) e pés (tarsos, metatarsos e falanges) (MIRANDA et al., 2015).

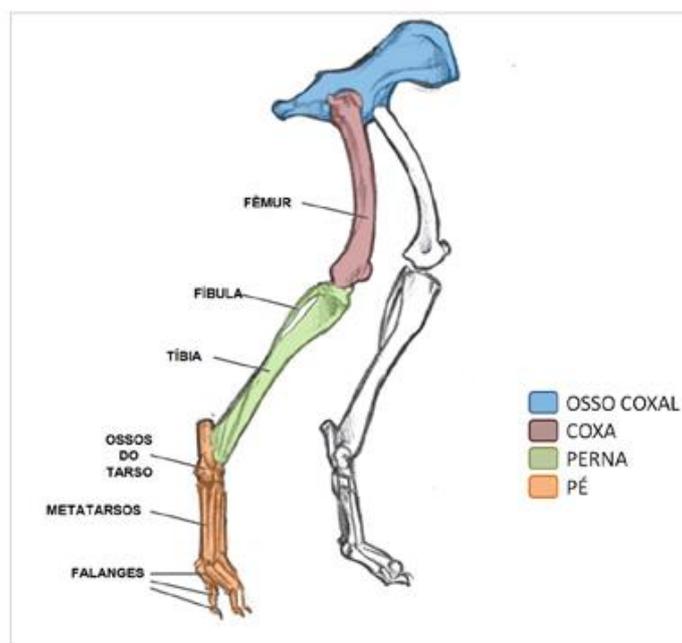


Figura 5 - Membro Pélvico. Fonte: Miranda et al. (2015).

#### 2.1.6.1 CINTURA PÉLVICA

Formada pela junção dos dois ossos coxais e sacro, que, em conjunto com as primeiras vértebras dorsais, representam a pelve. Esta constituição óssea desempenha, dentre outras funções, a proteção das vísceras pélvicas, o que inclui

os órgãos reprodutores, além de possuir um papel essencial na postura e locomoção do animal, visto que transmite de forma eficaz a força do membro pélvico ao tronco (KÖNIG et al., 2016).

Considerado o maior dentre os ossos planos, cada osso coxal é composto por três centros de ossificação distintos: Ílio, Púbis e Ísquio. Animais jovens apresentam estes centros delimitados por cartilagens, que possibilitam o crescimento, o que difere do observado em animais adultos em que tais composições ósseas se mostram completamente fundidas (KÖNIG et al, 2016).

#### **2.1.6.2 COXA**

Analogamente ao braço, é constituída por um único osso, o Fêmur, o maior dentre os ossos longos. Sua atuação é fundamental no movimento e suporte do peso. Dividida em extremidade proximal, corpo e extremidade distal. A primeira região contém a cabeça do fêmur, que se articula ao osso coxal (Miranda et al, 2015). Distalmente, articula-se com a tíbia. Observa-se ainda a existência de um osso sessamóide – formato de nódulo – chamado de Patela muito importante para a articulação do joelho.

#### **2.1.6.3 PERNA**

De forma similar ao antebraço, a perna dos cães é composta por dois ossos longos parcialmente fundidos e articulados entre si: Tíbia e Fíbula. O primeiro é bem mais robusto que o segundo e possui formato triangular em sua extremidade proximal. A fíbula é delgada se estende por todo o comprimento da Tíbia, articulando-se a esta em seu extremo proximal (MIRANDA et al., 2015).

#### **2.1.6.4 PÉS**

Ossos do Tarso, Metatarsos e Falanges representam os elementos constituintes dos pés dos caninos cujas descrições são relevantes para o projeto.

Composto por três fileiras que totalizam sete ossos, o Tarso articula-se proximalmente com a Tíbia e Fíbula e distalmente com os Metatarsos. Estes, assim como os metacarpos, estão presentes em cinco unidades nos caninos, cada uma articulada distalmente com as falanges. As últimas, por sua vez, referem-se à

extremidade distal do membro pélvico e são semelhantes às falanges da mão, com exceção do primeiro dígito, ausente nos cães.

#### **2.1.6.5 ARTICULAÇÃO SACROILÍACA**

Esta articulação representa a união do tronco ao membro pélvico, mais precisamente da junção do ílio com o sacro.

#### **2.1.6.6 ARTICULAÇÃO COXOFEMORAL**

A cintura pélvica se une ao fêmur por meio deste componente, que permite movimentos de extensão e flexão, como também apresenta alguma liberdade para movimentos de lateralidade.

#### **2.1.6.7 ARTICULAÇÃO DO JOELHO**

A articulação do joelho dos cães é composta pela articulação femortibial e pela femoropatelar. A primeira caracteriza a região onde fêmur e fíbula se unem, sendo os movimentos de flexão e extensão os mais importantes, ainda que exista certo grau de liberdade rotacional proporcionado por cartilagens especializadas, os meniscos. A segunda articulação promove a união da patela com o fêmur. Caracterizando uma articulação em deslize (ou troclear), observa-se um deslize da patela sobre o fêmur a cada movimento da articulação.

#### **2.1.6.8 ARTICULAÇÃO DA TÍBIA COM A FÍBULA**

Similarmente ao que ocorre na com a articulação do rádio com a ulna, este componente é composto por duas articulações: a articulação tibiofibular proximal e a tibiofibular distal. Entre os dois ossos existe uma membrana especializada formada por tecido conjuntivo.

#### **2.1.6.9 ARTICULAÇÃO DO TARSO**

Item com a função de unir os ossos da perna aos ossos do carpo e do metacarpo, muito similar à articulação do carpo, com as mesmas características de grau de liberdade de movimentação.

### **2.1.7 DEAMBULAR CANINO**

Bastian (2013), citando Tokuriki (1973), afirma que na medicina veterinária o estudo da locomoção é essencial para o tratamento de desordens do aparelho

locomotor. Desta forma, um projeto mecânico que tenha como objetivo fornecer ao animal meios para que ele se locomova da forma mais natural possível não pode deixar de seguir essa diretriz. Portanto, torna-se necessária uma descrição, ainda que breve, do deambular canino.

Ao andar lentamente, seres quadrúpedes realizam movimento semelhante ao de um bebê humano que engatinha mantendo três apoios e avançando um membro (SILVA, 2006). Encontra-se ainda no mesmo trabalho uma comparação entre o deambular canino e o humano na qual os membros torácicos e pélvicos do cão são visualizados como dois membros humanos independentes.

Durante a locomoção canina verifica-se vital importância da atuação das regiões lombar e dorsal, sendo estas as responsáveis pela manutenção da postura (BASTIAN, 2013) que, conforme exposto na seção 2.1.8, possui influência determinante na biomecânica e, por conseguinte, na qualidade do movimento realizado.

O deambular canino pode ser dividido em simétrico e assimétrico. No primeiro estão inclusos a caminhada, o trote e o *pace*, formas de andadura que apresentam como particularidade a repetição dos movimentos dos membros de um lado do corpo pelos do flanco oposto. Do segundo fazem parte o galope rotatório e transversal, nos quais a movimentação dos membros não replica a de seus pares (BASTIAN, 2013, apud DECAMP, 1997).

Um ciclo de locomoção, independente da forma como ela é executada, pode ser considerado completo quando cada um dos membros realiza um passo (DECAMP, 1997). Tal ciclo pode ser dividido em duas fases: a estação e o balanço. Quando todas as extremidades do esqueleto apendicular estão em contato com solo, verifica-se a fase de estação. Neste momento, o peso do cão está distribuído em quatro pontos de apoio. A partir da movimentação de uma das patas, inicia-se a fase de balanço, na qual o peso do animal é redistribuído entre os outros membros (SILVA, 2006). A junção das duas fases supracitadas caracteriza um passo.

De acordo com Bachman et al. (2017) a caminhada é a forma de deambular com menor gasto energético, sendo portanto a mais eficiente. É a única forma de locomoção em que o animal poderá ter até três membros em contato com o solo

simultaneamente. No mesmo trabalho é descrita a realização do trote, na qual apenas dois membros sustentam a carga corporal enquanto os outros se movimentam para frente, sendo esta a forma de movimentação preferida ao se analisar o deambular com vistas à obtenção de informações acerca das cargas atuantes nos membros. Isto porque no trote apenas uma pata dianteira e uma traseira estão em contato com o solo, o que elimina a influência do membro do lado oposto na análise de carga.

Na ausência de membros apendiculares observa-se uma redistribuição da carga entre os elementos restantes que, de maneira geral, sobrecarrega as patas do flanco oposto ao do órgão amputado (BASTIAN, 2013), evidenciando as limitações de locomoção enfrentadas por espécimes que venham a sofrer amputação.

A respeito das funções específicas durante a locomoção, os componentes torácicos são responsáveis pela absorção de impactos e desaceleração, enquanto os pélvicos fornecem propulsão (DECAMP, 1997). Na caminhada, por conta do fator de absorção, os membros anteriores experimentam uma carga adicional de 1.1 vezes o peso do animal. Já os posteriores recebem 0.8 vezes a mesma carga. Durante o trote as forças atuantes são duas vezes maiores do que na caminhada em todos os membros (BACHMAN et al., 2017).

### **2.1.8 BIOMECÂNICA**

A biomecânica é a ciência responsável pelo estudo de sistemas biológicos, mais especificamente dos movimentos corporais, analisando suas causas e fenômenos (BASTIAN, 2013, apud AMADIO et al., 1999). Relata a autora ainda que, segundo Amadio e Serrão (2007), o termo vem sendo empregado desde 1970 para descrever as estruturas e funções dos sistemas biológicos por meio da utilização dos princípios mecânicos.

Ossos, articulações e músculos são os constituintes do aparelho locomotor, conforme exposto na apresentação deste sistema. Os músculos são considerados os elementos ativos do movimento por exercerem esforços de tração, transmitidos aos ossos pelos tendões. Por apresentarem rotação em torno das articulações, que são pontos fixos, as estruturas ósseas são apontadas como alavancas biológicas e

sua movimentação atua no sentido de equilibrar a força de resistência (LAGE et al., 2018, apud BOMBONATO, 2005).

Desta forma, fica evidente a inter-relação da biomecânica com as articulações, visto que são nelas que os movimentos ocorrem de fato. Quaisquer anomalias existentes nestas juntas corporais, sejam elas deformidades ou fraquezas, causam instabilidades estáticas e/ou dinâmicas no corpo do animal e fazem com que ele busque adaptações musculoesqueléticas de modo a compensá-las (LAGE et al., 2018).

Durante a fase de estação, a distribuição do peso corporal dos cães não ocorre igualmente entre os membros torácico e pélvico, visto que o primeiro é responsável por sustentar 60% da carga, enquanto ao último cabem os outros 40% (LAGE et al., 2018, apud BORGHESE et al., 2013). Lage et al. (2018), fazendo referência ao trabalho de Kirpensteijn et al. (2000), explica que esta assimetria ocorre devido à localização do centro de gravidade destes animais, que, teoricamente, está situado a três quintos da longitude entre os membros pélvicos e torácicos. Quando os membros citados são analisados separadamente, verifica-se que o centro de massa do primeiro corresponde à posição da articulação sacro-ilíaca, ao passo que o do segundo tem lugar na espinha da escápula (KAUFMANN, 2016).

A soma vetorial da força gravitacional e as de inércia destes centros mássicos origina um esforço a ser compensado por uma força de reação de mesmo módulo e sentido oposto, que recebe a denominação de Força de Reação ao Solo (FRS), cuja localização se refere ao ponto de contato entre as extremidades distais apendiculares e o solo, como representado na figura 6. Desde que haja intercessão entre a direção da FRS e o centro de massa dos membros, nenhum momento é gerado, caso contrário verifica-se um movimento de rotação em relação à articulação, fornecido pelo produto entre o módulo FRS e a distância perpendicular entre a linha de ação desta força e o centro de massa do membro correspondente (LAGE et al., 2018).

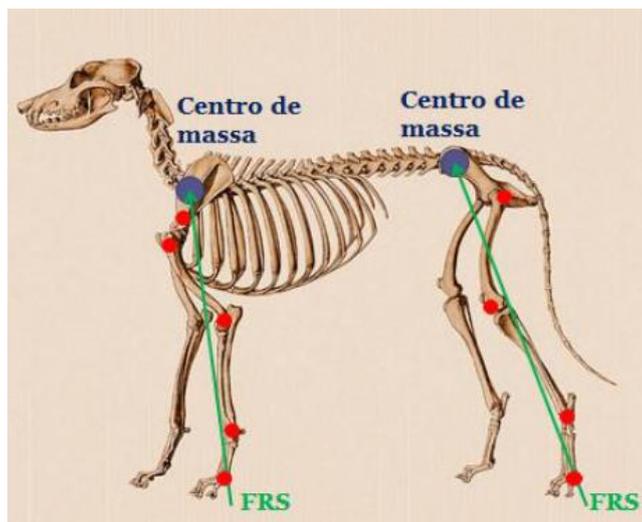


Figura 6 – Centros de massa dos membros torácico e pélvico e posição da FRS. Fonte: Lage et al. (2018).

### 2.1.9 PATOMECÂNICA

Embora um grande número de animais amputados consiga se adaptar à locomoção com apenas três membros, a subtração de uma pata ocasiona alterações no padrão de marcha que sobrecarrega os elementos remanescentes e pode aumentar a ocorrência de enfermidades ortopédicas, fato mais intenso em animais grandes e com sobrepeso (KIRPENSTEIJN et al., 2000).

Borghese (2013) demonstra que a amputação de um membro, seja em humanos ou em qualquer outro animal, sempre gera uma alteração das funcionalidades das articulações, músculos e coluna vertebral. Isso ocorre porque o corpo do indivíduo realiza compensações nos outros membros para conseguir o balanço necessário à sua movimentação. Ainda conforme o autor, frequentemente essa nova dinâmica de locomoção não é eficiente e está associada a complicações futuras. Dentre elas, segundo estudo de Mich (2014), encontram-se dores crônicas no dorso e na região do pescoço e a degradação dos membros saudáveis devido a sobrecarga.

Um exemplo dos efeitos da subtração de um membro pode ser observado na figura 7, onde o paciente apresenta alteração na postura, o que amplia a carga atuante nas patas dianteiras.



Figura 7 – Efeitos da amputação parcial do membro pélvico. Fonte: Lage et al. (2018).

Verifica-se que a amputação de componente do membro torácico resulta na sobrecarga da pata anterior do flanco contrário, todavia o resultado não se repete quando a amputação ocorre no membro pélvico, visto que novamente a carga é transferida para o membro torácico (LAGE et al., 2018, apud BASTIAN, 2013). Tais compensações foram descritas por Kirspensteijn et al. (2013), que avaliou a redistribuição de peso corporal em cães com membros amputados. Os resultados do estudo mencionado estão descritos no trabalho de Lage et al. (2018). No primeiro caso de amputação, cada um dos membros posteriores recebe 27% do peso do cão, à medida que os outros 46% sobrecarregam o membro torácico que restou. Já no segundo caso, a pata posterior residual se torna responsável por sustentar 26%, enquanto cada membro anterior recebe 37% de peso corporal.

### 2.1.10 AMPUTAÇÃO

A amputação é o nome que recebe a retirada cirúrgica ou traumática, completa ou parcial, de um componente corpóreo (CARVALHO, 2002). Segundo Crenshaw (1996), este é o procedimento cirúrgico mais antigo já registrado, sendo utilizado como punição em sociedades antigas.

A decisão de realizar a amputação é uma questão complexa para o proprietário do animal, mas muitas vezes necessária para minimizar dores e futuras complicações (BACHMAN et al., 2017). Os autores relatam que a idade do cão, seu peso e a severidade da doença que o acomete podem afetar a necessidade do procedimento.

O objetivo de sua realização na medicina veterinária é garantir a manutenção da vida de pacientes que tenham sofrido lesões irreparáveis e/ou sejam portadores de neoplasia maligna. (LEONARD, 1971). As indicações para a amputação podem advir, dentre outras, da constatação de uma lesão irreversível ou de um prognóstico inadequado da funcionalidade do membro (STONE, 1985). Weigel et al. (2005) afirma que devem ser avaliadas pelo cirurgião, além das indicações clínicas, a capacidade de adaptação do animal após o procedimento, bem como o interesse do proprietário em continuar com o paciente ao fim da intervenção cirúrgica.

O paciente encontra maiores dificuldades de locomoção quando a amputação é realizada no membro torácico do que quando o procedimento acontece no membro pélvico (ADAMSOM et al., 2005). Isso acontece porque os membros anteriores caninos são responsáveis pelo suporte da maior fração do peso corporal. Adamsom et al. (2005) salienta que a decisão sobre o uso de próteses deve ser informada ao cirurgião antes que a ação seja executada no intuito de que ela ocorra em alturas compatíveis com a utilização. Procedimentos cirúrgicos praticados em uma porção mais distal do membro resultam em melhor preservação das funções, em contrapartida também geram maiores complicações pós-operatórias quando comparados às amputações em nível mais proximal (LAGE et al., 2018). Algumas dessas complicações incluem além de limitações no deambular – andar/correr – dificuldade em escalar superfícies inclinadas, tais como escadas e problemas nos momentos de urinar e defecar. Outro aspecto prejudicial do procedimento cirúrgico é a acumulação do seroma, um fluido subcutâneo, no local da cirurgia, o que pode gerar infecções e em alguns casos mais graves até mesmo a necrose do tecido conjuntivo (BACHMAN et al., 2017). No mesmo trabalho um outro aspecto prejudicial advindo da amputação é apresentado: a dor do membro fantasma. O fato ocorre quando um nervo tenta controlar um membro que já não existe, o que gera dor na região na qual o membro se localizava. Este desconforto não está associado a qualquer problema de esforço mecânico, mas sim com a falta de comunicação entre o sistema nervoso central e as ramificações nervosas do membro amputado.

Por outro lado, é necessário destacar que em alguns casos a amputação é a única forma de salvar a vida do cão, como nos casos de animais que apresentam tumores ósseos que se espalharão pelo corpo, ou quando os tendões e ligamentos são severamente afetados por múltiplas fraturas. O procedimento também pode ser

a alternativa economicamente mais acessível em casos que exijam maiores cuidados cirúrgicos (BACHMAN et al., 2017).

Posteriormente à amputação, qualquer que seja a sua causa, é muito importante que se realize uma avaliação minuciosa do animal, na qual serão determinadas as inabilidades ocasionadas pelo processo, como também as capacidades funcionais a serem desenvolvidas pelo tratamento de reabilitação que deverá ser iniciado o mais breve possível (LIANZA, 2007).

### **2.1.11 TERAPIAS DE REABILITAÇÃO CANINA**

Um dos campos mais importantes da reabilitação canina é a nutrição. Partindo do princípio de que a obesidade é responsável por diversos problemas nas articulações e prejudicial ao deambular, assegurar que o paciente usufrua de uma dieta adequada é muito importante para elevar a qualidade de vida.

A reabilitação canina possui ainda uma outra abordagem muito similar a fisioterapia aplicada nos seres humanos, entretanto, com certas divergências devido a anatomia do animal e as cargas atuantes nas articulações (BACHMAN et al., 2017). Os principais objetivos destes procedimentos são a mitigação de dores, estimular a musculatura de modo a evitar lesões e aumentar o grau de mobilidade como também a qualidade de vida do paciente. Os autores esclarecem ainda que, especialmente no caso de cães usuários de próteses, o procedimento de reabilitação é essencial para garantir que os componentes do esqueleto apendicular sejam fortalecidos e não sofram com lesões.

Os métodos de reabilitação apresentados por Bachman et al. (op cit.) são a termoterapia, a crioterapia e a terapia de contraste. A primeira refere-se à aplicação de calor na região lesionada seja por radiação, convecção, condução ou evaporação. A forma mais comum da aplicação deste método é a utilização de bolsas térmicas, que promovem a reabsorção de edemas. A crioterapia é baseada na aplicação de gelo com vistas a causar vasoconstrição, o que diminui o fluxo sanguíneo, impedindo a formação de edemas. Tal método também possui função analgésica. A terapia de contraste ocorre quando os dois procedimentos anteriormente citados são utilizados.

As aplicações destes métodos em conjunto com as diretrizes de monitoramento de dor permitem que o uso da prótese garanta o máximo conforto possível durante o período de aclimatação do paciente ao dispositivo (BACHMAN et al., 2017).

Exercícios físicos também são necessários para uma reabilitação satisfatória. Isto porque eles afetam a mobilidade dos membros, o equilíbrio necessário à locomoção, a postura e também o controle dos movimentos. Os principais exercícios mencionados pela referida pesquisa consistem no treinamento do deambular frente a superfícies inclinadas e em declive, hidroginástica, fortalecimento muscular e treinamentos de equilíbrio com bolas. Massagens e alongamentos também possuem grande importância na reaquisição dos movimentos caninos.

### **2.1.12 QUALIDADE DE VIDA CANINA**

A Qualidade de Vida – QV – é um parâmetro importante para avaliar a saúde de um indivíduo em termos genéricos. Quando se trata de seres humanos, a QV pode ser definida como uma maneira de aproveitar a vida, podendo ser mensurada por meio de termos subjetivos (BACHMAN et al., 2017). Segundo os mesmos autores, tal definição não é adequada no caso de animais domésticos. A compreensão dos fatores que determinam a QV de um cão é essencial para que a equipe de desenvolvedores possa comparar os benefícios e os prejuízos advindos da utilização de um dispositivo de auxílio à locomoção.

Bachman et al. (2017) salienta que, apesar de a determinação do nível de QV de um cão ser muito útil no desenvolvimento deste tipo de artefato, este é um parâmetro muito individual, baseado em necessidades específicas de cada animal e, portanto, sua aferição não é muito precisa. No trabalho mencionado, a QV foi avaliada a partir dos indicadores: dor, apetite, hidratação, higiene, atividade/mobilidade, felicidade/status mental, padrões gerais de comportamento. Tais indicadores foram baseados em alguns critérios, tal qual representado na tabela 1, que contém uma tradução livre da escala de qualidade de vida para caninos presente no trabalho referenciado neste parágrafo. A versão original se encontra no Anexo A. Cada critério é composto por algumas descrições de comportamento. Estas são classificadas por uma lista numérica que reflete as ações mais praticadas

pelo animal. A avaliação dos critérios representa um indicador macro que traduz a qualidade de vida do paciente.

Tabela 1 – Qualidade de vida para cães.

QUALIDADE DE VIDA – QV	
Pontuação	Critério
0-7	<p>Dor</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>_ Exibe um alto nível de dor, baseado em uma escala de dor</li> <li>_ Se o cão manca ele está sentindo dor</li> <li>_ Respiração ofegante mesmo quando em repouso</li> <li>_ Respiração forçada, exagerada, anormal</li> <li>_ O animal lambe repetidamente áreas perto do dispositivo</li> <li>_ Tenta proteger determinada área do corpo quando esta é manipulada</li> <li>_ Postura anormal</li> </ul>
0-6	<p>Apetite</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>_ Não come seu alimento habitual</li> <li>_ Experimenta o alimento, mas não se alimenta normalmente</li> <li>_ Fareja o alimento mas não se alimenta e logo se afasta da comida</li> <li>_ Não deseja petiscos e nem comida humana</li> <li>_ Age como se estivesse nauseado ou vomita</li> <li>_ Apresenta perda de peso</li> </ul>
0-3	<p>Hidratação</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>_ Não bebe água como o de costume</li> <li>_ Apresenta gengivas secas</li> <li>_ Está vomitando ou tem diarreia</li> </ul>

0-4	<p>Higiene</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>_ Apresenta pelagem emaranhada, oleosa, de aspecto áspero, sem brilho ou com mau cheiro</li> <li>_ Apresenta fezes ao redor do reto ou na pelagem</li> <li>_ Odor de urina ou com irritações cutâneas devido à urina</li> <li>_ Apresenta feridas que não cicatrizam em torno da área na qual o dispositivo foi colocado</li> </ul>
0-5	<p>Atividade/Mobilidade</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>_ Não consegue se levantar sem ajuda</li> <li>_ Não se sente bem para passear, brincar de bola, ou realizar outras atividades habituais</li> <li>_ Apresenta dificuldade para se locomover ou manca</li> <li>_ Permanece parado em um lugar o dia todo</li> <li>_ Cai frequentemente</li> </ul>
0-4	<p>Felicidade/status mental</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>_ Não demonstra estar interessado na vida</li> <li>_ Não interage mais com as pessoas com as quais estava acostumado</li> <li>_ Não quer mais brincar ou fazer coisas que costumava</li> <li>_ Se mostra deprimido, entediado, desatencioso</li> </ul>
0-5	<p>Padrões gerais de comportamento</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>_ Se esconde ou dorme em locais sujos</li> <li>_ Não cumprimenta os donos quando como antes quando eles chegam em casa</li> <li>_ Se mostra carente de carinho de forma excessiva, diferente do habitual</li> <li>_ Outros pets estão o tratando de forma diferente, ignorando-o completamente</li> <li>_ Não se importa com o que está acontecendo ao seu redor</li> </ul>

Fonte: Projeto de prótese para caninos com deformidades no membro frontal. Fonte: Bachman et al. (2017).

## 2.2 TECNOLOGIA ASSISTIVA

Ao longo da história, os seres humanos vêm utilizando dispositivos para auxiliá-los em suas tarefas e responsabilidades diárias, a fim que suas necessidades fisiológicas sejam saciadas num menor prazo, de maneira mais rápida e menos perigosa. Embora as invenções de maior conhecimento e divulgação sejam as relacionadas às revoluções industriais e tecnológica, é possível identificar a invenção de dispositivo de tecnologia assistiva – TA – muito antes da criação do referido termo. As primeiras próteses dentárias, por exemplo, são datadas de 2500 a.C, já as primeiras dentaduras datam tem registro em 700 a.C, ambas foram confeccionadas de forma pioneira no Egito (TANDON et al., 2010).

No final do século XIII foram criados, na Itália, os primeiros óculos para leitura (ROSEN, 1956). Após a 1ª revolução industrial, no século XVIII, o mundo passou a sofrer conseqüentes mudanças, principalmente com relação a maior capacidade de transferir energia e uma gama maior de materiais a serem utilizados em diferentes aplicações. Durante a primeira guerra mundial houve uma grande evolução das TAs, tendo em vista o número elevado número de amputados e debilitados. Neste período de guerra e nos períodos subsequentes houve grande crescimento na demanda de próteses para membros inferiores (NEUMANN, 2010). Atualmente, no século XXI, dentre a grande gama de novas tecnologias, tem-se estudado como a internet das coisas – IOT – pode ser uma ferramenta de TA com o objetivo de ajudar estudantes a desenvolverem melhores resultados em suas intuições de ensino (HOLLIER e ABOU-ZAHRA, 2018).

A TA é definida como qualquer equipamento, produto ou serviço que é utilizado para manter ou melhorar capacidades funcionais de indivíduos com deficiência (ALBERT et al., 2015). Ainda, de acordo com os autores, a TA possui cinco princípios:

### 1. Processo de desenvolvimento focado no paciente e não na tecnologia.

A tecnologia assistiva deve adequar-se ao usuário/paciente e não o contrário, o foco do processo de desenvolvimento é no usuário e a nova tecnologia deve atender às suas necessidades. É, portanto, necessário evitar soluções de uso complexo, pois existe grande probabilidade de serem descartadas pelo usuário. No

desenvolvimento de produtos, quando uma tecnologia é desenvolvida sem a contribuição dos clientes e usuários em todo o processo de desenvolvimento será menos provável de que seja adotada para a finalidade a que se destina.

## 2. Foco no resultado funcional.

Este princípio indica que as ações executadas pelo usuário com o dispositivo são mais importantes que o acesso a ele. É fundamental identificar se o usuário está utilizando o produto da maneira que deseja. Um dispositivo pode ser extremamente acessível e fácil de usar, mas se usuário não se sentir confortável com seu uso, não fará completo proveito da ferramenta, ou seja, não o utilizará em toda e qualquer ocasião.

## 3. Utiliza um processo de desenvolvimento baseado em informações de boa qualidade.

O uso de um processo para obter informações válidas e de qualidade traz benefícios ao usuário da TA, pois um processo de desenvolvimento de produto – PDP – baseado em boas informações consegue identificar as tecnologias mais compatíveis ao usuário; fornecer treinamento e suporte necessários para o uso inicial e contínuo da tecnologia e avaliar adequadamente o resultado da tecnologia, não apenas para o usuário individual, mas também ao grupo social do qual faz parte.

## 4. Processo ético.

Abrange as perspectivas de código de ética profissional e incorpora constructos de beneficência, visando criar uma sociedade inclusiva que permita a todos um envolvimento significativo em sua comunidade.

## 5. Sustentabilidade.

Há a necessidade de que a produção e a manutenção de produtos relacionadas aos serviços de tecnologia assistiva sejam disponíveis e contínuos. Para isso é necessário investimento em tecnologia e uma boa cadeia de fornecedores. A TA permite que as pessoas vivam uma vida saudável, produtiva, independente e dignificada. Além disso, permite que tenham acesso à educação, ao mercado de trabalho e à vida civil (Organização Mundial da Saúde, 2018). Ainda

segundo esta organização, sem a tecnologia assistiva as pessoas estariam excluídas, isoladas fadadas à pobreza, acarretando o crescimento do impacto de doenças e disfunções nas pessoas e em suas famílias.

Segundo Rita Berch (2008), a TA deve ser entendida como um auxílio que promoverá a ampliação de uma habilidade funcional deficitária ou possibilitará a realização da função desejada e que se encontra impedida por circunstância de deficiência ou pelo envelhecimento. Podemos então dizer que o objetivo maior da TA é proporcionar ao indivíduo com deficiência maior independência, qualidade de vida e inclusão social, através da ampliação de sua comunicação, mobilidade, controle de seu ambiente, habilidades de seu aprendizado e trabalho. Ainda, de acordo com a autora, as tecnologias assistivas podem ser divididas em 12 categorias, conforme tabela 2.

Tabela 2 – Categorias de Tecnologias Assistivas (imagens adaptadas).

Categoria	Descrição	Ilustração
Auxílios para a vida diária e vida prática	Materiais e produtos que favorecem desempenho autônomo e independente em tarefas rotineiras ou facilitam o cuidado de pessoas em situação de dependência de auxílio, nas atividades como se alimentar, cozinhar, vestir-se, tomar banho e executar necessidades pessoais.	
CAA - Comunicação Aumentativa e Alternativa	Destinada a atender pessoas sem fala ou escrita funcional ou em defasagem entre sua necessidade comunicativa e sua habilidade em falar, escrever e/ou compreender.	
Recursos de acessibilidade ao computador	Conjunto de <i>hardware</i> e <i>software</i> especialmente idealizado para tornar o computador acessível a pessoas com privações sensoriais (visuais e auditivas), intelectuais e motoras.	

Sistemas de controle de ambiente	Através de um controle remoto as pessoas com limitações motoras, podem ligar, desligar e ajustar aparelhos eletroeletrônicos como a luz, o som, televisores, ventiladores, executar a abertura e fechamento de portas e janelas, receber e fazer chamadas telefônicas, acionar sistemas de segurança, entre outros, localizados em seu quarto, sala, escritório, casa e arredores.	
Projetos arquitetônicos para acessibilidade	Projetos de edificação e urbanismo que garantem acesso, funcionalidade e mobilidade a todas as pessoas, independentemente de sua condição física e sensorial.	
Órteses e próteses	Próteses são peças artificiais que substituem partes ausentes do corpo. Órteses são colocadas junto a um segmento corpo, garantindo-lhe um melhor posicionamento, estabilização e/ou função.	
Adequação Postural	Indivíduos que utilizam cadeiras de rodas serão os grandes beneficiados da prescrição de sistemas especiais de assentos e encostos que levem em consideração suas medidas, peso e flexibilidade ou alterações músculo-esqueléticas existentes.	
Auxílios de mobilidade	A mobilidade pode ser auxiliada por bengalas, muletas, andadores, carrinhos, cadeiras de rodas manuais ou elétricas, scooters e qualquer outro veículo, equipamento ou estratégia utilizada na melhoria da mobilidade pessoal.	
Auxílios para ampliação da função visual	Recursos que traduzem conteúdos visuais em áudio ou informação tátil.	

Auxílios para melhorar a função auditiva	Recursos utilizados para traduzir os conteúdos de áudio em imagens, texto e língua de sinais	
Mobilidade em veículos	Acessórios que possibilitam uma pessoa com deficiência física dirigir um automóvel, facilitadores de embarque e desembarque como elevadores para cadeiras de rodas (utilizados nos carros particulares ou de transporte coletivo), rampas para cadeiras de rodas, serviços de autoescola para pessoas com deficiência.	
Esporte e Lazer	Recursos que favorecem a prática de esporte e participação em atividades de lazer.	

Fonte: Introdução à Tecnologia Assistiva (BERSCH, 2008).

### 2.2.1 TECNOLOGIA ASSISTIVA PARA CÃES

Os dispositivos de tecnologia assistiva têm um papel muito importante na qualidade de vida de animais com algum tipo de disfunção ou deficiência seja ela neurológica ou ortopédica, pois têm a capacidade de proporcionar maior independência ao animal, fornecendo maior conforto também ao proprietário pelo fato de permitir que o dono ocupe menor porção de seu tempo assistindo seu animal de estimação. Estes dispositivos dão sustentação para membros fracos ou não funcionais do corpo, o que pode ajudar na reabilitação do animal. Além disso, ajudam a prevenir úlceras decubitais, aumentam a mobilidade do animal e previnem complicações em pacientes que não conseguem manter sua postura na horizontal. Os dispositivos assistivos mais comuns para animais são botas, funda para manter a postura, carrinhos de duas e quatro rodas e próteses (ADAMSON, 2005).

### 2.2.2 PRÓTESE DE MEMBRO

Próteses são dispositivos empregados para substituir a carência de um membro, diferentemente das órteses que suportam ou protegem alterações articulares, ou seja, corrigem alguma deformidade apresentada pelo membro. Alguns dos principais objetivos da utilização de uma prótese são a correção do

posicionamento da coluna, a diminuição da carga atuante nos membros restantes e a recuperação do controle muscular (LAGE et al., 2018).

O nível de complexidade de uma prótese varia de acordo com a função a ser desempenhada, seus mecanismos de atuação, bem como de seu material e formato. Atualmente, existem algumas opções de dispositivos prostéticos que variam desde as opções passivas, também conhecidas como cosméticas, até as próteses híbridas. Os artefatos cosméticos atendem somente a fins estéticos e, portanto, não fornecem qualquer estabilidade mecânica ou desempenham outra função. Outro tipo é a prótese acionada pelo corpo do animal, que utiliza movimentos de componentes como úmero e escápula para controlar o dispositivo. Este é o modelo mais utilizado em caninos devido a sua simplicidade, eficiência e custo reduzido, o que não significa que sua utilização não exija ajustes e treinamento. Uma opção mais elaborada é a mioelétrica, que consiste no trabalho conjunto do membro residual e de um motor elétrico. Nela, um dispositivo é responsável por amplificar impulsos elétricos oriundos dos músculos de modo que eles possam controlar a prótese. As alternativas híbridas são formadas pela combinação das próteses mioelétricas com as acionadas pelo corpo (BACHMAN et al., 2017).

Uma maneira mais geral de classificar as próteses de membro foi dada por Lage et al. (2018) onde elas foram definidas como de encaixe no coto (membro residual), denominadas exopróteses, e as que exigem incisões nos ossos conhecidas como endopróteses. A prótese de encaixe é formada por algumas partes essenciais tais como o cartucho, cuja função é fornecer apoio estrutural para encaixe do coto, além do dispositivo de contato com o solo, que funciona como um pé sintético. O artigo enfatiza que, independente do modelo selecionado, seu planejamento e desenvolvimento sempre precisam ser analisados a partir de uma perspectiva biomecânica, pois esta garante a re aquisição da independência locomotiva do animal.

Conforme estudo realizado por Adamsom et al. (2005), as próteses ainda são artifícios pouco utilizados na medicina veterinária, contudo, a reabilitação de animais de pequeno porte se torna paulatinamente um tema em evidência, o que sugere elevado potencial de desenvolvimento desta tecnologia.



Figura 8 – Cão utilizando prótese de membro pélvico. Fonte: *Animal Orthocare* (2019).

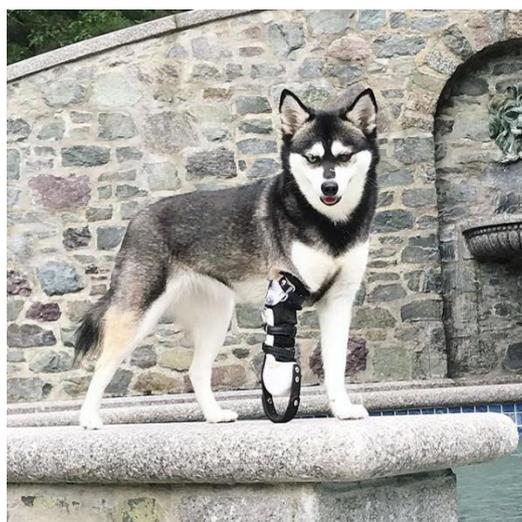


Figura 9 – Cão com prótese de membro torácico. Fonte: *Animal Orthocare* (2019).

As figuras 8 e 9 trazem exemplos da aplicação de próteses em caninos. Ambas foram retiradas do *Instagram*® da empresa *Animal Ortho Care*® e demonstram a versatilidade destes artefatos, que podem ser fabricadas com diferentes tamanhos e materiais, atendendo as mais variadas demandas apresentadas pelos pacientes.

### **2.2.2.1 FATORES DETERMINANTES NO DESENVOLVIMENTO DE UMA PRÓTESE**

Cada paciente apresenta limitações físicas únicas que devem ser sempre consideradas no processo de desenvolvimento de uma prótese e, por consequência, o produto final deve ser produzido especificamente para o atendimento das demandas apresentadas pelo indivíduo.

Os parâmetros essenciais de projeto são as forças transmitidas do dispositivo para o membro residual e as propriedades do material com o qual o artefato será produzido. O objetivo principal desse tipo de dispositivo é restaurar a capacidade de o paciente caminhar e, neste sentido, deve ser capaz de proporcionar uma forma eficaz de sustentar o peso corporal, distribuindo os esforços mecânicos atuantes (BACHMAN et al., 2017).

No mesmo trabalho, os autores enfatizam a importância de que o projeto preveja as alterações no deambular, como também variações na distribuição de pressões, fenômenos causados pela utilização do dispositivo. Afirma-se ainda que quanto maior a área da superfície da prótese na qual a carga corporal atua, menor é a pressão observada no membro residual, o que tem relação direta com a quantidade de dor ou desconforto experimentado pelo paciente.

### **2.2.2.2 MATERIAIS UTILIZADOS NO DESENVOLVIMENTO DE UMA PRÓTESE**

Todas as informações desta seção foram retiradas do trabalho de Bachman et al. (2017). Os autores explicam que para uma prótese ter seu desempenho otimizado, o material de sua confecção deve ser leve e resistente. Neste sentido, observa-se que as opções mais comuns são os materiais termoplásticos devido a sua elevada moldabilidade e propriedades mecânicas. Tais constituintes podem ser empregados tanto na estrutura quanto no revestimento do artefato. Dois exemplos são o polipropileno e o polietileno. O primeiro, por ser bastante rígido, é geralmente aplicado na estrutura, já o segundo, graças a sua maior flexibilidade, pode atuar na parte interna do dispositivo, garantindo maior conforto ao cão. Tanto um quanto o outro podem ser moldados a fim de que a forma demandada pelo coto seja obtida. Outra maneira de elevar o conforto do paciente é a utilização de silicone como

componente de revestimento, o que reduz sobremaneira o atrito do dispositivo com o membro residual, evitando o surgimento de lesões superficiais.

A porção da prótese que corresponde à canela de um membro saudável, também conhecida como *pylon*, frequentemente é fabricada com alumínio e titânio. A segunda opção é mais forte e resistente, todavia, mais cara. O aço inoxidável é ainda mais resistente do que os outros dois, entretanto, por conta de seu peso, é utilizado apenas em pequenos componentes estruturais que exigem elevada resistência.

Atualmente, novos materiais estão sendo empregados com o objetivo de alcançar melhores propriedades. Um bom exemplo é o uso da fibra de carbono, que gera uma estrutura extremamente leve. A tabela 3 apresenta uma síntese das propriedades dos materiais acima mencionados e outros utilizados no processo de fabricação de próteses e foi elaborada a partir da tabela de materiais encontrada no trabalho de Bachman et al. (2017).

Tabela 3 – Materiais utilizados na confecção de próteses para cães.

<b>Função desempenhada</b>	<b>Material</b>	<b>Propriedades</b>
Apoio estrutural	Liga de titânio	- Peso reduzido; - Custo elevado; - Elevada resistência mecânica;
	Liga de Alumínio	- Peso reduzido; - Ligas mais baratas do que as de titânio
	Aço Inoxidável	- Resistência à corrosão; - Mais pesado e resistente do que as ligas de carbono e alumínio; - Custo reduzido
	Fibra de Carbono	- Altamente resistente;

		-Baixa densidade (peso extremamente reduzido);  - Quimicamente inertes
Cápsula do coto	Polipropileno (PP)	- Estrutura rígida;  - Alta moldabilidade
	Polietileno	- Mais macio e flexível do que o PP;  - Alta moldabilidade
	Silicone	- Reduz o atrito entre o coto e a prótese

Fonte: Projeto de prótese para caninos com deformidades no membro frontal (BACHMAN et al., 2017)

### 2.2.2.3 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE PRÓTESES

No trabalho de Bachman et al. (2017) também estão presentes os principais processos de fabricação utilizados na confecção de próteses para cães. Alguns componentes do dispositivo podem ser produzidos em larga escala, tal como o *pylon*. Outras, no entanto, necessitam de medidas precisas do membro residual. O cartucho deve ser produzido de forma personalizada e exclusiva para cada paciente.

Em uma prótese são duas as principais partes que precisam ser fabricadas: a cápsula e o membro artificial. O primeiro componente pode ser elaborado a partir da sucção do ar existente entre o material termoplástico e o molde do membro residual. Este procedimento cria um vácuo que faz com que o material assuma a forma do molde. Antes que se obtenha o formato final, o produto é testado pelo paciente e ajustes são realizados para que uma forma mais anatômica seja alcançada. Já o membro artificial pode ser obtido de diferentes formas. Além da utilização do vácuo, este componente pode ser fabricado por meio de injeção ou extrusão. Aquele representa o processo no qual o material fundido, pressionado em um molde e submetido ao resfriamento. A extrusão refere-se ao processo no qual o material é forçado a passar por uma matriz, assumindo uma forma contínua.

O avanço da tecnologia de impressão 3D tem contribuído para tornar a fabricação deste tipo de dispositivo menos onerosa e mais versátil.

### 2.2.3 MANUFATURA ADITIVA

A denominação manufatura aditiva (MA) representa uma coleção de tecnologias que dão origem a um objeto através da agregação de várias camadas de materiais (GORNI, 2001). Essas técnicas possibilitam a produção de modelos físicos em 3D a partir de dados obtidos de uma maquete virtual gerada por sistema CAD (Volpato, 2007).

Ainda que o termo Prototipagem Rápida – PR – seja amplamente utilizado, para Volpato (op. cit), esta não é a nomenclatura mais adequada. Segundo o autor, a difusão desta terminologia ocorreu devido à velocidade com que processos de fabricação de protótipos eram realizados.

Nishimura (op. cit.) esclarece que a MA deve sua origem à Fotoescultura e à Topografia, técnicas do séc. XIX também fundamentadas na aplicação de camadas. Apenas em 1987 a MA passou a ter aplicações comerciais, “após o surgimento do primeiro equipamento de PR, o SLA-1 (*StereoLithography Apparatus*) produzido pela empresa 3D Systems” (NISHIMURA, 2018, P. 22 ). A autora elucida ainda que, depois deste evento, a produção de diversas outras máquinas e equipamentos, inclusive por pequenas empresas, tornou a tecnologia mais economicamente atrativa, proporcionando sua disseminação.

Em comparação com outros processos de fabricação, tais como a usinagem, as impressões 3D representam uma alternativa mais dinâmica, o que não significa que uma deva ser utilizada em detrimento da outra. Como o desenvolvimento de um produto possui várias etapas até o resultado final, essas técnicas devem atuar em cooperação (CROUCILLO et al., 2017).

As vantagens da utilização da manufatura aditiva, elencadas por Gorni (op.cit.), vão desde a prevenção de falhas e erros do produto final por meio da realização de testes, até melhorias na interlocução entre todos os envolvidos no projeto. Vale ressaltar que a MA pode “produzir peças com geometrias exatas, ou com discrepância desprezível, trabalhar detalhes precisos em uma peça e executar geometrias complexas, inclusive são capazes de gerar peças prontas para o uso, em um processo conhecido como Manufatura Rápida (MR) ” (NISHIMURA, 2018, P. 22-23).

Volpato (2007) esclarece que artefatos impressos em tecnologia 3D são produzidos por meio de dados adquiridos diretamente do modelo CAD, o que favorece a velocidade, automatização e flexibilidade do projeto. Este argumento vai ao encontro do exposto por Tood (2004) ao afirmar que a característica da manufatura aditiva – processo pelo qual são realizadas as impressões 3D – mais interessante ao desenvolvimento do produto é a pré-visualização de projetos através da modelagem computacional, estejam eles em fase de concepção ou em estágio avançado de produção.

Gorni (op. cit.) descreve um processo de MA em cinco etapas essenciais:

- Elaboração do modelo CAD do objeto desejado;
- Conversão do arquivo para a extensão STL (utilizada na maioria das impressoras 3D);
- Separação do arquivo STL em camadas transversais;
- Criação da peça com a utilização das camadas previamente fatiadas; e
- Limpeza e acabamento do produto final.

Outro fator de interesse comercial é a versatilidade na utilização de diferentes matérias-primas. Sólidos, líquidos e materiais em pó são alguns exemplos das possibilidades (VOLPATO, 2007).

Ainda de acordo com Gorni (op. cit.), existem sete sistemas de PR usados na fabricação de modelos. Estes podem ser descritos como:

- Esteriolitografia (SLA, *Stereolitography*):

Processo no qual modelos tridimensionais são fabricados a partir de substâncias líquidas fotossensíveis, que automaticamente se solidificam ao serem expostas à radiação ultravioleta.

- Manufatura de objetos em Lâminas (LOM, *Laminated Object Manufacturing*):

O protótipo é construído por meio da colagem de tiras adesivas. A matéria-prima é representada por bobinas de papel laminado que possuem em sua composição um material ligante ativado por calor.

- Sinterização Seletiva a Laser (SLS, *Selective Laser Sintering*):

Técnica baseada na fundição seletiva de materiais que se apresentam em forma de pó fino (pulverulentos), tais como o náilon.

- Modelagem por Deposição de Material Fundido (FDM, *Fused Deposition Modeling*):

Neste sistema, filamentos de resina termoplástica são submetidos à extrusão e depositados sobre um plano por uma matriz em forma de agulha. O plano é mantido a uma temperatura inferior a do filamento, de forma que este se torna rígido após o contato. O processo é repetido várias vezes formando as camadas constituintes da peça desejada.

- Cura Sólida na Base (SGC, *Solid Ground Curing*):

Procedimento similar à SLA, no qual utiliza-se radiação ultravioleta para o enrijecimento de substâncias fotossensíveis, entretanto, no SCG o processo não é realizado em camadas e esculpe todo o protótipo em uma única vez.

- Conformação Próxima ao Formato Final via Laser (LENS, *Laser Engineered Net Shaping*):

Representa uma novidade na área da PR, possibilitando a fabricação de estruturas em metal denso, com boas propriedades mecânicas e metalúrgicas e velocidade de produção considerável. De forma análoga ao SLS, faz uso da fundição seletiva de materiais pulverulentos, que neste caso são metálicos.

- Impressão por Jato de Tinta (MJT, *Mult Jet Modeling*; BPM, *Ballistic Particle Manufacturing*):

Diferentemente dos processos listados acima, este item se refere a várias técnicas em que jatos de tinta são utilizados para esculpir o protótipo. A construção da peça acontece quando um cabeçote de impressão por jato de tinta imprime um

elemento aglutinante que concentra o produto pulverulento em áreas determinadas. Isso acontece repetidas vezes, resultando na impressão das diferentes camadas que formam o objeto final. O pó utilizado pode advir de materiais poliméricos, cerâmicos e metálicos.

#### **2.2.4 MANUFATURA ADITIVA E MEDICINA VETERINÁRIA**

A utilização da MA, mais especificamente da FDM, tem sido cada vez mais empregada como uma para a fabricação de próteses animais, e, de acordo com reportagem do site Cães&Gatos VET FOOD, de 5/11/2018, propicia a utilização de diversos materiais, a depender da necessidade do animal. A matéria destaca que a utilização desta tecnologia deve superar os fins estéticos, proporcionando também maiores chances de bem-estar aos pacientes e traz como embasamento teórico a declaração do Dr. Roberto Fecchio durante palestra ministrada na 2ª Semana do Médico-Veterinário em São Paulo, na qual afirma que: “O objetivo é devolver funções importantes e, muitas vezes, inerentes ao comportamento da espécie”. O artigo elenca dois episódios que demonstram a versatilidade desta técnica. Um deles se refere ao primeiro caso de utilização de uma prótese de titânio no mundo, produzida para corrigir uma deformação no bico de uma arara que impedia que o animal se alimentasse. Também é relatada a história de um jabuti que perdeu o casco após um incêndio e teve a estrutura substituída por um casco sintético de filamento PLA, um dos mais empregados em impressões 3D.

Protéses animais geralmente são confeccionadas com o emprego de dois filamentos poliméricos: o Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) e o Politereftalato de Etileno Glicol (PETG). O ABS é um material termoplástico – amolece ao ser aquecido e enrijece com o resfriamento – bastante leve e rígido, além de apresentar grande resistência (CROUCILLO et al., 2017). Segundo Celentano (2003), essas características possibilitam sua aplicação em próteses mecânicas. Já o PETG representa um material termoplástico advindo do petróleo, cuja aplicação industrial não é recente, ao contrário de sua utilização como filamento para impressão 3D, que começou há pouco tempo na fabricação de itens tubulares, além de brinquedos e próteses. Resiste à elevadas temperaturas, entretanto não tão altas quanto o ABS e sua grande vantagem é o fato de ser reciclável e inerte à maioria dos solventes existentes no mercado. Este filamento é indicado para artigos transparentes e nos

quais se necessite de alta resistência mecânica aliada à flexibilidade nos encaixes (REIS, 2016).

A utilização da MA na medicina veterinária, ainda que incipiente, já se mostra extremamente benéfica para todos os envolvidos, sejam eles pacientes, profissionais da área ou proprietários. Dentre os avanços proporcionados pela tecnologia estão o treino cirúrgico, essencial em casos graves como nos quais existam um grande número de fraturas, a comunicação entre os participantes do procedimento cirúrgico e a confecção de próteses que podem mitigar os inúmeros efeitos prejudiciais, psicológicos ou físicos, oriundos da subtração de membros (NISHIMURA, 2018).

Segundo a mesma autora, a MA permite a elaboração de dispositivos prostéticos de custo reduzido, em menos tempo e conforme a demanda do paciente, sendo possível a produção de peças com alto nível de complexidade e personalização. Este processo de fabricação é particularmente importante quando a deficiência apresentada pelo animal exige uma geometria de acomodação do membro, ou seja, na qual o encaixe é essencial para o sucesso do projeto. Um bom exemplo é o episódio do cão Duke, onde foram utilizadas tomografias do membro imperfeito para elaboração do arquétipo virtual e posterior impressão via sinterização seletiva a laser. O resultado do procedimento pode ser observado na figura 10.



Figura 10 – Cão Duke antes e depois da prótese. Fonte: Nishimura (2018).

Como informado na seção 2.2.3, uma das etapas da MA é a elaboração do modelo virtual. Este pode ser modificado e adaptado sempre que necessário, o que

torna possível a indicação do uso deste tipo de acessório mesmo que o paciente se encontre em fase de crescimento.

Outro aspecto muito relevante para a aplicação da MA na medicina veterinária é a vasta gama de materiais que podem ser empregados como matéria-prima. Nishimura (2018) relata casos onde se fez uso de Kevlar, Nylon, PLA, ABS e até mesmo metais. Isso confere maior abrangência aos projetos, sendo possível aplicar a tecnologia na reconstrução de bicos, cascos de tartaruga e incisões cirúrgicas nos ossos.

No tocante aos animais com problemas de locomoção, a MA surge como uma alternativa para evitar indicações precoces de sacrifício, tomadas por proprietários e médicos veterinários quando não se tem uma perspectiva de recuperação da independência locomotora do paciente.

### **2.2.5 ESTUDO DE PATENTES**

O estudo sobre as patentes existentes no mercado é de grande importância para o projeto, seja para evitar algum tipo de cópia involuntária por desconhecer a existência de um produto previamente patentado, seja para realizar um *benchmarking*, que possibilita conhecer novos princípios de soluções que podem ser utilizados a fim de gerar ferramentas às funções necessárias ao produto. Assim, foi realizada uma pesquisa em bases de patentes certificadas.

#### **2.2.5.1 INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL – INPI**

O INPI é o órgão da administração pública brasileira responsável por registros que regulam a inovação e estimulam a competitividade tecnológica no Brasil, entre eles incluem-se o registro de marcas, desenhos industriais e patentes (INPI, 2019).

A fim de encontrar registros de patentes existentes no Brasil que pudessem solucionar o problema da cadela Estrela, pesquisaram-se os seguintes títulos nas ferramentas de busca desta plataforma: prótese canina, prótese para cães e prótese animal. Todavia, apenas no último título houve duas correspondências e, ainda assim, nenhuma delas era uma solução compatível com as necessidades deste projeto.

### 2.2.5.2 LATIPAT®

O Latipat® é uma plataforma gratuita de acesso a patentes registradas na América Latina e Espanha, ao todo são 20 países, as línguas bases das pesquisas são Espanhol e Português (EPO, 2020). A página de pesquisa é vinculada aos mesmos organizadores da *Espacenet*®.

A fim de encontrar registros de patentes existentes na América Latina que pudessem solucionar o problema da cadela Estrela, pesquisou-se os temas nesta fonte com títulos em português: prótese canina, prótese para cães e prótese animal; todavia não houve correspondências. Em espanhol, os títulos foram: próteses para perros, próteses perro; também não houve correspondências.

### 2.2.5.3 ESPACENET®

O *Espacenet*® é uma plataforma gratuita de acesso a patentes registradas em todo o mundo, disponibiliza pelo Escritório Europeu de Patentes (*European Patent Office*®), instituição responsável pelas patentes da Europa, que busca incentivar a inovação, competitividade e crescimento econômico na região (EPO, 2020).

A fim de encontrar registros de patentes existentes ao redor do mundo que pudessem solucionar o problema da Estrela, pesquisaram-se os temas nesta fonte com títulos: *dog leg prostheses*, *dog front leg prostheses* e *dog front limb prostheses*. Houve, em cada pesquisa, respectivamente, 1115, 663 e 664 correspondências, dentre as quais observaram-se as de maior relevância do site e as compatíveis com a dificuldade de locomoção da cadela.

Dentre as correspondências obtidas, três trabalhos obtiveram destaque e foram descritos com maiores detalhes. Estes trabalhos podem ser observados nas figuras 11, 12 e 13.

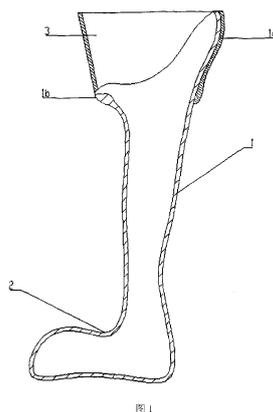


图 1

Figura 11 – Membro artificial da pata dianteira do cão. Fonte: (CHUANZONG, 2015).

A patente observada na figura 11 apresenta-se com traços similares a membros posteriores caninos e, embora seja para um animal com perda completa do membro, há a possibilidade de adaptar sua parte superior para o ombro da cadela Estrela. Uma das melhorias que podem ser aplicadas neste projeto é a adaptação do comprimento paralelo ao solo da pata, tendo em vista que este pode gerar atritos ao animal durante o seu deambular. Vale ressaltar que a patente não possui direito de exclusividade desde 2017.

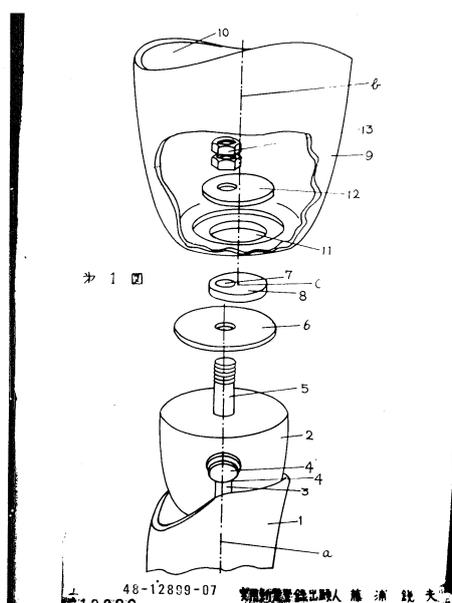


Figura 12 – Prótese de pata. Fonte: (Autor Desconhecido, 1975).

Já na figura 12, observa-se um artefato com sistemas mecânicos mais definidos, com identificação de arruelas, parafusos e porcas. A utilização de várias peças na estrutura é um aspecto que permite a substituição do componente específico em caso de quebra, mantendo a integridade do produto após a manutenção.

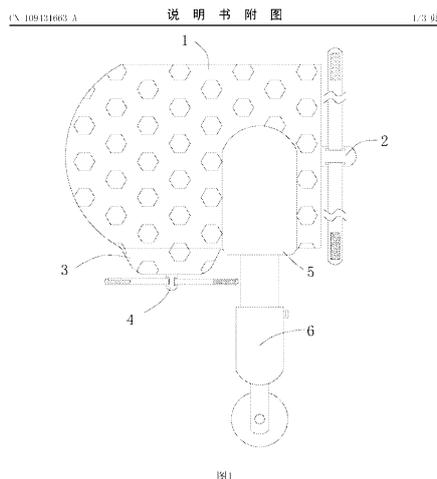


Figura 13 – Membro artificial para Pug com deficiência nos membros traseiros. Fonte: (RUIQING, 2018).

O modelo disponível na figura 13, embora idealizado para cães da raça Pug com amputação dos membros traseiros, possui princípios aplicáveis a outros casos, como o descrito neste trabalho, tal como a regulagem de altura do elemento 6.

### 2.3 METODOLOGIAS DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

As metodologias de desenvolvimento de produto têm a função de auxiliar os projetistas na realização dos procedimentos necessários à elaboração de um novo produto, visando as melhores práticas e, em consequência, a economicidade e a efetividade do produto no atendimento às necessidades dos clientes. Dentre as principais metodologias é possível destacar as de Pahl et al. (2007) e Rozenfeld et al. (2006), ambas serão apresentadas a seguir.

### **2.3.1 PAHL ET AL. (2007)**

O modelo de Pahl et al. (2007) estabelece uma estratégia de desenvolvimento de soluções que tem o objetivo de aumentar a probabilidade de sucesso técnico e econômico do desenvolvimento de produtos, por meio da apresentação de ações a serem executadas em um processo que se constitui de condições de entradas e as respectivas especificações de saídas. Estas ações são alocadas em um cronograma de projeto aplicável a qualquer ramo da engenharia. Este desenvolvimento é realizado por meio da criação de uma abordagem confiável, que permite um planejamento cuidadoso e uma execução sistemática, de forma que todas as tarefas são reduzidas a exercícios lógicos, compreensíveis e permissoras de reparos a erros inevitáveis. O desdobramento desta metodologia pode ser observado na figura 14.

#### **2.3.2.1 PLANEJAMENTO DO PRODUTO E ESCLARECIMENTO DA TAREFA**

Nesta etapa acontece o primeiro contato com o problema e, neste contexto, pode não ser fácil compreender as dificuldades apresentadas pelo cliente, sendo necessário prévio esclarecimento das dificuldades e coleta de informações adicionais. Assim, os projetistas têm a tarefa de definir a situação-problema do projeto, a fim de definir o escopo de necessidades que o cliente possui, diminuindo o risco de não atingir uma solução que atenda aos anseios do cliente. Para isso, é necessário analisar o mercado; selecionar ideias de produto; elaborar a proposta de produto; esclarecer as tarefas; e elaborar uma lista de requisitos do cliente.

#### **2.3.2.2 PROJETO CONCEITUAL**

O Projeto Conceitual representa a etapa na qual ocorre a determinação dos princípios de solução que serão aplicados. Tal processo é realizado por meio das especificações e requisitos obtidos na fase anterior do projeto. Assim, são elaboradas as estruturas de funções que o produto deve desempenhar, por meio da pesquisa de princípios de soluções adotados em situações semelhantes, combinando-os numa organização que funcione da melhor maneira. Por fim, as combinações de funções e subfunções são avaliadas técnica e economicamente, sendo a estrutura escolhida a melhor avaliada.

### 2.3.2.3 PROJETO DE INCORPORAÇÃO

Nesta etapa há a determinação da estrutura física do sistema técnico do produto. Para isso são produzidas várias opções prévias de layout que o produto pode possuir, estas opções são posteriormente avaliadas de acordo com critérios técnicos e econômicos escolhidos, baseando-se em estruturas de funções escolhidas no projeto conceitual e, por fim, desenvolve-se o layout definitivo do produto, que será o melhor classificado dentre todos os propostos.

### 2.3.2.4 PROJETO DETALHADO

Nesta etapa há o detalhamento da fase anterior por meio da determinação dos arranjos, formas, dimensões e superfícies de todos os componentes do produto, ou seja, parâmetros de engenharia. Há também a especificação dos materiais que serão utilizados, custos e desenhos de projetos, que serão todos listados e documentados.

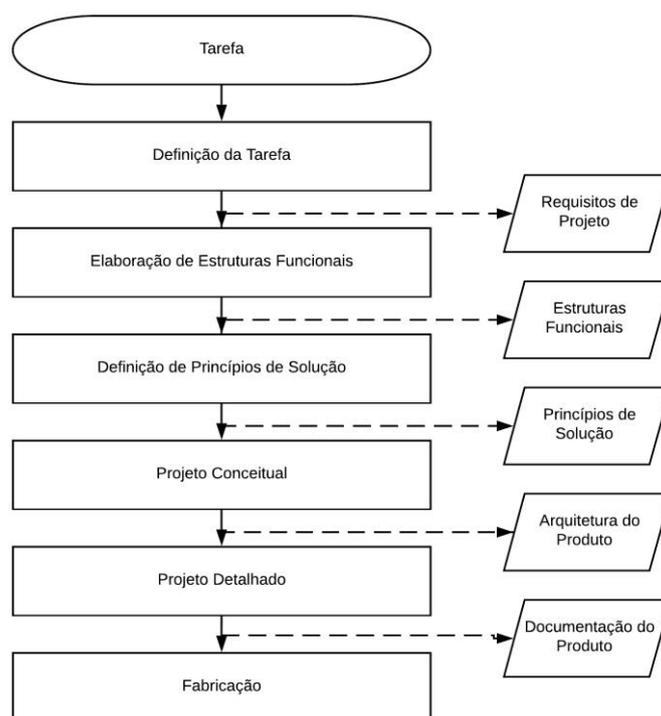


Figura 14 – Ciclo de vida do produto. Fonte: Pahl et al. (2007).

### **2.3.2 ROZENFELD ET AL. (2006)**

O modelo de processo de desenvolvimento de produtos - PDP - de Rozenfeld et al. (2006), representado na figura 15, é definido como:

“essa visão do relacionamento entre ciclo de vida do produto e seus clientes é de grande interesse ao Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), pois fornece uma visão mais ampla de todo o processo, permitindo o desenvolvimento de soluções específicas para cada um desses clientes” (ROZENFELD et al., 2006, p. 217).

#### **2.3.2.1 PLANEJAMENTO DE PROJETO**

Neste estágio são definidos os escopos do produto e do projeto, além dos recursos necessários, tempo e custo. Esta fase é fundamental para a definição do orçamento empregado no projeto, tendo em vista que a maior parte dos custos passa a estar comprometida após a fase de planejamento.

#### **2.3.2.2 PROJETO INFORMACIONAL**

Fase onde são criadas as Especificações-Meta do produto em um processo no qual as informações contidas no Plano de Projeto e as necessidades dos clientes, coletadas por meio de entrevistas e questionários, são transformadas em requisitos do cliente e do produto. Este processo é auxiliado por ferramentas como: Diagrama de Mudge, Diagrama de Pareto, QFD e Matriz de Atributos.

#### **2.3.2.3 PROJETO CONCEITUAL**

Nesta etapa são realizadas a busca, criação, representação e seleção de soluções para o problema de projeto. Estas soluções baseiam-se nas Especificações-Meta, que são o resultado da fase do Projeto Informacional. Para a definição de soluções são realizadas atividades de modelagem funcional, desenvolvimento de princípios e alternativas de soluções, definição da arquitetura do produto, seleção das concepções alternativas, acompanhamento da viabilidade econômica e documentação das decisões.

### 2.3.2.4 PROJETO DETALHADO

No Projeto Detalhado são desenvolvidas e detalhadas as informações técnicas com a definição dos Sistemas Subsistemas e Componentes - SSCs. Assim, são finalizadas todas as especificações do produto, posteriormente encaminhadas à manufatura e às outras fases do desenvolvimento.

### 2.3.2.5 PREPARAÇÃO DA PRODUÇÃO

A preparação da produção consiste no desenvolvimento das atividades da cadeia de suprimentos do ponto de vista interno a fim de se obter o produto. Esta fase engloba a produção do lote piloto, a definição dos processos de produção e manutenção.

### 2.3.2.6 LANÇAMENTO DO PRODUTO

Nesta etapa são desenhados os processos de venda e distribuição, atendimento ao cliente e assistência técnica e as campanhas de marketing, visando a colocação do produto no mercado.

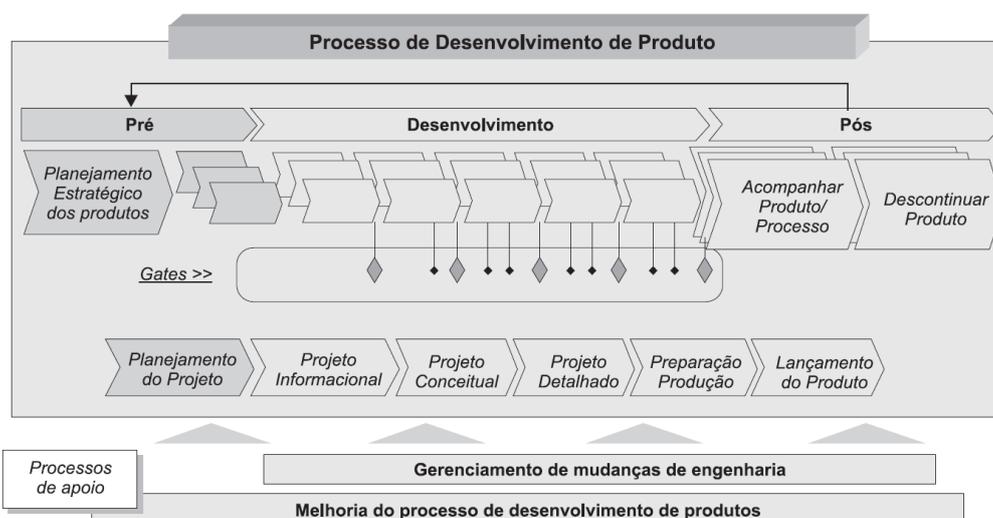


Figura 15 - Processo de Desenvolvimento de Produto. Fonte: Rozenfeld et al. (2006).

### 2.3.3 ABORDAGENS PARA O DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS ASSISTIVAS

A introdução de tecnologias assistivas na vida do paciente é um processo delicado e de longo prazo e, para ser bem sucedido, deve contar com trabalho em

equipe e alto grau de profissionalismo, bem como não desprezar as variáveis tempo e experiência.

### 2.3.3.1 MANUAL DE AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA (ATA)

A abordagem da Avaliação da Tecnologia Assistiva – ATA – proposto no trabalho de Federici e Scherer (2012), é baseado na sugestão de diretrizes que devem ser observadas a fim de que se alcancem resultados válidos durante a seleção da TA. Este modelo de desenvolvimento surgiu a partir da integração entre:

- Os processos empregados no centro de assistência de um Instituto de reabilitação italiano, denominado Instituto Leonarda Vacarri, em Roma;
- As etapas inerentes aos processos realizados em um centro de assistência técnica, tais quais: acesso ao serviço, estágio de avaliação ou planejamento, etapa de decisão ou escolha, fornecimento e personalização, estágio de suporte e acompanhamento;
- Os processos de assistência adotados no sistema público de saúde italiana, nas esferas regional e nacional;
- O processo de assistência *Matching Person and Technology* (FEDERICI; SCHERER, 2012), que, à época do trabalho citado, representava o único exemplo disponível na literatura de desenvolvimento de dispositivo de tecnologia assistiva voltada ao consumidor. Tal processo permite avaliar as características de um indivíduo, bem como as do ambiente no qual ele está inserido e as possíveis interações do usuário com o dispositivo.

Vale destacar que o processo ATA foi desenvolvido para atuar sob as lentes da Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde (ICF), um modelo utilizado para descrever e organizar informações sobre habilidades funcionais e deficiências, criada pela Organização Mundial da Saúde – OMS – em 2001. O objetivo principal da ICF é encontrar a melhor solução de TA, por meio da compreensão das medidas clínicas aplicáveis, da análise das habilidades funcionais e de avaliações psicológicas, sociais e ambientais. A melhor alternativa de TA só pode ser alcançada levando-se em conta o contexto específico do uso, no qual ela atuará como mediadora para que o paciente obtenha uma melhor qualidade de vida.

O ATA pode ser desenvolvido tanto a partir da perspectiva do usuário/paciente quanto da perspectiva do centro técnico. Ambas as abordagens devem ser realizadas levando em consideração a estrutura ICF. O processo ATA, em ambas as abordagens, pode ser visualizado nas figuras 16 e 17, que apresentam uma adaptação da descrição proposta no trabalho de Federici e Scherer (2012), cuja versão original se encontra no Anexo B.

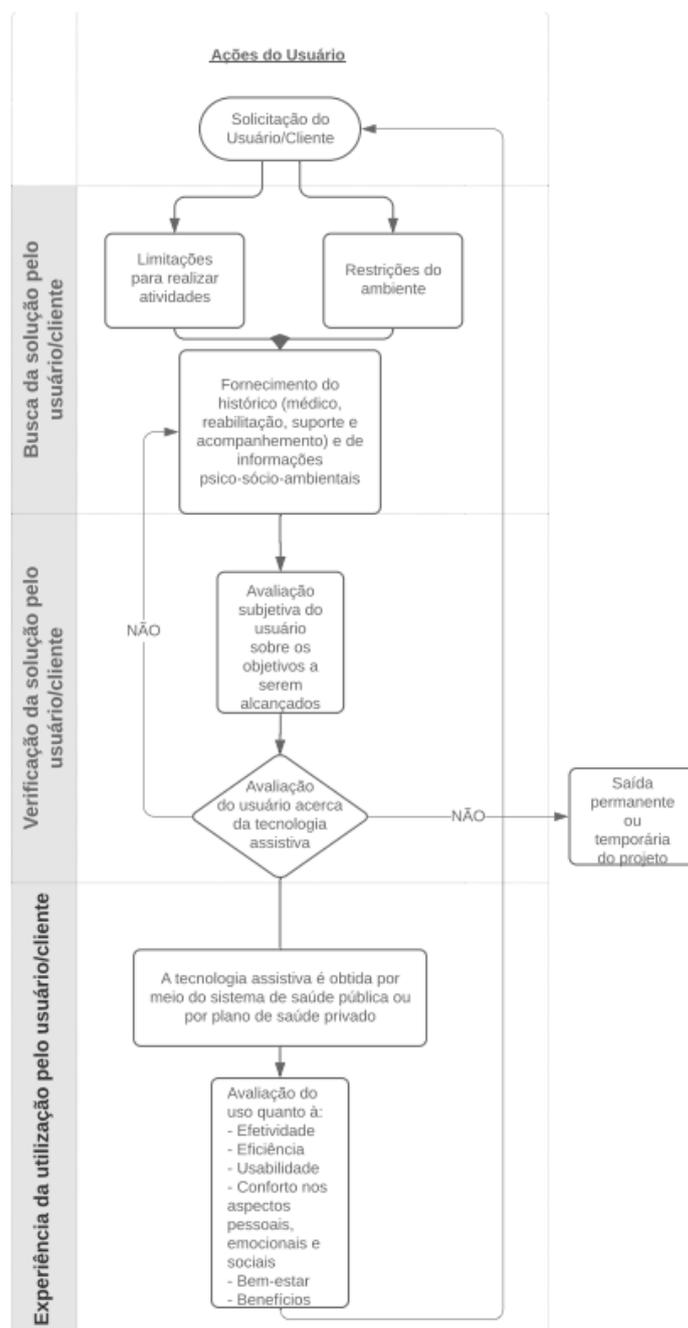


Figura 16 - O processo ATA – Ações do Usuário/Cliente. Fonte: Federici e Scherer (2012).

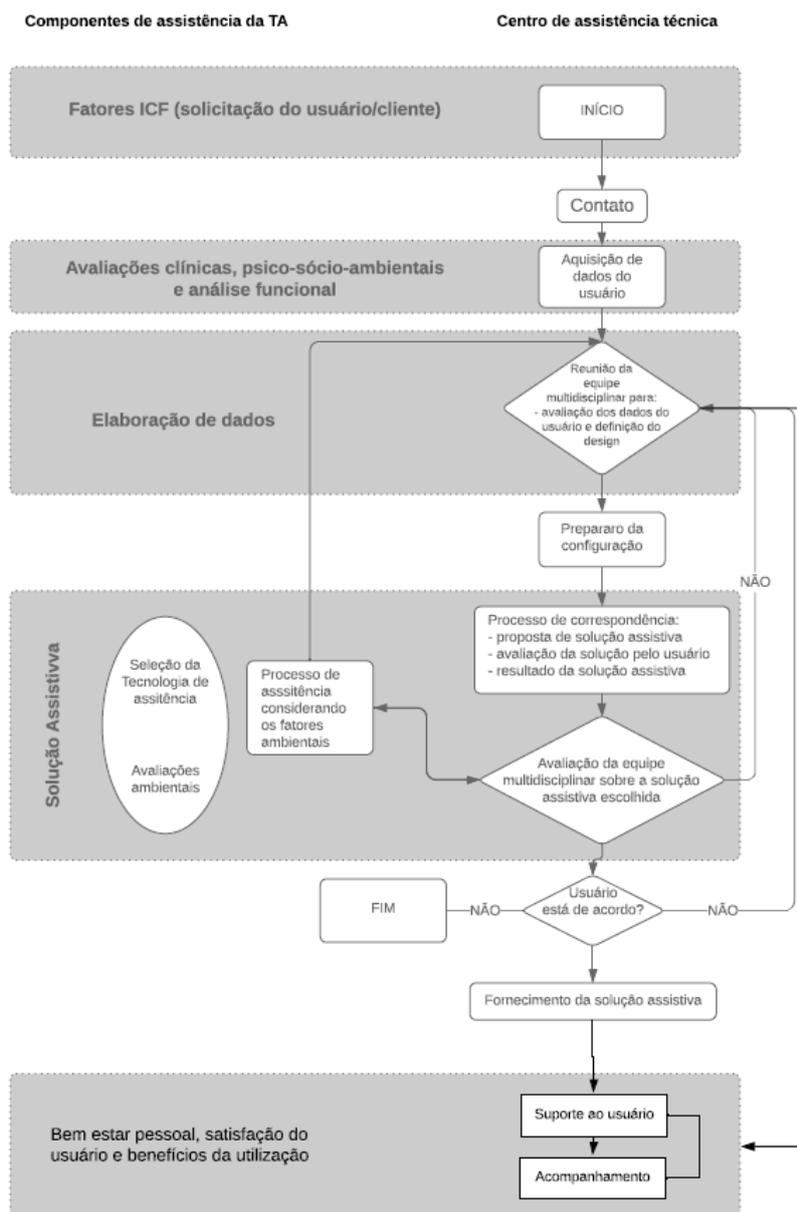


Figura 17 - O processo ATA - Centro de assistência técnica. Fonte: Federici e Scherer (2012).

As etapas do ATA podem ser descritas da seguinte forma:

### **SOLICITAÇÃO DO USUÁRIO/CLIENTE**

- O usuário/cliente procura uma solução para um ou mais componentes descritos no modelo ICF: funções e estruturas corporais (condições de saúde), que podem impedi-lo de realizar certas atividades, sempre a partir de um contexto individual e considerando fatores ambientais;

- A partir da solicitação do cliente, inicia-se o processo de desenvolvimento orientado pelo usuário para que se alcance a melhor forma de TA;
- A obtenção de uma solução de TA é facilitada por meio da compreensão do quadro clínico, análise das habilidades funcionais e da avaliação dos fatores psicológicos, sociais e ambientais;
- A demanda do cliente é atendida com a alternativa de TA que forneça a melhor integração usuário/dispositivo, ou seja, que melhor lhe proporcione bem-estar e maximize os benefícios de sua utilização;
- O centro de assistência técnica verifica a satisfação do cliente e o desempenho do produto por meio do estágio de suporte e acompanhamento. O bem-estar do usuário continua enquanto houver uma boa combinação de desempenho, suporte e acompanhamento.

### **CENTRO DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA**

- O processo ATA, da perspectiva do centro de assistência técnica, começa com a recepção da solicitação do cliente em uma reunião realizada em hora e local de preferência do cliente;
- A entrevista inicial é focada no alinhamento das informações do cliente com o cenário psico-sócio-ambiental;
- As informações fornecidas pelo cliente são armazenadas e transmitidas à equipe multidisciplinar quando necessário;
- A equipe multidisciplinar avalia a solicitação e as informações fornecidas pelo cliente:
  - Se as informações fornecidas não são suficientes para o início do desenvolvimento do produto, novas informações são requisitadas ao cliente, de modo que o processo retorna ao estágio da entrevista inicial;
  - Caso os dados sejam suficientes, o processo de desenvolvimento do produto se inicia e a equipe estabelece um cronograma de reuniões pontuais com o cliente.

- A equipe propõe um cenário adequado para a avaliação da assistência;
- A equipe, juntamente com o usuário, avalia a solução de TA proposta, reunindo dados dos resultados;
- A equipe avalia os resultados:
  - Em caso de sucesso, a equipe propõe que a TA seja utilizada como solução para a demanda e marca uma nova reunião com o cliente;
  - Caso os resultados não sejam satisfatórios, todo o processo retorna para a avaliação da solicitação e das informações fornecidas pelo cliente;
  - Quando a proposta de TA apresentada requer uma avaliação do ambiente na qual será utilizada, a equipe inicia o processo de checagem deste ambiente.
- A equipe avalia a eficácia da utilização do produto:
  - Se a opção de TA não é adequada, o usuário não concorda com a solução proposta e solicita outra. Novamente o processo retorna para o estágio de avaliação da demanda.
  - Se a opção de TA não é do agrado do cliente e uma solução alternativa não existe ou não pode ser encontrada, o usuário/cliente pode decidir por encerrar o projeto. Caso a TA seja adequada a equipe fornece o dispositivo ao cliente.
- A solução de TA é fornecida;
- Depois que a TA é fornecida ao usuário/cliente, inicia-se o processo de suporte e acompanhamento.

## **2.4 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS – MEF**

O Método dos Elementos Finitos refere-se a um procedimento computacional para resolução de problemas de engenharia. Ele prevê a substituição de um número infinito de variáveis desconhecidas, por um número finito de elementos com comportamento conhecido. Assim, a geometria estudada é dividida em elementos

menores, de diferentes formatos, conectados entre si por pontos, denominados nós ou pontos nodais, que em conjunto formam a malha. Quanto mais refinada for a malha – menor o tamanho e maior a quantidade dos elementos – mais precisa é a análise realizada. Essas divisões ou elementos podem se apresentar de diferentes formas, seja triangular, quadrilateral, dentre outras e sua utilização depende da estrutura que será analisada (MIRLISENNA, 2016). O elemento tetraedro sólido é o mais indicado para realizar análises de tensões e deformações em estruturas tridimensionais de espessura variável, da mesma forma que o triângulo para casos bidimensionais (CARVALHO, 2007). No mesmo trabalho foram descritos os parâmetros necessários para a realização de uma análise estrutural pelo MEF, tais como se os esforços atuantes são estáticos ou dinâmicos, a linearidade ou não-linearidade do material e o tipo de estrutura analisada.

Dentre os estudos que podem ser realizados por meio do MEF incluem-se as análises linear e a não-linear. Uma propriedade que pode ser considerada para diferenciar estes dois modelos é a rigidez do material, a qual caracteriza a resposta de uma peça a uma carga aplicada. A primeira análise não leva em consideração alterações de rigidez, o que acontece em situações de pequenos deslocamentos estruturais. Nesta análise o material é tratado dentro de seu regime elástico. Entretanto, em algumas situações se faz necessário o uso da análise não-linear para representar adequadamente a situação. Geralmente considera-se que a rigidez de uma estrutura é afetada por três fatores: a geometria, o material e o contato entre as partes de uma montagem (CARVALHO, 2007).

Quando as alterações de rigidez se dão por conta de alterações geométricas tem-se a não linearidade geométrica, caso que pode ser observado quando o material é submetido a grandes deformações.

Alterações nas propriedades do material também afetam a rigidez do sistema. A figura 18 ajuda a compreender essa afirmação. Até o ponto 1 o material se comporta de forma linear elástica e caso a carga seja retirada ele retorna a sua configuração inicial. Deste ponto até o ponto 2 o material ainda retorna ao formato inicial no caso de extinção da carga, entretanto não existe mais a linearidade observada na região anterior. O ponto 2 é conhecido como tensão de escoamento e representa o limite a partir do qual o material entra na região de deformação plástica

e suas alterações de forma são irreversíveis mesmo com a retirada da carga. Os pontos 3 e 4 se referem-se, respectivamente, à tensão máxima de resistência à tração e à tensão de ruptura do material (NORTON, 2004).

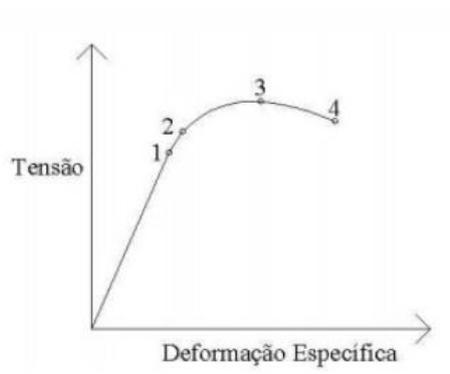


Figura 18 – Curva tensão x deformação para um material submetido a ensaio de tração. Fonte: (NORTON, 2004)

O contato entre componentes também afeta a rigidez do sistema. Durante esforços de compressão são desenvolvidas tensões de contato entre as peças, sendo a área e a rigidez da zona comum desconhecidas antes da realização do estudo. A figura 19 representa um problema comum de contato na qual a singularidade, ainda que muito pequena em relação ao restante da estrutura, resulta na necessidade de aplicação da análise não-linear (CARVALHO, 2007).

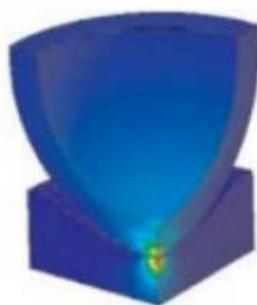


Figura 19 – Tensões de contato. Fonte: (CARVALHO, 2007).

### 3 SITUAÇÃO-PROBLEMA E METODOLOGIA

Uma visão mais prática do cotidiano de um cão com deficiência locomotora pôde ser vislumbrada depois da realização de entrevista com uma proprietária de um animal que apresentava esta condição. O fato de a proprietária ser médica veterinária forneceu informações técnicas valiosas para a concepção do protótipo. Tornou-se evidente que existe uma demanda no centro-oeste brasileiro por mecanismos de encaixe que forneçam independência locomotora total e dispensem a necessidade de um tutor que permaneça alerta, como acontece no caso das estruturas com rodas, que podem tombar impedindo que o usuário continue se movimentando. Além disso, tais dispositivos não são viáveis nos casos em que o cão apresenta apenas uma pata com deficiência, visto que a estrutura acaba por inutilizar o membro vizinho saudável. A entrevista também foi útil para esclarecer as principais características procuradas pelo tutor neste tipo de artefato, as quais foram descritas como: conforto e praticidade na acoplagem ao membro residual.

A deficiência apresentada pela cadela Estrela encontra-se em sua pata anterior direita, que termina um pouco antes da articulação do carpo, conforme apresentado na figura 20. Apesar de o animal conseguir se locomover, a incompletude do membro dificulta o equilíbrio e sobrecarrega os outros elementos do esqueleto apendicular. A proprietária informou que a cadela leva uma vida normal e consegue desempenhar todos os movimentos de um cachorro saudável, inclusive realizar saltos e subir escadas sem maiores dificuldades, entretanto, já apresentou dores no pescoço por conta do deambular anormal e teve que ser submetida a tratamentos de acupuntura, que continuam sendo realizados mensalmente desde então. Estrela, hoje com 4 anos, necessita ser medicada esporadicamente com condroprotetor, um medicamento anti-inflamatório cuja função é proteger as cartilagens, que na maioria das vezes só é utilizado por animais com idade avançada. Depois deste episódio, a proprietária relatou que não permite que a cadela suba nos móveis de modo evitar saltos e possível reincidência do desconforto no pescoço.



Figura 20 – Vista frontal da deformidade da cadela Estrela. Fonte: Autores.

A entrevista forneceu, ainda, uma visão mais abrangente sobre os casos de amputação canina. Segundo a proprietária, esse procedimento cirúrgico é mais realizado em casos de trauma que ocasionam subtração de parte do plexo, após a constatação da perda da função do membro devido à destruição das enervação e consequente fim da sensibilidade. Foi relatado ainda que casos de ósteossarcoma e condrosarcoma, ambos processos cancerígenos, são as outras causas mais comuns de amputação, entretanto não são vistos com frequência na clínica da profissional veterinária.

A entrevista foi registrada em áudio e seus tópicos mais importantes podem ser encontrados no Apêndice A. Durante as perguntas, foi esclarecido que cães possuem grande habilidade de adaptação à falta de um dos membros e podem levar uma vida normal nesta situação, desde que certas precauções sejam observadas como evitar impactos desnecessários para controlar o desgaste das articulações. Quando a deficiência se encontra nos componentes do membro torácico o paciente enfrenta maiores dificuldades de encontrar equilíbrio devido a maior fração do peso corporal que é sustentada por estes em relação aos membros posteriores. Neste tipo de situação, o controle da dieta é essencial para a saúde do paciente, visto que o excesso de peso em muito contribui para a piora de quadros de dificuldade locomotora.

A proprietária também explicou como avaliar a qualidade de vida de um cão, bem como maneiras de se identificar e monitorar a dor neste tipo de paciente. Tais diretrizes estão dispostas nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Indicadores do nível de qualidade de vida de um cão.

<b>Indicador</b>	<b>Descrição</b>
<b>Interação</b>	- A qualidade de vida de um cão pode ser mensurada pela quantidade de interação que ele realiza com os outros habitantes da residência. Um cão mais interativo é mais feliz, portanto melhor é a sua qualidade de vida.
<b>Apetite</b>	- Um cão com uma boa qualidade de vida se alimenta normalmente. Períodos de jejum geralmente estão associados a problemas físicos ou emocionais e, por consequência, a uma diminuição da qualidade de vida.
<b>Mudança de comportamento</b>	- Alterações no comportamento de um cão estão intrinsicamente associadas ao nível de qualidade de vida que ele possui. Um cão agitado que se torna muito quieto sem explicação aparente, geralmente está passando por uma diminuição de sua qualidade de vida.

Fonte: Autores.

Tabela 5 – Indicadores do nível de dor de um cão.

<b>Indicador</b>	<b>Descrição</b>
<b>Interação</b>	- Um cão com dor geralmente não interage com os outros habitantes da residência. Dores menos graves podem causar uma diminuição dessa interação, fato ao qual os proprietários devem estar atentos.
<b>Apetite</b>	- A alimentação é um dos principais indicadores no monitoramento de dor de um cão. Animais com dor se alimentam menos do que o de costume e, em casos mais severos, deixam de comer.
<b>Mudança de comportamento</b>	- Cães geralmente se comportam de uma forma específica, não apresentando mudanças de comportamento sem que haja algum motivo e a dor pode ser um deles.
<b>Textura das fezes</b>	- Fezes líquidas ou com textura muito diferente do habitual geralmente estão atreladas a problemas de saúde, que estão por sua vez relacionadas a algum tipo de dor.

Fonte: Autores.

De acordo com a proprietária, Estrela não apresenta qualquer quadro de dor atualmente, entretanto, sente desconforto quando seu membro residual é manipulado. Este fato pôde ser observado durante o procedimento de confecção do molde de gesso, no qual a paciente tentava calmamente dobrar a articulação do cotovelo recolhendo o coto, o que dificultou a realização do processo.

Mesmo que cães possuam grande adaptação à subtração de um membro, a literatura afirma que esta carência gera sobrecarga nos membros saudáveis e pode, a longo prazo, ocasionar lesões secundárias (seção 2.1.9). Tais afirmações são corroboradas pelo episódio de dor na região do pescoço, bem como a administração de doses sazonais de condroprotetor.



Figura 21 – Curvatura excessiva da coluna. Fonte: Autores.

Ademais, no caso apresentado, é possível observar grande desalinhamento da espinha dorsal em relação à posição natural, o que prejudica o deambular e estressa os componentes saudáveis do esqueleto apendicular, principalmente a pata dianteira esquerda. As figuras 21 e 22 trazem, respectivamente, o desalinhamento da coluna e os aspectos anormais de posicionamento dos membros saudáveis.



Figura 22 – Posicionamentos anormais dos membros saudáveis. Fonte: Autores.

A falta do membro anterior direito sobrecarrega em demasia a pata do lado oposto, o que faz com que o peitoral abaixe ficando em um nível inferior ao da articulação sacro-ílica. A coluna então assume uma curvatura convexa incomum, prejudicando a postura e a locomoção da paciente. A tutora informou já haver buscado por alternativas que mitigassem o problema de locomoção de Estrela, todavia só encontrou na região centro-oeste opções de cadeiras de rodas que inviabilizam a movimentação da pata dianteira saudável. Além disso, segundo ela, estes dispositivos oferecem um grau de independência reduzido ao cão, pois não permitem que ele os utilize durante todo o tempo e não são funcionais no que se refere a subir escadas e locomoção em terrenos acidentados. Adicionalmente, um cão usuário deste tipo de estrutura deve ter sempre um responsável por perto em caso de quedas.

A tutora afirmou que Estrela seria muito beneficiada caso houvesse um dispositivo de encaixe que proporcionasse a retomada da função do membro residual sem impedir a livre movimentação dos elementos saudáveis. Consoante ao relatado, tais opções de prótese só foram encontradas no estado de São Paulo.

Dessa forma, realizou-se uma visita técnica na clínica da proprietária com o objetivo de reunir informações sobre o membro afetado. Assim, efetuou-se a aferição das medidas, por meio de uma fita métrica. Os dados obtidos nesta etapa estão dispostos na tabela 6.

Tabela 6 – Dimensões corporais e distância relevantes à construção do protótipo.

<b>Medida de interesse</b>	<b>Dimensão (mm)</b>
Distância do solo ao coto	130
Comprimento do antebraço	80
Comprimento do braço	40
Diâmetro do braço	120
Diâmetro do cotovelo	110

Diâmetro do antebraço	50
Altura da Estrela	445
Altura do peitoral	220

Fonte: Autores.

A seguir, foi confeccionado um molde de gesso do coto (figuras 23 e 24) para que a equipe pudesse ter acesso a uma estrutura em tamanho real, com o formato do membro, o que facilitaria futuras tomadas de decisão quanto às dimensões do dispositivo. Este passo foi realizado com auxílio e supervisão da proprietária da Estrela que, como já relatado anteriormente, também é médica veterinária. O coto foi envolto em atadura gessada úmida e massageado em toda sua extensão para que as articulações e extremidades ficassem evidentes no molde.



Figura 23 – Confeção do molde de gesso. Fonte: Autores.



Figura 24 – Molde de gesso. Fonte: Autores.

O desenvolvimento conceitual do dispositivo necessita estar de acordo com as diretrizes da medicina veterinária e legislação animal. Para tanto, busca-se nas teorias do desenvolvimento do produto as melhores práticas e processos de fabricação mais utilizados em dispositivos empregados no auxílio da locomoção canina. Neste sentido, realizou-se uma pesquisa por fontes bibliográficas nas bases de dados *Google Scholar*<sup>®</sup>, *Web of Science*<sup>®</sup> e *Scopus*<sup>®</sup>, com os seguintes termos: *animal assistive devices*, *assistive devices*, *V-OP*, tecnologias assistivas, tecnologia assistiva para cães, reabilitação canina, anatomia canina, biomecânica canina, *product design for animals*. Este procedimento permitiu a reunião de artigos acadêmicos que formaram o arcabouço teórico necessário ao início do projeto.

O início do desenvolvimento de um produto ou protótipo possui muitos riscos e incertezas tais como a falha na definição da situação-problema e a formação de um escopo de requisitos incompatível com as reais necessidades do cliente, que podem resultar no fracasso do projeto. Em contrapartida, se o planejamento for corretamente efetuado, eleva-se a probabilidade de se obter um resultado economicamente viável, que atenda às necessidades dos usuários e garanta sua segurança, bem como leve em consideração fatores ambientais e eleve a qualidade de vida.

A metodologia utilizada neste trabalho mescla as etapas do desenvolvimento de produtos assistivos de Federici e Scherer (2012) e os métodos para desenvolvimento de produtos encontrados nas obras de Pahl et al. (2007) e Rozenfeld et al. (2006), adaptando-os para a elaboração de um protótipo cuja função é auxiliar a locomoção de um cão com deficiência no membro torácico. Isso possibilitou reunir ferramentas de entendimento das deficiências do animal com os mecanismos de avaliação dos requisitos do projeto que deverão ser detalhados para a preparação da produção, e, posteriormente, do lançamento de um produto.

Segundo Leite (2014), uma boa maneira de organizar a execução do desenvolvimento de produtos é por meio do destaque das entradas e saídas das fases do projeto, o que permite acompanhar o cumprimento das metas preestabelecidas pelos projetistas. A tabela 7 foi desenvolvida seguindo esta orientação e apresenta as etapas de desenvolvimento que serão realizadas,

relacionando-as com as respectivas bibliografias utilizadas e as entregas de cada fase do projeto.

Tabela 7 – Etapas de desenvolvimento do projeto e suas respectivas bibliografias.

	Federici e Scherer (2012)	Pahl et al. (2007)	Rozenfeld et al. (2006)	Entrega da fase do projeto
Projeto Informacional	Avaliação de tecnologia assistiva - ATA e Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde – ICF.	Entrevistas, Observações, Casa da Qualidade – QFD.	Entrevistas, Observações, Casa da Qualidade - QFD, Diagrama de Kano, Diagrama de Mudge.	Necessidades de cliente, requisitos de cliente, requisitos de produto, Especificações-meta
Projeto Conceitual	Avaliação de tecnologia assistiva – ATA (perspectiva do usuário).	Métodos de Criatividade, Matriz Morfológica, <i>Computer-Aided Design</i> – CAD, <i>Computer-Aided Engineering</i> – CAE, DFMA	Métodos de Criatividade, Matriz Morfológica e Diagrama de Pugh, <i>Computer-Aided Design</i> – CAD, <i>Computer-Aided Engineering</i> - CAE, BOM ( <i>Bill Of Material</i> , Estrutura do Produto).	<i>Computer-Aided Design</i> – CAD, Concepção de produto dimensionada.  Descrição dos Sistemas, Subsistemas e Componentes

Fonte: Autores.

### 3.1 PROJETO INFORMACIONAL

O projeto informacional tem como objetivo desenvolver, a partir do levantamento e organização de informações oriundas do contexto socioeconômico, viabilidade financeira, sustentabilidade e mercado consumidor, um conjunto de especificações-meta do produto que servirá de base para as tomadas de decisão nas etapas posteriores do desenvolvimento. Desta maneira, esta etapa é de suma importância, pois um problema mal definido pode comprometer os investimentos financeiros atrelados ao desenvolvimento do produto. Esta fase do desenvolvimento

terá início com a realização de uma entrevista com a proprietária do animal, a fim de coletar necessidades e entender quais características, definirão a qualidade de vida e a percepção de dor de seu pet.

A metodologia ATA, descrita na seção 2.3.3.1, será utilizada como ferramenta de coleta e entendimento dessas necessidades. Neste procedimento o formulário ICF (OMS, 2001) será adaptado, com o auxílio de médicos veterinários, para representar variáveis como Estado de Saúde; Funções e Estruturas Corporais, Atividade e Participação relacionados a cães.

A figura 25 demonstra as variáveis desta metodologia que possuem impacto na atividade do indivíduo e, conseqüentemente, em sua qualidade de vida.

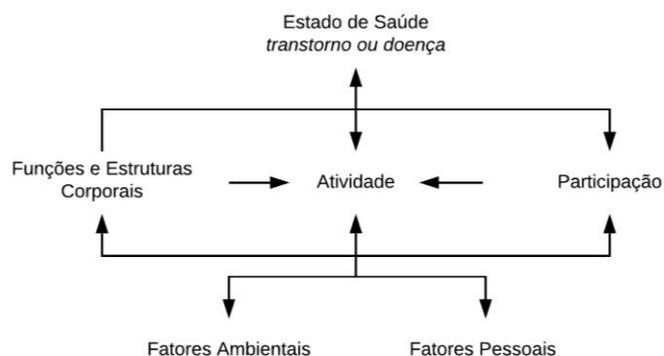


Figura 25 – Classificação Internacional de Funcionalidade Incapacidade e Saúde. Fonte: OMS (2001).

Será realizado um estudo dos projetos existentes no mercado, a fim de que se obtenham informações sobre princípios de funcionamento existentes, identificando pontos que podem ser replicados neste desenvolvimento e os que podem ser melhorados fornecendo melhor conforto ao animal. Tal análise será baseada na avaliação das vantagens, desvantagens, bem como da descrição das principais características e dos custos atrelados a cada projeto.

Os requisitos do cliente serão obtidos a partir das necessidades do cliente, depois que estas forem submetidas à Matriz de atributos (ROZENFELD et al., 2006), representada na figura 26, uma ferramenta que define tais demandas por meio de frases curtas.

	Funcionamento	Ergonomia	Estética	Econômico	Confiabilidade	Modular
Produção					Ter materiais resistentes	
Montagem	Ter numero reduzido de peças					
Transporte		Ter baixo peso				
Armazenagem				Ter baixo volume		
Função	Ter porta material					Estrutura modular resistente
Uso		Ser facilmente deslocável	Ser resistente a arranhões			
Manutenção						

Figura 26 – Matriz de atributos. Fonte: Rozenfeld et al. (2006).

O Diagrama de Mudge (ROZENFELD et al., 2006), disposto na figura 27, será a ferramenta utilizada para priorizar os requisitos de cliente obtidos. Este instrumento baseia-se na comparação par a par de cada um deles. A equipe de projeto deve decidir quais os requisitos mais importantes e qual o seu grau de importância. Estes podem ser avaliados como: muito mais importante (5), mais importante (3) e pouco mais importante (1). Desta forma, o valor de cada um dos requisitos constitui-se do valor relativo ao somatório de suas respectivas avaliações, dividido pelo somatório total.

A	5								
B	4	1							
C	3	2							
D	2		3						
E	1			4					
		2	3	4	5	6	Soma	%	Total
	1E	1E	1D	1D	1C	9	29	100	
		2E	2D	2D	5C	8	26	89	
			3D	3D	3C	7	23	78	
				4D	4D	5	16	56	
					5D	2	6	22	
						6	0	0	
							Total	31	100

Figura 27 – Diagrama de Mudge. Fonte: Rozenfeld et al. (2006).

Tendo em vista os riscos inerentes ao processo de desenvolvimento de produtos, principalmente em seu início, onde ainda se tem um elevado grau de incertezas, existe a necessidade de entender as expectativas do cliente em relação ao dispositivo, neste caso, informadas pela proprietária. Para isso, será utilizado o Diagrama de Kano, representado na figura 28, que auxilia na identificação de atributos básicos, esperados e de excitação.

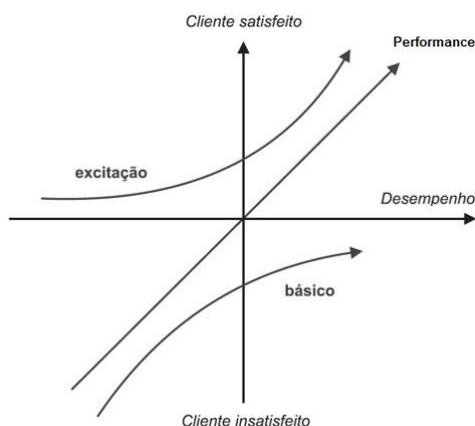


Figura 28 – Diagrama de Kano Fonte: Rozenfeld et. al. (2006).

Os requisitos básicos não geram incremento na satisfação do cliente, todavia caso não sejam supridos, ocorrerá um descontentamento por parte do cliente. Os esperados se referem aos requisitos afetados diretamente pela performance do produto, ou seja, quanto melhor o desempenho, maior será a satisfação. Por fim, os de excitação representam desejos ocultos e desconhecidos e podem ser o diferencial em uma concorrência de mercado.

A figura 29 representa a Matriz da Casa da Qualidade, uma ferramenta de aplicação da *Quality Function Deployment* – Desdobramento da Função Qualidade – QFD, utilizada para a produção de requisitos de projeto após a priorização dos requisitos de cliente. Essa matriz tem a funcionalidade de criar requisitos técnicos de projeto e correlacioná-los entre si, comparando-os com os requisitos do cliente e projetos concorrentes, a fim de priorizar os elementos essenciais do projeto. Além disso, é um excelente aparato de comunicação entre a equipe de projeto, pois compila as informações sensíveis em apenas uma fonte.

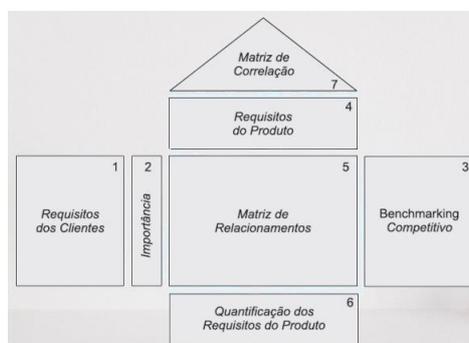


Figura 29 – Matriz da Casa da Qualidade do QFD. Fonte: Rozenfeld et al. (2006).

A entrega do Projeto Informacional são as Especificações-Meta, que representam os requisitos de produto associados a valores-meta, os quais podem ser valores específicos, um intervalo de valores ou valores e suas respectivas tolerâncias. Essas informações representam critérios de avaliação e possibilitam tomadas de decisões no decorrer do desenvolvimento do projeto, além de guiarem a concepção de soluções (ROZENFELD et al., 2016).

### 3.2 PROJETO CONCEITUAL

O Projeto Conceitual tem o objetivo de buscar, criar, representar e selecionar soluções para o problema de projeto. O estágio de busca por soluções será realizado por meio da observação de produtos existentes no mercado e de princípios de solução empregados em casos semelhantes. Depois de reunidas, as soluções serão selecionadas para atenderem os requisitos previamente definidos. A criação é a etapa auxiliada por métodos de criatividade, livre de restrições, todavia, direcionada por parâmetros reunidos durante o Projeto Informacional, ou seja, necessidades, requisitos e especificações. Na fase de representação serão expostos, com a utilização de desenhos computacionais, esboços de produto oriundos da combinação das opções de solução selecionadas (ROZENFELD et al., 2006). As etapas deste projeto podem ser observadas na figura 30.

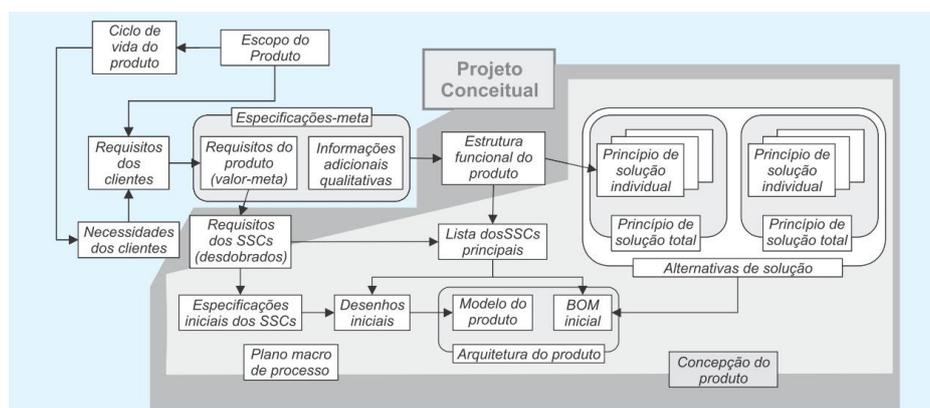


Figura 30 – Fases do Projeto Conceitual. Fonte: Rozenfeld et al. (2006).

O início dessa etapa do Projeto é baseado na identificação dos problemas essenciais por meio da abstração, com o estabelecimento de estruturas funcionais e procura por princípios de solução que combinados atendam aos requisitos de projeto. Desta forma, será utilizada a Estrutura Funcional, figura 31, ferramenta que

descreve as funções que envolvem o uso do produto, todas estas atividades envolvem três fundamentos, energia, material e sinal (PAHL et al., 2007). Esta ferramenta é muito importante, pois é a base para o desenvolvimento de princípios de solução, além disso, por meio dela, é possível determinar as funções principais e as subfunções.

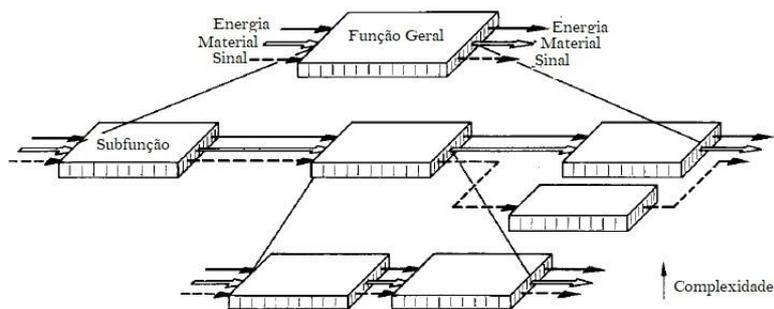


Figura 31 – Desenvolvimento da Estrutura Funcional. Fonte: Pahl et al. (2007).

Para cada função da estrutura funcional do produto, é necessária pelo menos uma solução que a atenda. Assim, é utilizada a Matriz Morfológica, representada na figura 32, para definir a melhor combinação de elementos, a fim de atingir, posteriormente, a melhor solução possível (PAHL et al., 2007). Ela consiste em indicar princípios de solução existentes  $S_{nm}$  para realizar as atividades relacionadas a função  $F_n$ . Cada conjunto de combinações viáveis será representado por uma concepção de solução.

Subfunções \ Soluções		Soluções					
		1	2	...	j	...	m
1	$F_1$	$S_{11}$	$S_{12}$		$S_{1j}$		$S_{1m}$
2	$F_2$	$S_{21}$	$S_{22}$		$S_{2j}$		$S_{2m}$
⋮		⋮	⋮		⋮		⋮
i	$F_i$	$S_{i1}$	$S_{i2}$		$S_{ij}$		$S_{im}$
⋮		⋮	⋮		⋮		⋮
n	$F_n$	$S_{n1}$	$S_{n2}$		$S_{nj}$		$S_{nm}$

Comparações de Princípios

Figura 32 – Matriz Morfológica. Fonte: Pahl et al. (2007).

Serão utilizadas técnicas de desenho assistido por computador, com utilização do software *Photoshop®*, para gerar um modelo virtual de cada concepção. Optou-se por esse procedimento por conta do elevado número de ferramentas gráficas que o programa oferece, além da facilidade e velocidade com que alterações podem ser realizadas no modelo. Outra vantagem é o compartilhamento do arquivo, permitindo que a equipe acompanhe em tempo real, por meio de videoconferência, a elaboração da estrutura.

A melhor concepção será definida por meio da utilização do Diagrama de Pugh (PUGH, 1991), figura 33. Esta ferramenta avaliará tais concepções a partir dos requisitos de produto previamente definidos na fase de projeto informacional. O resultado deste procedimento é obtido pela soma das avaliações das concepções. Cada concepção será avaliada como: + 1 (+) caso atenda o requisito, 0 (=) se for indiferente, -1 (-) se não atender ao requisito.

	Conceitos		
Critérios			
A	-	=	-
B	=	-	+
C	-	+	-
D	+	+	+
Total	-1	1	0

Figura 33 – Diagrama de Pugh. Fonte: Pugh, 1981. Adaptado pelos autores.

Serão descritos os componentes estruturais, atividade também conhecida como, *Bill of Material* - BOM. Nesta etapa será elaborada a primeira versão da identificação dos itens e dos relacionamentos entre eles (ROZENFELD et al., 2006).

Rozenfeld et al. (2006) caracteriza a análise dos SSCs como uma etapa que permite a previsão dos impactos do ciclo de vida do produto no projeto do novo dispositivo, reduzindo retrabalhos. Todavia, identificar os aspectos que impactam o ciclo de vida do produto não é uma tarefa fácil nas etapas iniciais do desenvolvimento quer seja pelo elevado nível de abstração do produto nestas fases, quer seja pela complexidade de tais fatores. Assim, no intuito de auxiliar os projetistas a otimizar a avaliação de como suas decisões de projeto impactam no

ciclo de vida do produto, foram desenvolvidos métodos de subsídio a estas decisões, conhecidas como abordagens DFX (*Design para X*), nas quais a variável X representa vários fatores analisados durante o ciclo de vida, como: qualidade, meio ambiente, processos de manufatura ou meio ambiente (ROZENFELD et al., 2006). Outra maneira de definir o DFX é:

“O DFX pode ser considerado uma base de conhecimentos com o objetivo de projetar produtos que maximizem todas as características como: alta qualidade, confiabilidade, serviços, segurança, usuários, meio ambiente e tempo de mercado — ao mesmo tempo que minimiza os custos do ciclo de vida e de manufatura do produto.” (ROZENFELD et al., 2006, p. 269).

Será aplicado o *Design for X*, mais precisamente o DFMA, na busca de melhores soluções para a manufatura dos componentes e a redução do número de componentes visando uma montagem mais intuitiva.

A concepção selecionada será melhor detalhada por meio da elaboração de uma maquete virtual com a utilização do *software Solidworks®*. Este modelo levará em consideração as dimensões corporais da cadela. De posse deste modelo a equipe poderá aferir os esforços atuantes na estrutura e elaborar os diagramas de corpo livre dos componentes.

Problemas de engenharia mecânica frequentemente envolvem a aplicação de cargas e a transmissão de esforços por meio de componentes e dispositivos. De maneira geral, os projetistas desejam evitar mudanças repentinas na direção do caminho das forças, fenômeno causado por deflexões acentuadas e alterações abruptas de seção transversal (PAHL et al., 2007).

Neste sentido, a partir da concepção escolhida e do conhecimento das cargas atuantes, serão elaborados os diagramas de corpo livre dos componentes estruturais, nos quais são representadas todas as forças que atuam na peça quando essa é isolada do sistema ao qual pertence. Depois, os componentes serão submetidos a uma análise estática no *software Solidworks®*, por meio da aplicação

do Método dos Elementos Finitos – MEF. Para que a simulação ocorra adequadamente é necessário informar ao *software* as condições de contorno, aqui representadas pelas restrições de movimento na direção vertical, bem como as forças externas. Este procedimento fornecerá elementos gráficos nos quais serão identificadas as regiões concentradoras de tensão, nas quais podem ocorrer a falha da estrutura. Serão efetuadas simulações numéricas lineares e não-lineares para cada componente e os resultados delas serão comparados entre si.

Será utilizada a Teoria da Energia de Distorção Máxima (Von Misses) para avaliar o comportamento dos componentes contra o escoamento. Essa teoria foi escolhida pois prevê o armazenamento de energia no interior de um material quando este é submetido a um carregamento externo hidrostático, o que caracteriza a influência da distorção angular do elemento tensionado no aumento de resistência ao escoamento (SHIGLEY et al., 2005).

## 4 PROJETO INFORMACIONAL

Esta etapa do PDP tem como objetivo a definição das especificações-meta do produto por meio da análise de informações referentes ao problema de projeto, visando orientar a elaboração de futuras soluções e reduzir as incertezas relacionadas ao início do desenvolvimento do conceito do dispositivo. O recolhimento destas informações foi realizado a partir de questionários, entrevistas e observação direta, conforme orientação dos tópicos “Planejamento do Produto” e “Projeto Informacional”, situados na seção 2.3.

O Projeto Informacional teve início com uma pesquisa sobre produtos para auxílio de locomoção canina existentes no mercado, procedimento que permitiu a identificação de aspectos a serem melhorados, dos custos envolvidos e tecnologias empregadas na fabricação.

Em seguida, verificou-se a legislação de proteção animal vigente, garantindo que o protótipo se enquadrasse nas diretrizes para o desenvolvimento de produtos veterinários e de conservação ambiental.

Dando continuidade, realizou-se um estudo preliminar dos requisitos que o protótipo deveria apresentar para que fosse bem sucedido, tais como qualidade, atrito adequado, resistência. Neste estágio também foram adquiridos dados sobre as técnicas e materiais empregados na manufatura aditiva, tendo em vista que este processo de fabricação tem ganhado ênfase em aplicações de produtos voltados ao atendimento de animais com deficiência.

O refino das necessidades do cliente deu-se pela aplicação de ferramentas como a Avaliação de Tecnologia Assistiva – ATA, Desdobramento da Função Qualidade – QFD, Diagramas de Kano, Pareto e Mudge, que permitem a tradução das necessidades de cliente em requisitos de produto e posterior obtenção das especificações-meta. Destaca-se que esta fase é de fundamental importância, pois é alicerce do projeto, onde as etapas posteriores de desenvolvimento se orientam.

#### 4.1 AVALIAÇÃO DE PROJETOS EXISTENTES

Uma pesquisa acerca dos produtos disponíveis no mercado foi realizada com o objetivo de verificar a existência de demanda por um novo projeto que melhor atenda às necessidades de animais amputados. Também buscou-se aferir se alguma opção de desenvolvimento de próteses ortopédicas se adequava aos objetivos deste projeto e se tal alternativa poderia ser otimizada por meio da redução de custos e procedimentos, garantindo assim que mais indivíduos fossem beneficiados.

O desenvolvimento de estruturas com rodas representa uma das primeiras abordagens na busca de uma solução locomotiva para cães amputados ou com alguma deficiência locomotora congênita. Tais equipamentos, por proporcionarem maior independência aos animais, representam um fator de influência na melhoria da qualidade de vida de cães paraplégicos, de acordo com Bauer (1992). Entretanto, segundo Nishimura (2018), muitos deles são confeccionados a partir de materiais inadequados, tais como partes de brinquedos, canos e diversos instrumentos reciclados, tendo como consequência o comprometimento de sua função e podendo até mesmo ocasionar lesões no animal. A autora informa que, embora existam diversos conteúdos na internet que ensinam a confeccionar tais artefatos, a quantidade de pesquisas acadêmicas para produção de estruturas mais elaboradas ainda é escassa. Todavia, pesquisas como as desenvolvidas pela mesma autora e projetos realizados por empresas como *Handicapped Pets*®, *VetCar*® e *Animal Ortho Care*® estão fornecendo melhorias ao desenvolvimento de equipamentos destinados a reconquista do deambular animal saudável, tornando-os progressivamente mais confiáveis e funcionais.

A figura 34 apresenta uma evolução dos dispositivos destinados ao atendimento das necessidades dos cães com deficiência locomotora. O primeiro objetivo era garantir que o animal voltasse a se locomover sozinho. Depois, percebeu-se que havia a necessidade de permitir que o animal também realizasse movimentos naturais como sentar e deitar, além de uma evidente preocupação com a qualidade do material empregado. Os artefatos mais modernos são personalizados e possuem aspecto anatômico semelhante ao de um membro saudável.

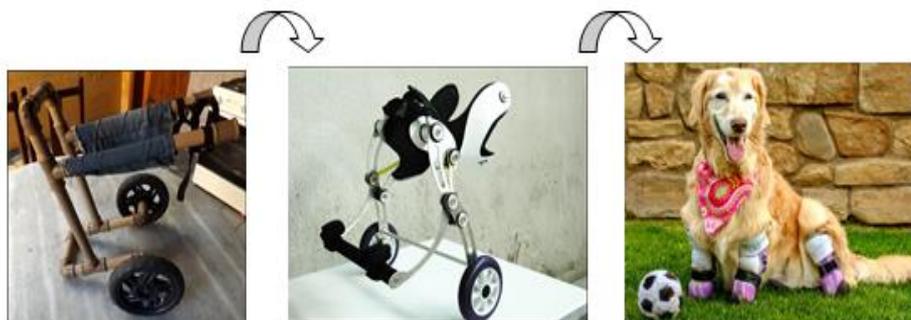


Figura 34 – Evolução de dispositivos para cães com deficiência locomotora (CATRAKA, YELP, 2019; NISHIMURA, 2018).

As próteses atuais, além de possuírem a capacidade funcional de substituir o membro faltante, também proporcionam ao paciente uma sensação de integridade por possibilitarem a retomada da locomoção natural, aumentando o nível de mobilidade e o controle de tais movimentos (BACHMAN et al., 2017).

A seguir são descritos alguns produtos de empresas nacionais e estrangeiras, assim como um protótipo ainda em desenvolvimento:

- *Walkin Pets – Handicapped Pets®*

A figura 35 apresenta as cadeiras de rodas *Walkin Pets*, desenvolvidas pela empresa *Handicapped Pets®*, indicadas para pacientes com deficiências locomotoras tanto nas patas traseiras como nas dianteiras. Elas também são recomendadas para animais com problemas de suporte completo, ou seja, disfunções em todos os quatro membros. Sua composição de alumínio e polímero de alta densidade confere a resistência e durabilidade necessárias ao bem-estar do usuário. Ademais, um sistema de ajuste fornece ao tutor a capacidade de adaptar o utensílio ao animal sem dificuldades. Os itens deste modelo, destinados a seres de pequeno porte são comercializados a partir de US\$ 199,00 (Nishimura, 2018).

Apesar de fornecerem independência locomotora ao animal, essas cadeiras não são economicamente acessíveis, especialmente quando se leva em consideração o atual cenário de desvalorização do real frente à moeda norte americana. Outrossim, não possuem o formato anatômico vislumbrado neste trabalho com o objetivo de garantir a movimentação mais natural possível.



Figura 35 – Modelos de cadeira *Walkin Pets*. Fonte: Nishimura (2018).

- VetCar®

Outra possibilidade de cadeiras de rodas são as estruturas produzidas pela *VetCar*®, uma empresa nacional situada em Botucatu/SP. Segundo a empresa, os modelos, disponíveis na figura 36, são leves e personalizados, o que propicia ao cão a possibilidade de explorar diferentes tipos de solo (NISHIMURA, 2018). Conforme informações verificadas no site da empresa, sua utilização é indicada, dentre outros casos, para disfunções de membros anteriores e posteriores provocadas por acidentes, fato compatível com os interesses deste trabalho, entretanto, a fabricante ressalta que essas estruturas são aparelhos fisioterápicos que devem ser utilizados durante a reabilitação do animal e cujo objetivo principal é que o paciente volte a se locomover sozinho ao fim do tratamento, distanciando-se assim do propósito central deste projeto, que, vale lembrar, é a elaboração um dispositivo que venha a substituir as funções do membro amputado e que seja útil ao cão por toda a sua vida.



Figura 36 – Cadeiras de rodas *VetCar*. Fonte: Nishimura (2018).

- Cadeira “Amigo”

Desenvolvida pelo engenheiro israelense Nir Sahalom, a Cadeira “Amigo” foi apresentada durante a Semana do Design de Milão de 2011. Fabricada em alumínio

e plástico moldado, a cadeira é fixada no quadril do utente, facilitando sua mobilidade além de aliviar esforços sobre os membros lesionados. Uma grande especificidade verificada neste modelo são os graus de liberdade de movimento proporcionados por suas articulações. Sua versatilidade viabiliza ações como escalada, subir e descer escadas, além de sentar e deitar, fornecendo assim um elevado nível de independência aos cães (NISHIMURA, 2018).

Apesar de tratar-se de um protótipo e ainda não estar disponível comercialmente, esta abordagem, que pode ser visualizada na figura 37, sugere uma nova perspectiva no desenvolvimento de próteses ao combinar locomoção eficiente e conforto em ações de repouso, o que amplia a qualidade de vida e, portanto, representa uma característica essencial à pesquisa ora em desenvolvimento.



Figura 37 – Cadeira "Amigo". Fonte: Nishimura (2018).

- Animal Ortho Care®

Situada no estado norte americano da Virgínia, a *Animal Ortho Care*® é uma empresa que atua na vanguarda da aplicação de tecnologia 3D no desenvolvimento de próteses para animais. Dirigida pelo engenheiro Derrick Campana, a companhia produz cerca de 200 peças mensalmente, cujos valores unitários variam de US\$ 500,00 a US\$ 1200,00. A produção se inicia após um molde de gesso com o formato do membro residual ser enviado à empresa. Depois, formula-se um modelo digital deste molde enquanto várias maneiras de solução do problema são avaliadas. Quando uma delas é escolhida desencadeia-se o processo de impressão 3D. Após

o término desta etapa, o produto é enviado ao proprietário. Este método de produção permite que animais de várias partes do mundo sejam atendidos.

Um caso de muito sucesso da impressão de próteses é o do cão Derby Portanova. O episódio relatado pelo site da *Huffpost*, descreve as dificuldades enfrentadas pelo cão Derby, da raça Rusky, por ter nascido com uma má formação do membro torácico que limitava severamente seus movimentos. Abandonado por seu primeiro dono, Derby foi resgatado pelo grupo *Peace and Paws*, onde permaneceu até ser adotado. Seu proprietário então entrou em contato com Tara Anderson, funcionária da companhia *3D Systems®* que se prontificou a ajudar e entrou em contato com Campana. Deste ponto em diante um trabalho de cooperação entre as duas empresas proporcionou a elaboração de próteses flexíveis feitas sob medida – figura 38, impressas em 3D, que mudaram drasticamente a vida de Derby, para melhor.



Figura 38 – Próteses do cão Derby. Fonte: Nishimura (2018).

A possibilidade de alteração do projeto quantas vezes for necessária, em busca de uma melhor solução é o atributo mais atrativo da tecnologia de impressão 3D. Contudo, o aspecto econômico ainda é uma dificuldade a ser superada – um item pode custar até US\$ 1200,00 - e o atendimento deste requisito é de especial importância ao sucesso da empreitada deste trabalho.

Os projetos descritos podem ser melhor avaliados por meio da tabela 8, que discrimina as principais características, vantagens, desvantagens e apresenta os valores comerciais dos produtos.

Tabela 8 – Avaliação dos projetos existentes.

Produto	Características	Vantagens	Desvantagens	Valor (US\$)
Walkin Pets®	- Estrutura com rodas	- Construída com material leve, resistente e de alta durabilidade	- Impede a realização de movimentos naturais como sentar e deitar; - Custo elevado; - Produzido por empresa estrangeira;	200
VetCar®	- Estrutura com rodas	- Produção Nacional; - Modelos leves e personalizados	- Aparelho fisioterápico utilizado durante o tratamento de reabilitação; - Impede a realização de movimentos naturais como sentar e deitar	-
Animal Ortho Care®	- Modelos variados produzidos conforme a necessidade do animal	- Anatomia semelhante à do membro saudável; - Produtos personalizados e com alto valor agregado; - Reconhecimento da qualidade da marca	- Produzido por empresa estrangeira; - Produtos economicamente inacessíveis à maioria da população brasileira;	500 a 1200
Cadeira "Amigo"	- Estrutura com rodas; - Protótipo	- Possibilita a realização de movimentos como sentar e escalar	- Trata-se de um protótipo ainda em desenvolvimento;	-

Fonte: Autores.

## 4.2 LEGISLAÇÃO DE PROTEÇÃO ANIMAL

Embora ainda não haja lei vigente no Brasil que indique diretrizes sobre a saúde e o tratamento do animal doméstico, há leis que abordam sobre a proteção animal, produtos e medicamentos veterinários e defesa ambiental. No âmbito da legislação animal, a Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 afirma que:

“Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

§ 1º Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público (Ministério Público):

VII - proteger a fauna e a flora, vedadas, na forma da lei, as práticas que coloquem em risco sua função ecológica, provoquem a extinção de espécies ou submetam os animais a crueldade.” (BRASIL, 1988).

A Lei Federal de crimes ambientais 9.605/99 “dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências” (BRASIL, 1998). Nela, consta que:

“Art. 32. Praticar ato de abuso, maus-tratos, ferir ou mutilar animais silvestres, domésticos ou domesticados, nativos ou exóticos: Pena - detenção, de três meses a um ano, e multa.

§1º Incorre nas mesmas penas quem realiza experiência dolorosa ou cruel em animal vivo, ainda que para fins didáticos ou científicos, quando existirem recursos alternativos.

§ 2º A pena é aumentada de um sexto a um terço, se ocorre morte do animal.”.

O Decreto-Lei Nº 467, de 13 de fevereiro de 1969 “dispõe sobre a fiscalização de produtos de uso veterinário, dos estabelecimentos que os fabriquem e dá outras providências”, orienta sobre fiscalização, registros e prazos para licenciar produto veterinário (MAPA, 1969). Nos Arts. 3º e 3º-A deste Decreto-Lei afirma-se que:

“Art. 3º Todos os produtos de uso veterinário, elaborados no País ou importados, e bem assim os estabelecimentos que os fabriquem ou fracionem, e ainda aqueles que comerciem ou armazenem produtos de natureza biológica e outros que necessitem de cuidados especiais, ficam obrigados ao registro no Ministério da Agricultura, para efeito de licenciamento.

Art. 3º -A. Para fins de registro de medicamento genérico de uso veterinário no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o interessado deverá comprovar, cumulativamente:

I - bioequivalência em relação ao medicamento de referência de uso veterinário;

II - equivalência terapêutica nas espécies animais a que se destina;

III - taxa de excreção, determinação de resíduos e período de carência equivalentes aos do medicamento de referência de uso veterinário, quando destinados a animais de consumo e exigidos no regulamento deste Decreto-Lei.” (MAPA, 1969).

Já a Instrução Normativa nº 37, de 8 de julho de 1999 destaca os produtos que não necessitam de registro no órgão (MAPA, 1999). Em seu Art 1º dispõe que:

“por não se destinarem a prevenir, diagnosticar ou curar doenças dos animais e por não terem ação sobre agentes patógenos que acometem os animais e que não ofereçam riscos ao meio ambiente, a saúde animal e humana, ficam dispensados de registro os seguintes produtos:

I - Produtos de uso exclusivo para embelezamento e desprovidos de ação profilática e terapêutica, apresentados sob a forma de xampus, sabões, sabonetes, condicionadores, talcos, loções, pastas, gel, líquidos concentrados líquidos premidos e outros assemelhados;

II - Instrumental cirúrgico, materiais para suturas, gases, gesso, bandagem elástica, pensos, esparadrapo pistolas, seringas e agulhas para injeção, sondas, estetoscópio e aparelhos diversos para o uso em medicina veterinária;

III - Artigos de seleiro ou de correeiro, para quaisquer animais, incluindo as trelas, joelheiras, focinheiras, mantas de selas e artigos semelhantes, de couro natural ou reconstituído e de quaisquer outras matérias; IV - Areia para deposição de excrementos e/ou micção dos animais; V - Artefatos, acessórios e objetos de metal, de plástico, de couro, de madeira, de tecido e de outros materiais destinados a identificação, adestramento e/ou contenção de animais;

VI - Produtos para aplicação em superfícies como tapetes, cortinas, paredes, muro, móveis, almofadas e assemelhados, destinados exclusivamente a manter os cães e gatos afastados do local em que foram aplicados e desprovidos de ação

profilática e terapêutica, apresentados sob a forma de cristais, grânulos, peletes, spray líquidos concentrados, líquidos premidos e outros. ” (MAPA,1999).

Na Instrução Normativa nº 13, de 3 de outubro de 2003, o referido ministério indica regulamento de boas práticas de fabricação de produtos de uso veterinário, no qual constam princípios de qualidade de devem ser seguidos a fim de produzir um produto veterinário dentro das ordenações do governo, condizente à legislação de direito trabalhista e capaz de atingir às necessidades do cliente (MAPA, 2003).

### **4.3 ESTUDO PRELIMINAR DE REQUISITOS DE PROJETO**

Os parâmetros elencados abaixo serão considerados durante todo o desenvolvimento do protótipo, tendo em vista o fornecimento de conforto, segurança, resistência, bem como garantir a redução dos custos de produção.

#### **4.3.1 QUALIDADE DO PRODUTO**

Um produto só funcionará adequadamente caso suas interações com os consumidores possuam as seguintes qualidades: técnica, estética e ergonômica (Iida, 2005). A primeira se refere ao funcionamento do objeto, ou seja, se efetivamente desempenha a função para o qual foi projetado. A qualidade estética garante que a peça seja visualmente atrativa aos proprietários do animal.

Por fim, o atendimento dos requisitos ergonômicos recebeu especial atenção, visto que proporcionar conforto ao cão ao utilizar o artefato era essencial para tornar a experiência mais agradável e reduzir sua vontade de extrair a prótese. Nesse sentido, revestiu-se com espuma o interior da cápsula e as superfícies da haste de apoio em contato com o coto. Buscou-se ainda reduzir o peso da estrutura, no intuito de que o animal realizasse menos esforço ao se locomover.

#### **4.3.2 ATRITO**

Outro parâmetro de suma importância para o sucesso da proposta é a avaliação do atrito existente entre o Pé e o solo. Um atrito muito pequeno poderia prejudicar o equilíbrio do animal, tendo em vista o deslizamento, especialmente quando em contato com superfícies mais lisas. Todavia, a situação oposta poderia dificultar a locomoção do animal ao exigir demasiado esforço durante a marcha.

### 4.3.3 PRINCÍPIOS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO E PROPRIEDADES DA MATÉRIA-PRIMA

Além de apresentar as propriedades mecânicas necessárias à manutenção da integridade estrutural frente aos fenômenos de escoamento e fadiga, o protótipo também deve resistir às intempéries do ambiente e a particularidades da utilização por cães, como possíveis mordidas.

Conforme exposto no capítulo 2, a aplicação de tecnologias de manufatura aditiva na medicina veterinária vem se mostrando uma alternativa muito versátil. Desta forma, analisou-se a possível aplicação da MA na fabricação do protótipo, além de uma pesquisa acerca dos materiais mais utilizados neste tipo de tecnologia. Vale destacar que tecnologias de MA são baseadas na adição de material, ao contrário do observado em técnicas de usinagem, por exemplo, na qual a peça é fabricada por meio da retirada de material. Isso resulta em melhor aproveitamento da matéria-prima, reduzindo o desperdício de matéria-prima e consequentemente os custos de produção, ainda que os artefatos produzidos por MA tenham que ser submetidos a processos de acabamento ao final da impressão.

Dentre os métodos de MA, a FDM representa o mais difundido, com a utilização de materiais mais baratos e impressoras mais simples. Este processo consiste na extrusão de um filamento fundido, geralmente termoplástico, através de um cabeçote e sua posterior deposição em uma plataforma mantida a temperatura inferior. Após este contato o filamento se torna rígido e a mesa é rebaixada para que uma nova camada de material seja depositada sobre a anterior. Este procedimento se repete até que o formato desejado seja obtido. A figura 39 apresenta uma versão simplificada do processo FDM. Nesta figura também foi destacada a possibilidade de utilização de uma estrutura suporte, que, segundo Lovo (2016) é utilizada para conferir maior estabilidade à impressão, resultando em uma peça com maior precisão geométrica.

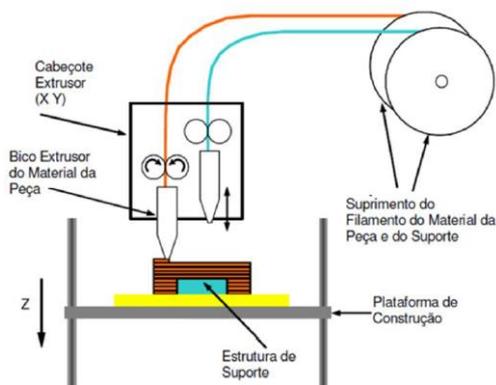


Figura 39 – Processo de impressão FDM. Fonte: Lovo & Fortulan (2016).

O resultado do trabalho de Lovo (2016) descreve um forte comportamento anisotrópico dos corpos impressos por FDM. Essa característica refere-se à capacidade um material apresentar diferentes propriedades mecânicas a depender da direção considerada. Verificou-se que tais materiais apresentam maior resistência mecânica quando a deposição de filamento é realizada à  $[0^\circ/90^\circ]$  e o carregamento é efetuado em direção perpendicular à de construção, conforme exposto na figura 40.

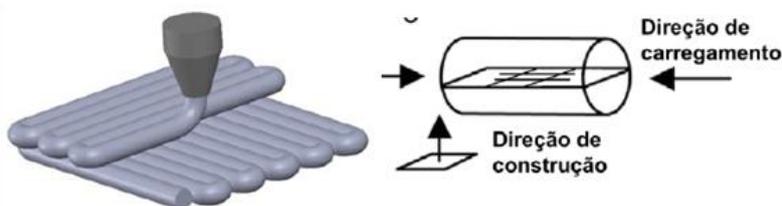


Figura 40 – Deposição de filamento e direção de carregamento. Fonte: Lovo & Fortulan (2016).

De acordo com informações disponíveis no site da empresa 3DLAB® Soluções em Impressão 3D, a escolha adequada de um filamento para impressora 3D é essencial para que o produto final apresente a qualidade requerida. A fabricante afirma que as consequências da escolha de um material fora do padrão vão desde inúmeras falhas na peça produzida até a inviabilidade da impressão. Por outro lado, a correta seleção da matéria-prima possibilita a confecção de um produto com alto valor agregado.

A escolha do filamento adequado deve levar em consideração o fim a que se destina a peça, bem como as condições de trabalho às quais a estrutura ficará

exposta, como temperatura e contato com reagentes químicos. As características da impressora também têm influência direta no processo seletivo do material, visto que, para alguns deles são indicadas condições específicas de impressão. Um bom exemplo é o ABS, cuja aplicação é possível em qualquer impressora 3D, entretanto é mais indicada em dispositivos de impressão fechados e com mesa aquecida.

Dentre os materiais mais utilizados na MA por FDM podem ser destacados os seguintes:

- PLA (ÁCIDO POLILÁCTICO)

Filamento polimérico termoplástico biodegradável de alta resistência e baixa contração (*warp*). Pode ser utilizado em impressoras abertas ou fechadas, com ou sem mesa de aquecimento. É indicado para impressão de peças grandes, peças com detalhes técnicos complexos, estruturas submetidas à abrasão, bem como elementos que exigem alta precisão dimensional.

Apresenta baixa temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ). Observa-se certo amolecimento da estrutura quando submetida a temperaturas próximas de 60 °C, o que torna sua aplicação inviável em regime de temperaturas elevadas.

- ABS

Material resistente a temperaturas elevadas e com grande poder de absorção de impactos. Apresenta dureza superficial reduzida sendo considerada uma excelente alternativa para fabricação de peças que possuam necessidade de acabamento. Sua resistência à aplicação de carga estática é menor do que verificada para o PLA, entretanto, sua ductilidade é muito maior do que a deste, conforme resultados disponíveis na figura 41.

- PETG

Elemento com elevada resistência mecânica, química e térmica. Alia as facilidades de impressão do PLA à capacidade de altas deformações do ABS. Uma característica diferencial deste filamento é que ele pode entrar em contato com alimentos.

O comportamento dos filamentos descritos durante ensaio de tração pode ser encontrado na figura 41, onde se verifica que a maior resistência a esse esforço é apresentada pelo PLA, que também é o mais frágil dentre eles, fato evidente pela quase inexistência de deformação plástica. A inclinação das linhas fornece o módulo de elasticidade do material, um parâmetro mecânico que representa a rigidez do elemento. A opção mais versátil é o PETG, visto que apresenta boa resistência à tração aliada a grandes deformações, abrangendo assim maiores possibilidades de fabricação de peças.

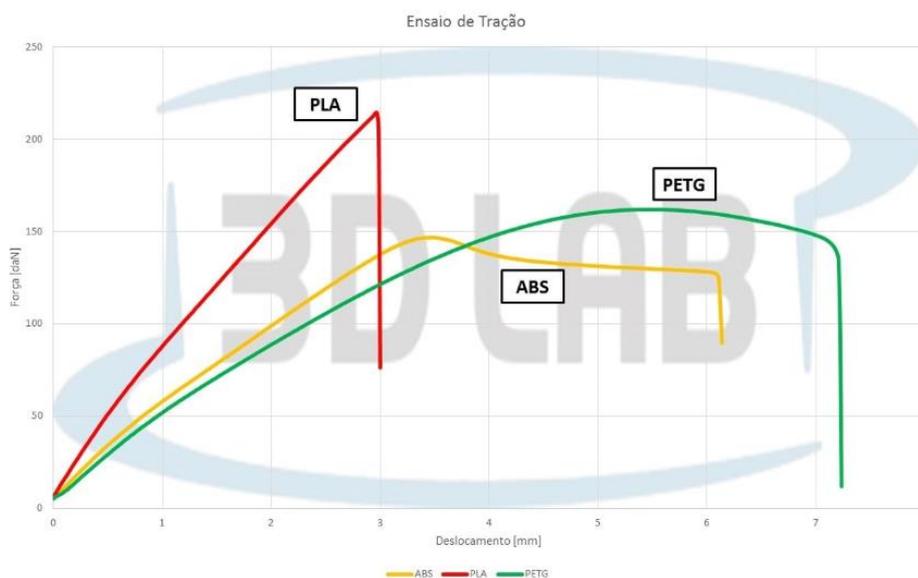


Figura 41 – Ensaio de tração de filamentos para impressão 3D. Fonte: Site da Empresa 3DLAB.

Propriedades Materia Prima 3D LAB - Grãos			
Propriedades	PLA	ABS Premium	PETG
Densidade	1,24 [g/cm <sup>3</sup> ]	1,04 [g/cm <sup>3</sup> ]	1,27 [g/cm <sup>3</sup> ]
Temp. Fusão	185 [°C]	220 [°C]	240 [°C]
Tg	60 [°C]	100 [°C]	85 [°C]
Tensão de Escoamento	66 [Mpa]	38 [Mpa]	51 [Mpa]
Resistencia a Flexão	130 [Mpa]	66 [Mpa]	72 [Mpa]
Modulo de Elasticidade	4350 [Mpa]	2200 [Mpa]	2120 [Mpa]
Resultado ensaio de Tração segundo a Norma ASTM D 638 - Corpo de provas Impresso			
Propriedades	PLA	ABS Premium	PETG
Tensão de Escoamento	24,8 [Mpa]	14,7 [Mpa]	18,6 [Mpa]
Modulo de Elasticidade	1896,0 [Mpa]	1335,9 [Mpa]	1067,9 [Mpa]
Tensão de Ruptura	46 [Mpa]	29 [Mpa]	32,6 [Mpa]
Alongamento	3,69 [%]	7,08 [%]	7,74 [%]
Resultado ensaio de Dureza segundo a Norma ASTM D 2240 - Corpo de provas Impresso			
Dureza Shore D	85 [Shore D]	74 [Shore D]	75 [Shore D]
Resultado ensaio HTD segundo a Norma ISO 75 - Corpo de provas Impresso			
Temperatura HDT	55,11°C	86,13°C	67,3°C

Figura 42 – Propriedades dos filamentos para impressora 3D. Fonte: Site da Empresa 3DLAB.

A figura 42 descreve algumas das propriedades dos três materiais, bem como os resultados do ensaio de tração exposto na figura 41, além de informações sobre a dureza e temperatura de distorção térmica – HDT, na qual o polímero se deforma sob uma carga especificada.

#### 4.3.4 VIABILIDADE ECONÔMICA

Realizou-se uma pesquisa de mercado que permitiu analisar a viabilidade econômica da impressão 3D com utilização dos três materiais mais utilizados, na qual se verificou a existência de quatro parâmetros que devem ser levados em consideração no orçamento da peça a ser produzida, a saber:

- Custo da matéria-prima;
- Tempo de impressão;
- Peso da peça a ser produzida.
- preço/hora de impressão;

Os custos da matéria-prima foram obtidos a partir da média dos valores de 1 Kg de filamento encontrados nos sites de três revendedores nacionais e estão elencados na tabela 9.

Tabela 9 – Custos da matéria-prima para impressão 3D.

Filamento	Custo de 1 kg de filamento (R\$)	Tensão de escoamento do material impresso (MPa)	Tensão de Ruptura do material impresso (MPa)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
PLA	126	24,8	46	1,24
ABS	88	14,7	29	1,04
PETG	130	18,6	32,6	1,27

Fonte: Autores.

Os critérios de tempo de impressão e peso da peça a ser produzida são informados pelo software da impressora 3D e dependem de cada projeto. Constatou-se que o preço/hora de impressão, que costuma ser praticado em torno de R\$ 30,00, é o fator mais significativo para a elevação do preço final do produto.

#### 4.4 APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA

Esta etapa do projeto informacional foi executada com o objetivo de obter as necessidades funcionais do cliente por meio de uma metodologia validada. Como ainda não existe uma metodologia específica para desenvolvimento de produtos para caninos com disfuncionalidades, adaptou-se a metodologia ATA (seção 2.32.3.3).

O processo de adaptação foi validado por intermédio de profissional especialista na área de saúde e cirurgia animal, para posteriormente ser avaliado por outros médicos veterinários. O questionário adaptado encontra-se no Apêndice B e foi aplicado por meio do formulário *Google Forms*®, conforme observado na figura 43.



Figura 43 – Capa do questionário ATA adaptado para animais. Fonte: Autores.

Como resultados obtiveram-se as necessidades de cliente inscritas na tabela 10.

Tabela 10 – Necessidades obtidas por meio da ferramenta ATA adaptada.

<b>NECESSIDADES</b>
Não afetar funções vestibulares e de equilíbrio
Não gerar dor
Não gerar alergias ou hipersensibilidades
Não afetar funções digestivas
Não prejudicar força muscular
Não prejudicar negativamente tônus muscular
Não prejudicar Medula Espinhal e Nervos periféricos
Não afetar sistema urinário
Não afetar tronco
Melhorar o deambular
Não prejudicar defecação
Não prejudicar o ombro
Não prejudicar membros remanescentes
Não prejudicar o ombro
Não prejudicar membros remanescentes
Não prejudicar auto secagem
Não prejudicar alimentação
Não prejudicar o ato de beber
Não atrapalhar o lazer
Não prejudicar a pelve

Fonte: Autores.

#### **4.5 CICLO DE VIDA DO PROJETO DE PRODUTO, NECESSIDADES E REQUISITOS DE CLIENTE**

O ciclo de vida do projeto de produto é a representação de todas as etapas pelas quais o produto percorre em seu desenvolvimento. Por meio dele é possível ter uma visão holística do projeto, de forma que seja possível entender as necessidades dos clientes envolvidos desde sua idealização até sua reciclagem ou descarte final.

De acordo com ROZENFELD et al. (2006):

“essa visão do relacionamento entre ciclo de vida do produto e seus clientes é de grande interesse ao Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), pois fornece uma visão mais ampla de todo o processo, permitindo o desenvolvimento de soluções específicas para cada um desses clientes” (ROZENFELD et al., 2006, pag. 217).

Desta forma, a fim de entender como funcionará o desenvolvimento deste produto por meio de uma visão mais ampla e simplificada, elaborou-se o ciclo de vida de produto descrito na figura 44.

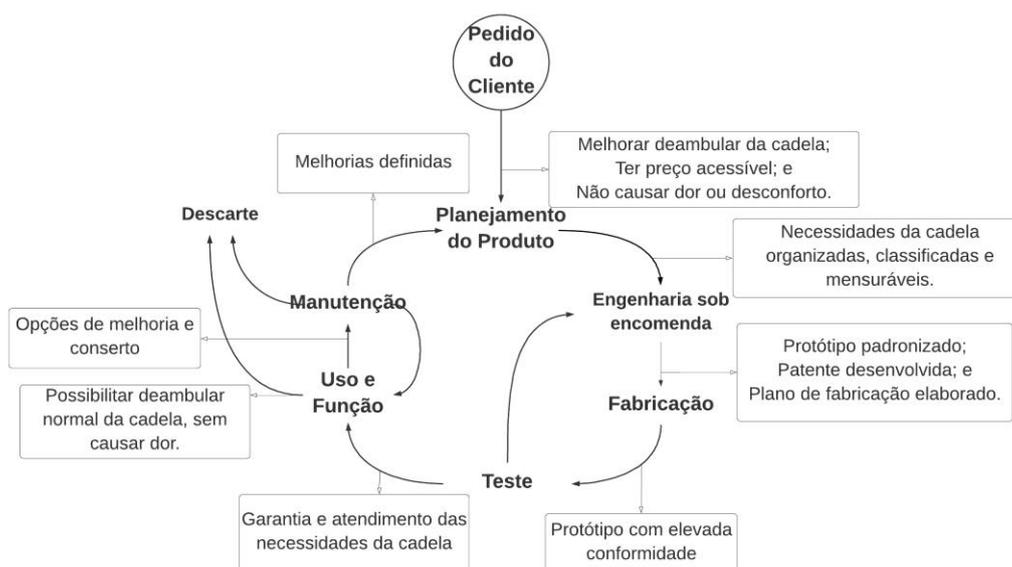


Figura 44 – Ciclo de vida do projeto de produto. Fonte: Autores.

Embora o ciclo de vida do projeto de produto seja um ponto de partida para o planejamento do projeto e identificação dos requisitos de clientes, há a necessidade de desdobrá-lo em suas respectivas fases, a fim de que haja o maior detalhamento possível das necessidades observadas para diminuir os riscos do não atendimento do projeto ao final da fabricação do produto. Assim, foi elaborada a tabela 11 constando os clientes das fases do ciclo de vida e suas respectivas necessidades.

Tabela 11 – Fases do ciclo de vida do produto, clientes e respectivas necessidades.

CICLO DE VIDA	CLIENTE	NECESSIDADE
Projeto	Cliente	Atenda aos Requisitos do Cliente
		Projeto transparente
		Possibilidade de reutilização em outros animais
		Desenvolver produto parecido com o membro amputado
Fabricação	Equipe de Fabricação	Alto detalhamento do projeto
		Alta manufaturabilidade
		Matéria Prima de fácil acesso
	Equipe de Montagem	Baixo número de peças
Baixo peso do produto		
Armazenagem	Equipe de Armazenagem	Menor volume
		Boa resistência
		Boa embalagem
Transporte	Transportadora	Menor Peso
		Menor Volume
		Ergonômico para transporte
		Produto resistente
Montagem	Equipe de Montagem	Manual decente
		Montagem intuitiva
		Montagem segura
Uso	Usuário	Não afetar funções vestibulares e de equilíbrio
		Não gerar dor
		Não gerar alergias ou hipersensibilidades
		Não afetar funções digestivas
		Não prejudicar força muscular
		Não prejudicar negativamente tônus muscular

		Não prejudicar Medula Espinhal e Nervos periféricos
		Não afetar sistema urinário
		Não afetar tronco
		Melhorar o deambular
		Não prejudicar defecação
		Não prejudicar o ombro
		Não prejudicar membros remanescentes
		Não prejudicar o ombro
		Não prejudicar membros remanescentes
		Não prejudicar auto secagem
		Não prejudicar alimentação
		Não prejudicar o ato de beber
		Não atrapalhar o lazer
		Não prejudicar a pelve
		Reduzir sobrecarga no pescoço
		Diminuir sobrecarga em membros remanescentes
Manutenção	Equipe de Montagem	Peças de fácil reposição
		Utilizar poucas ferramentas
		Manter Integridade do produto
Desativação	Equipe de Projeto	Plataforma de possível reutilização
		Apresentação de novo produto
Descarte	Equipe de Projeto	Forma de reciclagem pré-definida
	Equipe de Reciclagem	Componentes com alta possibilidade de reutilização

Fonte: Autores.

As necessidades de clientes acima indicadas foram coletadas por meio de entrevistas com clientes, análise de mercado, adaptações da Classificação Internacional de Funcionalidade Incapacidade e Saúde (OMS, 2001) e validadas por profissionais da Medicina Veterinária.

Para converter as necessidades do cliente em requisitos de cliente, estas foram agrupadas por aspectos como desempenho funcional, fatores humanos e resistência. Por meio desta atividade foi possível diminuir a possibilidade de dúvidas e ambiguidades durante a interpretação destes requisitos. Com base nisto, foram definidos os requisitos de cliente dispostos na tabela 12.

Tabela 12 – Matriz de Atributos.

<b>Ciclo de Vida</b>	<b>Funcionamento</b>	<b>Ergonomia</b>	<b>Estética</b>	<b>Economia</b>	<b>Confiabilidade</b>
<b>Produção</b>	-Ter bom desenho mecânico		-Ser semelhante ao membro original	-Ter baixo custo	-Resistir a impactos
<b>Montagem</b>	-Ter bom manual de montagem -Ter poucas partes	-Necessitar de poucas ferramentas na montagem		-Ter peças de fácil reposição -Ser adaptável a outros animais	
<b>Transporte</b>		-Ser compacto			
<b>Armazenagem</b>					-Ter embalagem resistente
<b>Função</b>					-Resistir aos atritos e esforços
<b>Uso</b>	-Melhorar o deambular -Evitar dor -Prevenir alergias ou hipersensibilidades	-Ter peso suportável -Ter boa ergonomia para pegada -Reduzir sobrecarga em membros remanescentes			-Resistir a mordidas
<b>Manutenção</b>				-Ter componentes reutilizáveis	

Fonte: Autores.

Agrupados os requisitos de clientes na Matriz de Atributos, estes foram destacados e listados na tabela 13 para posteriormente serem analisadas em importância pelo Diagrama de Mudge.

Tabela 13 – Requisitos de cliente.

<b>Requisitos de Cliente</b>
Melhorar o deambular
Evitar dor
Resistir aos atritos e esforços necessários
Reduzir sobrecarga em membros remanescentes
Ter peso suportável
Ter baixo custo
Resistir a mordidas
Prevenir alergias ou hipersensibilidades
Ter poucas partes
Ter bom desenho mecânico.
Ser adaptável a outros animais
Ter componentes reutilizáveis
Resistir à queda
Ter peças de fácil reposição
Ter embalagem resistente
Ter bom manual de montagem

Ser semelhante ao membro original
Necessitar de poucas ferramentas na montagem
Ter boa ergonomia para pegada
Ser compacto

Fonte: Autores.

#### 4.6 DIAGRAMA DE MUDGE

O Diagrama de Mudge é uma importante ferramenta para a classificação de importância entre os requisitos de cliente, pois ele faz uma comparação par a par, obtendo como resultado os critérios imprescindíveis para o cliente e os que talvez não surtam tanto efeito ao serem incrementados. Assim, essa ferramenta foi executada, com assistência dos *stakeholders*, para que eles pudessem ajudar na indicação dos requisitos mais importantes. Parte deste Diagrama pode ser observado na tabela 14 **Tabela 14**, a versão integral está disponível no Apêndice C.

Tabela 14 – Diagrama de Mudge Parcial.

	Ter peças de fácil reposição (BD)	Necessitar de poucas ferramentas na montagem (BE)	Ter componentes reutilizáveis (BF)	Total	%
Ter bom desenho mecânico (B)	B1	B3	B3	21	4
Ter baixo custo (C)	C3	C3	C3	28	5
Ter peso suportável (D)	D3	D3	D3	33	6
Resistir aos atritos e esforços necessários (E)	E3	E5	E5	63	12

Fonte: Autores.

Depois deste procedimento observou-se que os cinco principais requisitos foram, em sequência decrescente de importância: evitar dor (P), melhorar o deambular (AS), resistir aos atritos e esforços necessários (E), diminuir sobrecarga em membros remanescentes (BB) e ter peso suportável (D). Já os cinco menos relevantes, em ordem crescente de importância, foram: auxiliar audição (Z), zelar pelas funções de percepção (AU), auxiliar nas funções sistema reprodutivo (AZ), manter projeto aberto em plataforma acessível (A) e auxiliar manutenção da alimentação (AG).

#### 4.7 DIAGRAMA DE PARETO

Realizou-se o desenvolvimento do Diagrama de Pareto (figura 45) utilizando os resultados do Diagrama de Mudge (Apêndice C). Assim, foi possível ter um melhor entendimento da dimensão do impacto de cada requisito de produto no projeto.

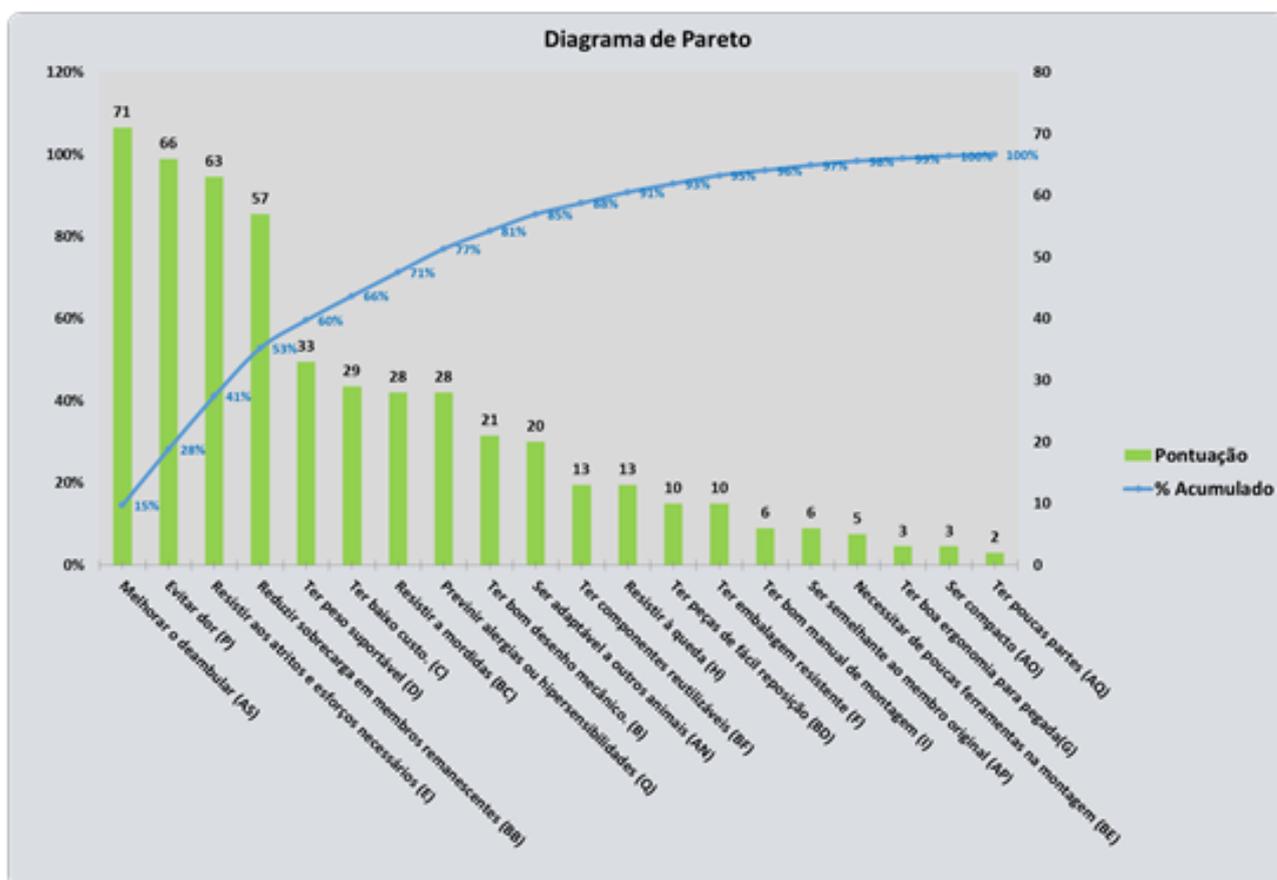


Figura 45 – Diagrama de Pareto. Fonte: Autores.

No Diagrama de Pareto, em verde, encontram-se as pontuações de cada requisito de produto; na curva em azul, encontram-se as somas das porcentagens relativas de cada um dos requisitos; e, na legenda inferior, entre parênteses, encontram-se os respectivos pesos (graus de importância) de cada requisito.

Por meio desse estudo foi possível observar que, até o requisito ter poucas partes, 80% da importância das necessidades dos clientes já são contempladas. Ou seja, caso não haja recursos suficientes e tenha-se de deixar de contemplar alguma necessidade, serão priorizadas as de menor impacto na satisfação do cliente. No Apêndice D, encontram-se todos os requisitos e os seus respectivos parâmetros.

#### 4.8 DIAGRAMA DE KANO

A fim de entender os tipos de atributos de cada requisito de cliente, foi implementado o Diagrama de Kano. A partir desta ferramenta definiram-se os elementos básicos, esperados pelo cliente; de performance, que descrevem uma relação diretamente proporcional às expectativas do cliente; e de excitação, diferencial inesperado pelo cliente. O Diagrama Kano desenvolvido pela equipe do projeto é apresentado na figura 46.

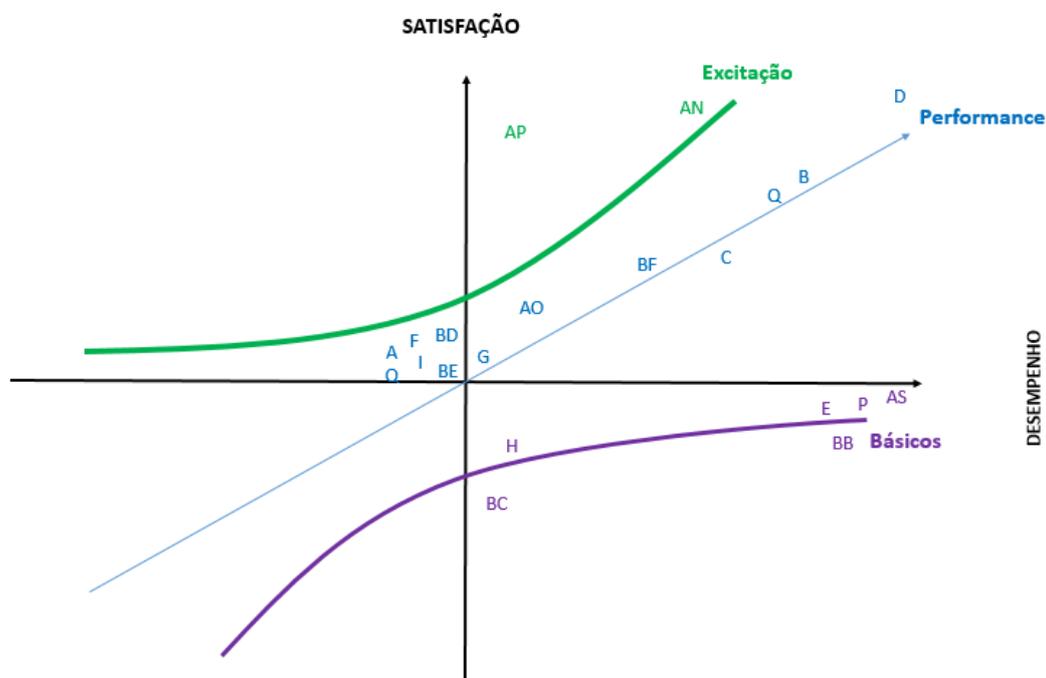


Figura 46 – Diagrama de Kano do Projeto. Fonte: Autores.

Para o desenvolvimento da inferência no gráfico acima representado, foram utilizados os pesos de importância dos requisitos de projeto, resultados do Diagrama de Mudge (Apêndice C), além disso, realizou-se uma análise qualitativa impacto destes requisitos na satisfação do cliente/usuário e no desempenho do produto. Na tabela 15, apresenta-se a legenda do Diagrama com as respectivas classificações de cada requisito.

Tabela 15 – Requisitos de clientes e seus respectivos atributos.

<b>Requisitos de Clientes</b>	<b>Atributo</b>
Melhorar o deambular (AS)	Básico
Evitar dor (P)	Básico
Resistir aos atritos e esforços necessários (E)	Básico
Reduzir sobrecarga em membros remanescentes (BB)	Básico
Resistir a mordidas (BC)	Básico
Resistir à queda (H)	Básico
Ser adaptável a outros animais (AN)	Excitação
Ser semelhante ao membro original (AP)	Excitação
Ter peso suportável (D)	Performance
Ter baixo custo. (C)	Performance
Prevenir alergias ou hipersensibilidades (Q)	Performance
Ter bom desenho mecânico. (B)	Performance
Ter componentes reutilizáveis (BF)	Performance
Ter peças de fácil reposição (BD)	Performance
Ter embalagem resistente (F)	Performance
Ter bom manual de montagem (I)	Performance
Necessitar de poucas ferramentas na montagem (BE)	Performance
Ter boa ergonomia para pegada (G)	Performance
Ser compacto (AO)	Performance
Ter poucas partes (AQ)	Performance

Fonte: Autores.

### 4.9 CASA DA QUALIDADE - QFD

Por meio do desdobramento da função qualidade, com a aplicação da ferramenta Casa da Qualidade, foi possível mensurar a relação dos requisitos de cliente e requisitos de produto, obtendo como resultado suas respectivas avaliações de importância. Foi feita, ainda, uma análise de *benchmarking* dos concorrentes, o que possibilitou a identificação dos pontos fortes e fracos do protótipo em desenvolvimento. A figura 47 apresenta os resultados obtidos durante este processo de projeto.

		Resistência do Produto						Direcionador de melhoria >>>>						qualidade planejada				
		Resistência do produto	Altura do produto	Força sobre o membro remanescente	Custo do Produto	Número de Componentes	Desgaste do Produto	Postura do Animal	Grau de importância (geral)	Nosso Produto (dispositivo para locomoção)	Handicapped Pets	Animal Ortho care	Plano	Índice de melhoria	Argumento de vendas	Peso absoluto	Peso relativo	
RC: Requisitos do Cliente	RC1	Evitar dor (P)	3	3	3	5	1	3	5	5	5	3	3	5	1	1,5	7,5	9,635149024
	RC2	Melhorar o deambular (AS)	1	5	5	5	3	3	5	5	5	4	3	5	1	1,5	7,5	9,635149024
	RC3	Resistir aos atritos e esforços necessários (E)	5	1	5	3	1	3	5	5	5	5	3	5	1	1,5	7,5	9,635149024
	RC4	Diminuir sobrecarga em membros remanescentes (BB)	3	1	5	3	1	3	5	4	5	5	3	5	1	1,5	6	7,708119219
	RC5	Ter peso suportável (D)	3	1	5	1	3	3	5	4	5	4	5	5	1	1,5	6	7,708119219
	RC8	Resistir a mordidas (BC)	5	1	5	1	1	3	1	3	5	3	5	5	1	1,2	3,6	4,624871531
	RC9	Prevenir alergias ou hipersensibilidades (Q)	1	3	1	1	3	1	3	3	3	4	4	5	1,666666667	1,2	6	7,708119219
	RC12	Ter baixo custo. (C)	1	1	1	3	1	3	1	3	2	3	4	4	2	1,2	7,2	9,249743063
	RC13	Ter componentes reutilizáveis (BF)	3	3	5	3	3	1	1	2	2	3	3	4	2	1,2	4,8	6,166495375
	RC14	Ser adaptável a outros animais (AN)	3	3	3	3	5	5	3	2	2	3	3	3	1,5	1,2	3,6	4,624871531
	RC15	Ter peças de fácil reposição (BD)	5	3	1	5	5	1	1	2	3	4	2	4	1,333333333	1,2	3,2	4,110996917
	RC16	Necessitar de poucas ferramentas na montagem (BE)	3	5	1	1	5	3	1	2	3	3	4	4	1,333333333	1,2	3,2	4,110996917
	RC19	Ter bom desenho mecânico. (B)	3	3	1	3	5	5	1	2	5	4	3	4	0,8	1,2	1,92	2,46659815
	RC20	Ter embalagem resistente (F)	3	5	5	3	5	3	1	2	5	5	4	4	0,8	1,2	1,92	2,46659815
	RC21	Ser compacto (AO)	1	5	1	3	5	3	1	2	4	2	4	3	0,75	1,2	1,8	2,312435766
	RC23	Resistir à queda (H)	5	1	5	3	3	3	1	2	4	3	4	3	0,75	1,2	1,8	2,312435766
	RC24	Ser semelhante ao membro original (AP)	3	5	1	5	3	3	1	1	3	3	5	3	1	1	1	1,284686536
	RC26	Ter poucas partes (AQ)	1	1	1	5	5	1	1	1	2	2	4	3	1,5	1	1,5	1,927029805
RC30	Ter boa ergonomia para pegada(G)	1	1	1	3	3	3	1	1	4	3	5	4	1	1	1	1,284686536	
RC32	Ter bom manual de montagem (I)	1	3	1	5	5	3	1	1	5	3	3	4	0,8	1	0,8	1,027749229	
<b>Grau de importância (req. produto)</b>		275	251	330	307	264	274	302					2003,0		77,84	100		
<b>Percentual</b>		13,7	12,5	16,5	15,3	13,2	13,7	15,1					100,0					

Figura 47 – Casa da Qualidade - QFD. Fonte: Autores.

Como resultado desta ferramenta, obtiveram-se os requisitos de produto mensurados a partir de parâmetros de engenharia, tais como: força, pressão, massa, temperatura e outros. Dessa forma, estes foram definidos como: Resistência do produto; Altura do produto; Força sobre o membro remanescente; Custo do Produto; Número de Componentes; Espessura do revestimento; e Postura do animal.

Foi realizada a análise do Telhado da Qualidade ou da Matriz de Correlação dos Requisitos de Produto a fim indicar possíveis relações de dependência entre eles visando a otimização da satisfação do cliente. Os requisitos de correlação positiva (+ ou ++) podem ser vistos como possíveis oportunidade de melhorias conjuntas, entre elas encontram-se os pares: Custo do Produto e Resistência do produto; Número de Componentes e Altura do produto; Número de Componentes e Custo do Produto; e Postura do Animal e Custo do Produto.

Embora esta ferramenta identifique oportunidades de melhorias conjuntas, nem sempre é possível gerar melhorias em todas as características do produto, pois algumas delas tem correlações negativas (- ou --), tais quais: Força sobre o membro remanescente e Resistência do produto; Desgaste do Produto e Resistência do Produto; Custo do Produto e Força sobre o membro remanescente; Postura do Animal e Força sobre o membro remanescente. Estas relações serão avaliadas e levadas em consideração no Projeto Conceitual, para que haja uma busca de funções e princípios de solução que se adequem as restrições de otimização supracitadas.

#### **4.10 ESPECIFICAÇÕES-META**

Especificações-Meta são parâmetros que permitem mensurar os requisitos de produto definidos após a aplicação do QFD. Esse conjunto de informações elaboradas durante o Projeto Informacional do produto deve refletir as características que o produto deverá ter para atender às necessidades dos clientes.

Assim como nos métodos numéricos, deve existir uma certa proximidade com o valor esperado, a fim de que não haja necessidade de “executar a função várias vezes para se obter um erro dentro do esperado”, ou seja, para que seja necessário

o menor número de correções possíveis durante o andamento do projeto. Com esses princípios chegamos a o resultado que se encontra na tabela 16.

Tabela 16 – Especificações-Meta.

<b>Requisito</b>	<b>Unidade Medição</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Sensores</b>	<b>Saídas indesejadas</b>
Altura do produto	mm	210	Fita métrica	Altura ou < 200 mm ou >215 mm
Força sobre o membro remanescente	Newton	190	Dinamômetro	Força superior a 200 N
Custo do Produto	R\$	500	Tabela de custos	Preço > R\$ 700
Número de Componentes	Quantidade	10	Contagem	Quantidade > 12
Espessura do revestimento	mm	2	Paquímetro	Espessura < 2 mm
Desgaste do produto	ano	5	Viabilidade de utilização	Desgaste em < de 1 ano
Postura do Animal	graus	30	Estudo digital da angulação do tronco	Angulação < 28° ou > 32°

Fonte: Autores.

Com essas especificações, espera-se adentrar no projeto conceitual com informações mais precisas possíveis, a fim de que haja menor probabilidade de durante a execução das próximas etapas do projeto.

## 5 PROJETO CONCEITUAL

No Projeto Conceitual visou-se criar uma concepção de produto por meio de ferramentas que compõe esta fase do projeto, tais quais o desenvolvimento de estruturas funcionais, a busca por princípios de solução e a combinação destes últimos, utilizando a abstração e criatividade, a fim de criar alternativas de concepções de produto que viabilizem a escolha da melhor opção dentre elas. Ressalta-se que todo este Projeto Conceitual foi embasado nos resultados do Projeto Informacional. Desta forma, o desenvolvimento das funções iniciais, a seguir, foi realizado com o objetivo de viabilizar os requisitos de produto descritos na fase anterior.

### 5.1 DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA FUNCIONAL

As estruturas funcionais tem o objetivo de facilitar a descoberta de novas soluções e o grau de detalhe destas estruturas depende do grau de inovação do novo produto que se busca lançar (PAHL et al., 2007). Partindo destes princípios, definiu-se a função total ou principal do produto, disposta na figura 48 e definida como: **Melhorar o deambular**. Depois, baseando-se nos fluxos básicos de energia, materiais e sinais, foram elaboradas três estruturas funcionais, as quais podem ser melhor observadas no Apêndice E.

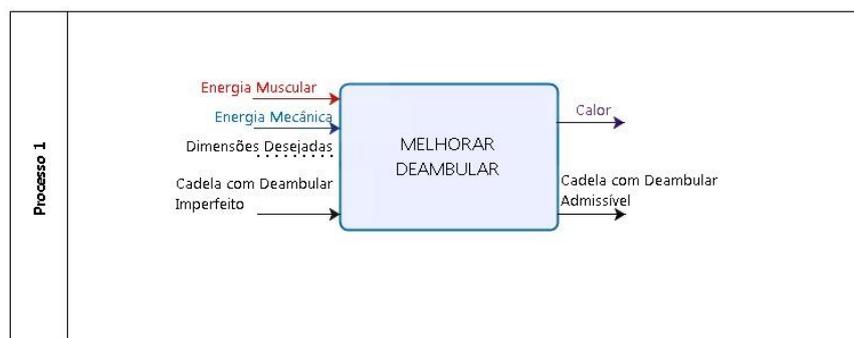


Figura 48 – Função Total. Fonte: Autores.

No Apêndice E1, apresenta-se a primeira estrutura funcional que representa o funcionamento de um dispositivo que é fixado ao membro residual, possuindo um mecanismo de regulagem de altura, permitindo um melhor equilíbrio do tronco.

O segundo desdobramento desta abordagem encontra-se no Apêndice E2 e descreve que a regulação seria realizada com auxílio de algum instrumento de legenda, que informaria quando a altura ideal fosse alcançada. Já a melhoria na postura seria aferida por meio da inclinação da coluna do animal. Idealizou-se ainda que o produto deveria amortecer a movimentação.

Outra estrutura, cujos desdobramentos estão disponíveis nos Apêndices E3 e E4, considera que, adicionalmente aos aspectos considerados na abordagem anterior, não deveria existir contato entre a extremidade amputada e partes do dispositivo que estivessem sob esforço de compressão direta, no intuito de evitar desconforto. Além disso, o cotovelo deveria se movimentar livremente pois este é um componente corporal saudável da cadela. Foi considerado ainda que o produto deveria evitar que a cadela deslizesse.

A última estrutura funcional, exposta nos Apêndices E5 e E6, representa uma alternativa mais compacta, mas que ainda assim abrange os aspectos necessários ao correto funcionamento de um dispositivo que se destine a substituir um membro amputado. Aqui, considerou-se que o dispositivo deveria ser fixado ao corpo da cadela, não necessariamente ao membro residual. O contato com o solo seria automaticamente alcançado após a regulação da altura. Por fim, o deambular seria otimizado a partir da redistribuição da carga corporal e do amortecimento dos movimentos.

As estruturas funcionais descritas representam a atuação de um dispositivo que possibilite a conversão da energia muscular em energia cinética. Em outras palavras, uma estrutura que possibilite a transferência de esforços entre a cadela e o solo de modo que sua movimentação ocorra de forma natural e saudável. As entradas representam informações sobre as dimensões do membro residual, incluindo o comprimento da porção amputada, bem como o peso da cadela e possíveis outras cargas de trabalho. O mecanismo deve então envolver o membro, protegendo-o de impactos e completando o espaçamento entre o coto e o solo. Ao funcionar como uma extensão do membro amputado, a prótese permitirá uma redistribuição do peso corporal da cadela, reduzindo a sobrecarga dos membros saudáveis e reequilibrando todo o corpo.

Além de resistir ao peso é necessário que o aparato se mantenha íntegro durante a movimentação, resistindo aos esforços dinâmicos que são maiores do que os observados quando o animal está parado.

No intuito de simular corretamente a atuação de uma pata saudável, o produto deve apresentar certo grau de amortecimento, que será possível devido a pequenas deformações elásticas da estrutura. Ao recuperar sua forma original o dispositivo devolverá parte da energia muscular ao corpo do animal, promovendo sua movimentação.

A fim de definir qual estrutura funcional se adequa melhor a proposta de produto deste trabalho, implementou-se uma matriz de decisão, conforme tabela 17. Os pesos se referem ao grau de importância de cada requisito de cliente para o projeto e foram obtidos por meio do Diagrama de Mudge.

Tabela 17 – Matriz de Decisão das estruturas funcionais.

<b>Requisitos de Cliente</b>	<b>Peso</b>	<b>Avaliação Estrutura Funcional 1</b>	<b>Avaliação Estrutura Funcional 2</b>	<b>Avaliação Estrutura Funcional 3</b>
Melhorar o deambular (AS)	5	1	1	1
Evitar dor (P)	4	0	1	1
Resistir aos atritos e esforços necessários (E)	3	1	1	0
Reduzir sobrecarga em membros remanescentes (BB)	3	1	1	1
Resistir a mordidas (BC)	3	1	1	0
Resistir à queda (H)	2	0	1	1
Ter forma de reciclagem pré-definida (AM)	2	1	1	0
Ser adaptável a outros animais (AN)	2	1	1	1
Ser semelhante ao membro original (AP)	1	1	1	0
Ter peso suportável (D)	1	1	1	1
Ter baixo custo. (C)	1	1	1	1
Prevenir alergias ou	1	1	1	1

hipersensibilidades (Q)				
Ter bom desenho mecânico. (B)	1	1	1	1
Ter componentes reutilizáveis (BF)	1	0	0	1
Ter peças de fácil reposição (BD)	1	1	1	0
Ter embalagem resistente (F)	1	1	1	1
Ter bom manual de montagem (I)	1	1	1	0
Necessitar de poucas ferramentas na montagem (BE)	1	1	1	1
Ter boa ergonomia para pegada(G)	1	1	1	0
Ser compacto (AO)	1	1	0	1
Ter poucas partes (AQ)	1	1	1	1
Soma Ponderada	32	25	30	22

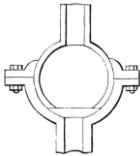
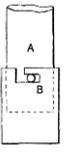
Fonte: Autores.

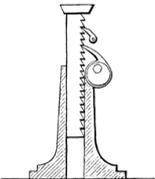
Desta forma, selecionou-se a Estrutura Funcional 2 para ser desenvolvida e detalhada pela equipe de projeto, tendo em vista o fato de alinhar-se melhor aos requisitos de cliente previamente estabelecidos.

## 5.2 DESENVOLVIMENTO DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO

Para o desenvolvimento de princípios de solução para as funções de mais baixo nível, utilizou-se a Matriz Morfológica. Esse método viabiliza a visualização das funcionalidades necessárias suprir os requisitos dos clientes e explora diferentes possibilidades de solução para elas, podendo, assim, gerar distintas combinações, a fim de formar, posteriormente, a arquitetura do produto (ROZENFELD; AMARAL, 2006). Assim, buscou-se explorar diferentes possibilidades de solução, conforme pode ser observado na tabela 18.

Tabela 18 – Princípios de solução.

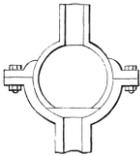
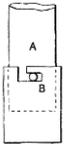
Função	Solução 1	Solução 2	Solução 3	Solução 4	Solução 5
Encaixar-se no Coto	 Abraçadeira tipo D	 Junta de esfera circular	 Tensor de joelho	 Abraçadeira de encaixe tubular	 Abraçadeira de Nylon para lâmpada
Regular aperto	 Fivela para patins	 Abraçadeira de pressão	 Regulador de aperto	 Alças de velcro	 Pulseira de relógio
Prender-se ao membro	 Fechadura	 Presilha "enforcagato"	 Dispositivo de engate rápido para mochilas	 Cinto de segurança paraquedista	 Ímã
Difícultar desacoplagem	 Junta de baioneta	 Dispositivo de engate rápido para mochilas	 Trava de segurança	 Cadeado com segredo	 Cabo de segurança
Facilitar retirada pelo dono	 Cinto de segurança	 Grampo fecho rápido	 Trava de pressão	 Maçaneta	 Zíper
Acomodar extremidade	 Envoltória de silicone	 Folha de EVA	 Almofada	 Espuma	 Pano de algodão

Rotacionar junto com o cotovelo	 Articulação de cotovelo mecânica	 Junta rotativa	 Alavanca de joelho	 Junta universal	 Cotoveleira
Ajustar distância entre coto e o solo	 Antena de carro	 Elevador	 Pé nivelador com rosca	 Pistão de cadeira	 Cremalheira
Fixar altura	 Abraçadeira de selim de bicicleta	 Parafusos	 Pino de travamento	 Pino trava grampo	 Trinco de porta
Evitar deslizamento	 Frisos de pneu	 Superfície emborrachada em alto relevo	 Faixas antiderrapantes	 Ventosas de borracha	 Sola de borracha
Amortecer a passada	 Amortecedor para calcanhar	 Amortecimento com ar	 Vários elementos flexíveis	 Amortecedor hidráulico	 Pé artificial

Fonte: Autores.

Para cada função foi selecionado um princípio de solução da tabela 18, resultando em combinações de princípios, representadas na tabela 19Tabela 19, que originaram diferentes concepções de protótipo.

Tabela 19 – Concepções de Solução.

Função	Concepção 1	Concepção 2	Concepção 3
Encaixar-se no Coto	 <p>Junta de esfera circular</p>	 <p>Tensor de joelho</p>	 <p>Abraçadeira de Nylon para lâmpada</p>
Regular aperto	 <p>Alças de velcro</p>	 <p>Alças de velcro</p>	 <p>Regulador de aperto</p>
Prender-se ao membro	 <p>Cinto de segurança paraquedista</p>		
Dificultar desacoplagem	 <p>Junta de baioneta</p>	 <p>Dispositivo de engate rápido para mochilas</p>	 <p>Dispositivo de engate rápido para mochilas</p>
Facilitar retirada pelo dono	 <p>Dispositivo de engate rápido para mochilas</p>		
Acomodar extremidade	 <p>Almofada</p>	 <p>Espuma</p>	 <p>Espuma</p>
Rotacionar junto com o cotovelo	 <p>Articulação de</p>	 <p>Cotoveleira</p>	 <p>Cotoveleira</p>

	cotovelo mecânica		
Ajustar distância entre coto e o solo	 Antena de carro	 Antena de carro	 Pé nivelador com rosca
Fixar altura	 Abraçadeira de selim de bicicleta	Abraçadeira de selim de bicicleta	 Parafusos
Evitar deslizamento	 Frisos de pneu	 Sola de borracha	 Sola de borracha
Amortecer a passada	 Pé artificial	 Pé artificial	 Vários Elementos flexíveis

Fonte: Autores.

### 5.3 CONCEPÇÕES DO PRODUTO

Com a utilização do software *Photoshop*® foram desenvolvidas as concepções do protótipo a partir da seleção dos princípios de solução elaborados na seção 5.2. A figura 49 representa o desenho da Concepção 1. Nesta alternativa o coto seria inserido entre duas estruturas e fitas de velcro regulariam o aperto. Esta estrutura contaria com uma articulação do cotovelo que além de permitir a rotação, seria a estrutura de suporte para um cinto inspirado no paraquedismo cuja função é dificultar que a cadela retire o aparato. A estrutura oval com a face externa revestida de borracha seria responsável por gerar o atrito necessário ao deambular, bem como o amortecimento à medida que se deformasse.

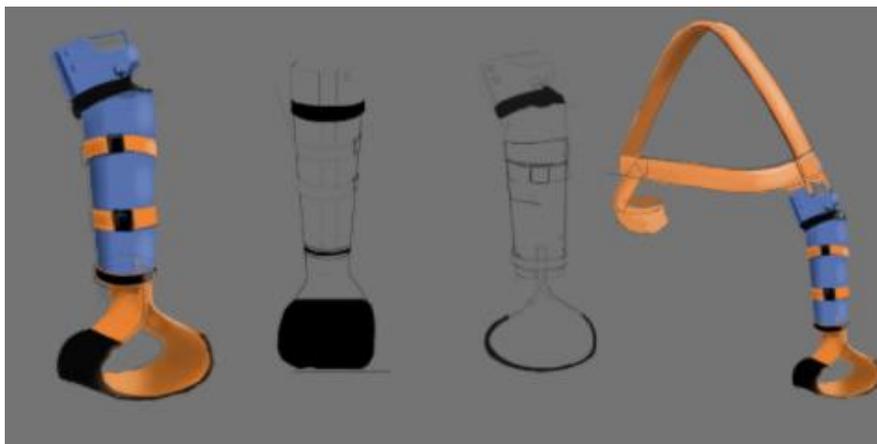


Figura 49 – Esboço do produto, Concepção 1. Fonte: Autores.

Os esboços da Concepção 2 estão disponíveis na figura 50. A ideia do cinto foi mantida, mas nessa alternativa sua ligação é realizada por meio de engates rápidos de mochila a um componente flexível, semelhante a um tensor de joelho, responsável por regular o aperto, bem como permitir o a rotação do cotovelo. O coto é inserido em uma cápsula, feita sob medida, revestida com espuma para aumentar o conforto. Este componente conta ainda com um orifício no qual é inserido o cilindro móvel para ajuste de altura. A fixação da altura é garantida por uma abraçadeira, inspirada nas utilizadas para fixação de selins de bicicleta. A extremidade distal do dispositivo conta com uma base, com forma geométrica de uma meia-ellipse, que se conecta ao cilindro móvel e promove contato com o solo, possibilitando amortecimento ao se deformar a cada passada.

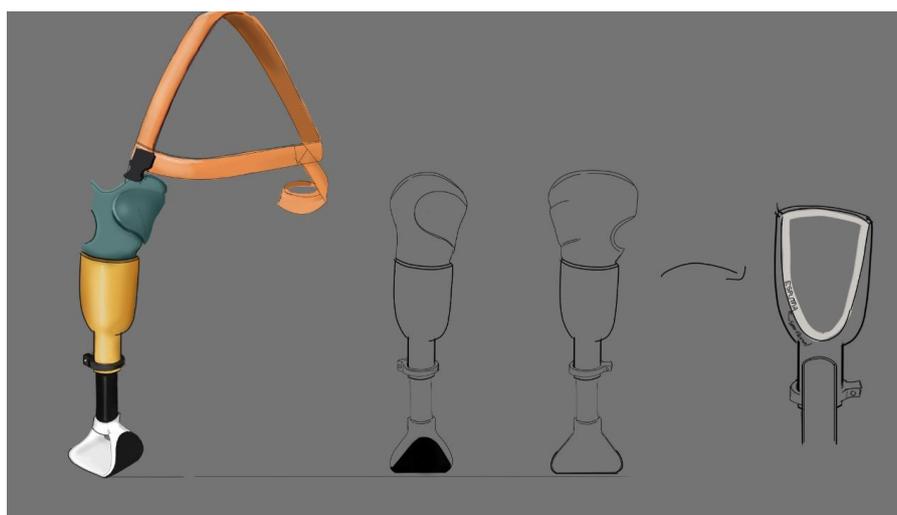


Figura 50 – Esboço do produto, Concepção 2. Fonte: Autores.

A Concepção 3 pode ser observada na figura 51. Nesta alternativa a possibilidade de rotação do cotovelo é propiciada por um tecido flexível que também é responsável por ligar a estrutura em contato com o antebraço à estrutura que reveste o antebraço e coto. O ajuste de altura é permitido por meio dos parafusos que atuam comprimindo o componente em contato com o coto contra a haste de sustentação. Esta deve ser rosqueada ao componente em contato com solo, cuja conformação curva inspirada em amortecimento de tênis esportivos deve garantir a absorção de impactos durante a movimentação. Nesta estrutura também está presente o cinto inspirado em equipamentos de paraquedismo para evitar que a cadela retire o dispositivo. Vale destacar ainda que o coto não recebe diretamente esforços de compressão por conta do espaçamento existente no interior do componente no qual o coto é inserido.

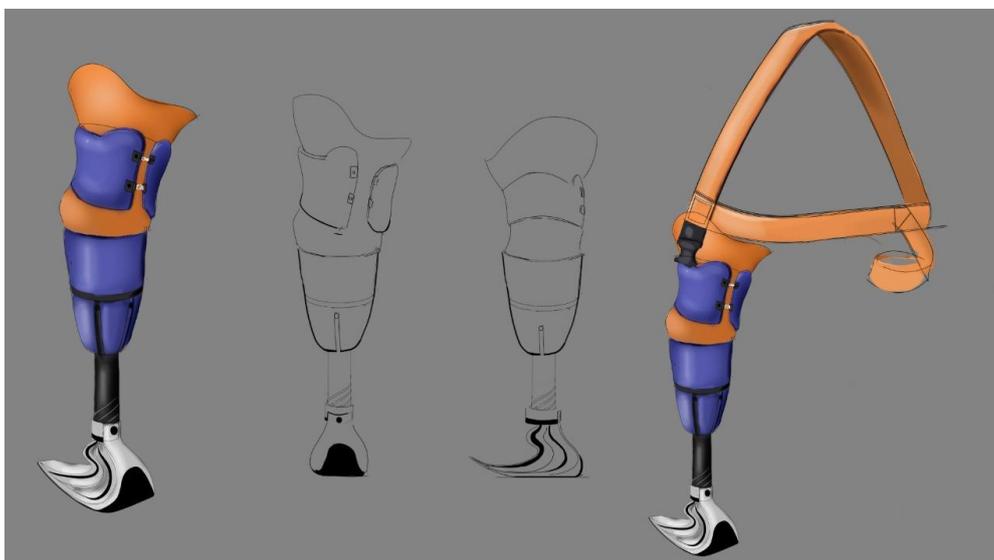


Figura 51 – Esboço do Protótipo, Concepção 3. Fonte: Autores.

Definidas as concepções, realizou-se a avaliação comparativa por meio do Diagrama de Pugh (PUGH, 1991) ilustrada na tabela 20. Como critérios foram utilizados os requisitos de produto definidos neste projeto cujos pesos foram obtidos a partir da Casa da Qualidade – QFD.

Tabela 20 – Matriz de Decisão das Concepções de produto.

Requisitos de Produto	Peso	Avaliação Concepção 1	Avaliação Concepção 2	Avaliação Concepção 3
Força sobre o membro remanescente	5	0	1	1
Postura do Animal	4	1	1	1
Custo do Produto	4	1	1	0
Espessura do revestimento	3	1	1	1
Resistência do Produto	3	0	1	1
Número de Componentes	2	1	1	0
Altura do Produto	1	0	1	1
Soma Ponderada		13	22	16

Fonte: Autores.

## 5.4 ANÁLISE DAS CONCEPÇÕES DO PRODUTO

Desta forma, selecionou-se a Estrutura Funcional 2 para ser desenvolvida e detalhada pela equipe de projeto, tendo em vista o fato de alinhar-se melhor aos requisitos de cliente previamente estabelecidos. A seguir encontram-se as justificativas para a avaliação supracitada.

### 5.4.1 FORÇA SOBRE O MEMBRO REMANESCENTE

Neste quesito, as concepções 2 e 3 são capazes de atingir bons resultados, pois em seu desenvolvimento possuem uma capsulas externas, o que não se vê na concepção 1. Esta evita que o produto tenha contato direto com a extremidade do membro da Estrela, local de maior sensibilidade, o que pode gerar incômodos e dores.

#### **5.4.2 POSTURA DO ANIMAL**

Neste quesito, todas as concepções são capazes de produzir bons resultados, pois são teoricamente viáveis para redistribuir as cargas sobre as patas da Estrela, gerando um reajuste em sua postura.

#### **5.4.3 CUSTO DO PRODUTO**

Embora não seja simples custear teoricamente as concepções acima desenhadas nesta fase do projeto, dentro do nosso parâmetro de custo, as concepções 1 e 2 tem maior probabilidade de sucesso neste quesito, principalmente pela simplicidade do produto desenvolvido com poucas partes e uma pata (base) de formato simples de ser confeccionado.

#### **5.4.4 ESPESSURA DO REVESTIMENTO**

Com relação à espessura do revestimento interna à capsula, utilizado para proteger o coto, todas as concepções são passíveis de atingir os requisitos necessários, pois possuem uma camada de revestimento interna que gerará conforto à parte mais sensível do membro animal.

#### **5.4.5 RESISTÊNCIA DO PRODUTO**

Quanto à resistência do produto, todas as estruturas rígidas serão projetadas para a fabricação por meio do método FDM, utilizando o material ABS, devido ao seu custo-benefício e por suas adequadas propriedades mecânicas. Porém, optou-se por não pontuar a concepção 1 neste requisito, pois a conexão da pata com o resto da estrutura aparenta não resistir aos esforços que serão impostos durante o seu uso.

#### **5.4.6 NÚMERO DE COMPONENTES**

Neste quesito, as concepções 1 e 2 foram pontuadas, enquanto a 3, por apresentar maior número de componentes, não recebeu pontuação.

### 5.4.7 ALTURA DO PRODUTO

Neste quesito, as concepções 2 e 3 foram pontuadas pois são teoricamente viáveis para atingir o nível de altura ideal para proporcionar uma boa qualidade de vida à cadela Estrela. Já a concepção deixou de ser pontuada por não possuir ajuste de altura.

### 5.5 BILL OF MATERIAL – ESTRUTURA DO PRODUTO

De acordo com as diretrizes propostas por Rozenfeld et al. (2006), ao fim do projeto conceitual realiza-se um detalhamento inicial da concepção elaborada conhecida como *Bill of Material* - BOM, cuja principal função é descrever e comunicar as ideias básicas que compõem a concepção elaborada. A Tabela 13 21 representa a BOM da Concepção 2, na qual sua estrutura foi subdividida em módulos e cada um deles caracterizado por meio de seus SSCs.

Tabela 21 – BOM inicial.

Módulos	Sistemas	Subsistemas	Componentes
Módulo 1	Fixação no Animal	Coleira e peitoral	Fivelas de fibra sintética
			Dispositivo de engate rápido
	Encaixe braço e antebraço	Envoltória do braço	Tecido Flexível de Neoprene
			Dispositivo de engate rápido
		Envoltória do antebraço	Cápsula externa de filamento polimérico com orifício para encaixe do cilindro móvel.
			Revestimento de espuma (poliuretano)
Módulo 2	Apoio do animal	Ajuste de altura	Cilindro de móvel de filamento polimérico.
			Abraçadeira de alumínio
		Pata artificial	Base em filamento polimérico com orifício para encaixe do cilindro móvel
			Sola de borracha reciclada

Fonte: Autores.

## 5.6 DETALHAMENTO INICIAL DA CONCEPÇÃO

Neste projeto foi utilizado o *Design for Manufacturing and Assembly* – DFMA, que reúne os princípios utilizados no DFM (*Design for Manufacturing*) e no DFA (*Design for Assembly*). O primeiro, também chamado de projeto para a produtividade, dedica-se ao entendimento das diferentes alternativas para a manufatura dos componentes, com a consideração de custos, qualidade e produtividade. Já o DFA considera o projeto de produto a partir da verificação de materiais, funções, formas e processo de montagem, possibilitando uma redução no tempo de montagem, do número de componentes a a simplificação dos processos de manufatura (ROZENFELD et al., 2006).

A figura 52 identifica os componentes da Concepção 2, possibilitando melhor visualização para aplicação do DFM, visto que essa técnica analisa cada peça separadamente, buscando um uso mais eficiente da geometria.

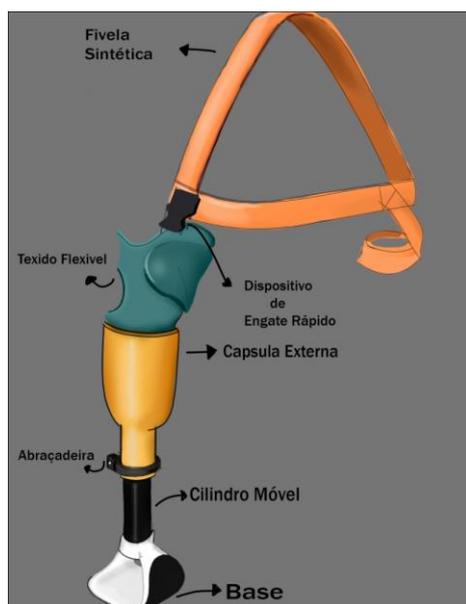


Figura 52 – Componentes da Concepção 2. Fonte: Autores.

Dada a aplicabilidade da MA na produção de dispositivos utilizados na medicina veterinária e as inúmeras vantagens deste tipo de tecnologia, elencadas na seção 2.2.4, o DFM foi direcionado à análise de possíveis técnicas de impressão 3D, bem como dos materiais utilizados nestes tipos de processo de fabricação, que poderiam ser aplicáveis na manufatura dos componentes rígidos do dispositivo, mais

precisamente da cápsula externa para encaixe do coto, do cilindro móvel e da base em contato com o solo. A decisão de utilização de filamentos poliméricos na manufatura da base só será possível após os resultados das simulações numéricas por elementos finitos, tendo em vista que esse componente deve apresentar certa flexibilidade, deformando-se a cada passada e fornecendo amortecimento necessário para um deambular confortável.

### 5.6.1 CAPSULA EXTERNA

A cápsula externa é uma estrutura em forma de taça com dois orifícios. No superior será inserido o coto e no inferior o cilindro móvel. A figura 53 revela uma evolução do conceito deste componente, inicialmente idealizado como dois cilindros vazados com diâmetros diferentes. O passo seguinte foi fornecer ao formato do cilindro superior uma estrutura mais anatômica. No terceiro estágio o cilindro superior foi substituído por uma estrutura com variação de diâmetro, sendo mais larga no topo, semelhante ao observado em próteses comerciais e visto que o coto da cadela segue este formato. Também se levou em consideração um comprimento maior do cilindro inferior para possibilitar maiores variações no ajuste da altura. Vale ressaltar que a cápsula é formada por uma estrutura única e a divisão entre cilindro superior e inferior foi adotada neste parágrafo simplesmente para facilitar a descrição da peça.

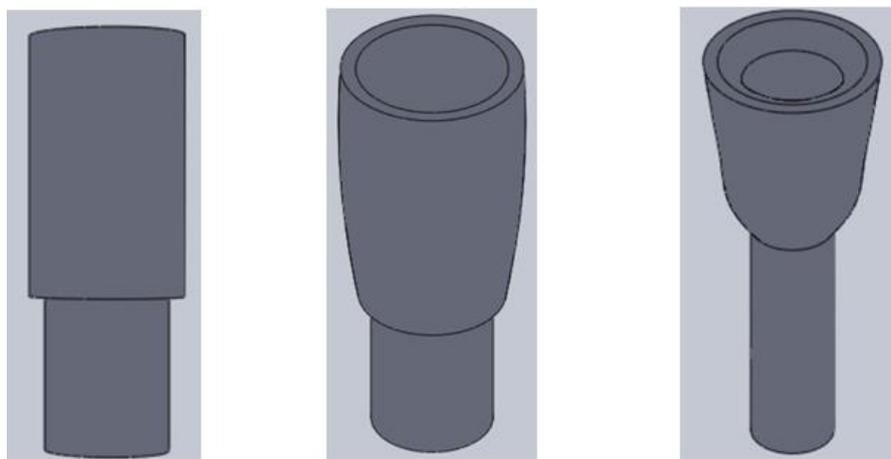


Figura 53 – Evolução do formato da Cápsula. Fonte: Autores.

### 5.6.2 BASE

A pata artificial pode ser manufaturada basicamente com dois formatos, disponíveis na figura 54. O primeiro foi inspirado nos modelos de próteses utilizadas em competições esportivas, cujo formato proporciona impulsão e amortecimento aos atletas. A outra possibilidade geométrica, semelhante à observada em próteses animais, reduz a possibilidade de que o dispositivo fique preso em algum outro objeto ou superfície durante a utilização.

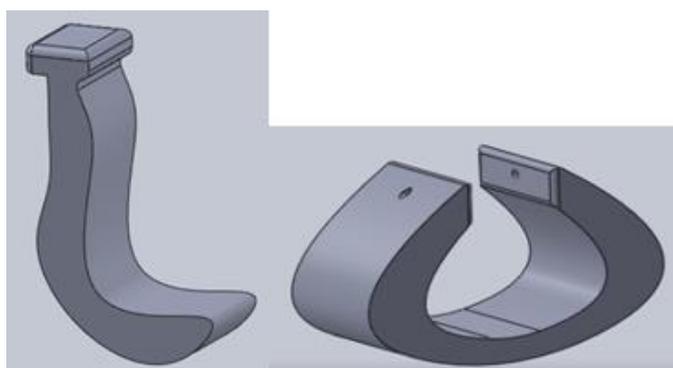


Figura 54 – Formatos iniciais para a Pata artificial. Fonte: Autores.

Conforme descrito na seção 4.3.3, dentre as técnicas de MA a FDM é o processo mais difundido, com menores custos de produção e capaz de produzir peças com grande precisão geométrica. Na mesma seção foram apresentados os materiais mais utilizados na FDM. Após verificação dos esforços atuantes na estrutura, será possível selecionar o material que melhor se enquadre aos requisitos do produto.

### 5.6.3 ABRAÇADEIRA

A abraçadeira para regulagem de altura para selim é geralmente fabricada em alumínio e encontrada em duas versões que diferem quanto ao sistema de aperto que podem ser observadas na figura 55. A primeira utiliza blocagem e a outra porca e parafuso. A alternativa com blocagem facilita ajustes de altura, já a com porca, por sua vez, possibilita um aperto mais justo e garante maior firmeza na fixação da altura. Optou-se por fabricar este componente por FDM a adaptar um dos sistemas de aperto mencionados.



Figura 55 – Sistemas de aperto da abraçadeira. Fonte: Mercado Livre®

#### 5.6.4 TECIDO FLEXÍVEL

A envoltória do braço foi idealizada como um tecido flexível, porém que deveria apresentar resistência e elasticidade, possibilitando diferentes níveis de aperto no braço. Foram verificadas diferentes alternativas de materias com essas características. A tabela 22 traz informações sobre tais alternativas, juntamente com seus respectivos custos, obtido por meio de pesquisa de mercado na empresa Mercado Livre®.

Tabela 22 – Alternativas para Tecido Flexível.

<b>Tecido</b>	<b>Custo de 1 m (R\$)</b>
Poliéster	16,88
Courino	12,9
Courvin	34,99
Kevlar	24,9
Neoprene	38,9
Nylon resinado	9,5
Fibra de Carbono	69,9

Fonte: Autores.

### 5.6.5 PEITORAL

O DFA foi aplicado com vistas a encontrar uma melhor montagem para o produto, otimizando suas formas e buscando uma redução no número de componentes. O primeiro aspecto considerado foi a configuração da coleira e peitoral. Este componente deve impedir que o animal consiga retirar o equipamento e ao mesmo tempo deve causar o mínimo desconforto possível. Verificou-se que este componente também poderia funcionar como um peitoral para passeio, possuindo local para engate de uma guia, tal qual o produto da empresa *zeedog*® mostrada na figura 56.



Figura 56 – Peitoral *zeedog*®. Fonte: *zeedog*®.

A comunicação do peitoral com a envoltória de tecido flexível deve ocorrer de forma rápida e intuitiva, o que será possível graças aos dispositivos de engate rápido, amplamente utilizados em mochilas e coleiras. Outra possibilidade para o formato do peitoral pode ser observada na figura 57 onde a utilização dos dispositivos de engate rápido foi substituída pela integração entre peitoral e envoltória flexível, unidos por costura.



Figura 57 – Peitoral unido à envoltória. Fonte: Autores.

### 5.6.6 INTERFACE ENTRE ENVOLTÓRIA E CÁPSULA

A interface entre a envoltória e a cápsula foi inicialmente imaginada como uma costura da primeira no interior da segunda. Uma alternativa mais simples seria fazer com que a envoltória envolvesse não apenas o coto, mas também a cápsula, funcionando com uma luva. Tais modificações podem ser vistas na figura 58.

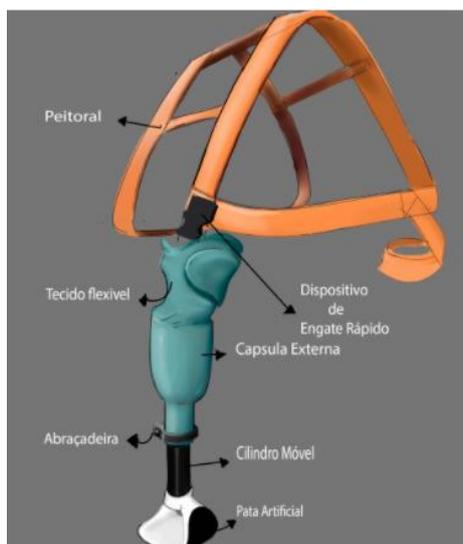


Figura 58 – Alterações na envoltória e peitoral. Fonte: Autores.

Verificou-se que seria mais conveniente que a Pata artificial fosse composta de apenas um elemento, tal qual representado na figura 59, o que seria possível dada a possibilidade de elaborar peças com formatos geométricos mais elaborados. Outro fator positivo desta alteração geométrica foi a eliminação do encaixe do Cilindro móvel com a base e a consequente redução do número de componentes.

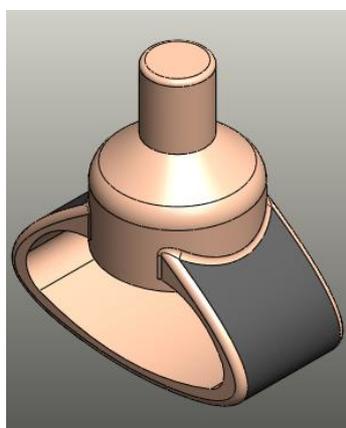


Figura 59 – Pata artificial. Fonte: Autores.

As alterações resultantes da aplicação do DFMA podem ser observadas na figura 60 que simula a cadela Estrela utilizando o dispositivo.



Figura 60 – Cadela Estrela utilizando a concepção do dispositivo. Fonte: Autores.

### 5.6.7 MODELO VIRTUAL STARWALKER – SOLIDWORKS®

A partir das considerações mencionadas no ciclo de detalhamento e com o auxílio do software Solidworks®, elaborou-se a estrutura da prótese *Starwalker*, disponível na figura 61. Vale ressaltar que somente os elementos rígidos do dispositivo estão presentes nesta representação. Os componentes flexíveis como o peitoral e a envoltória de tecido flexível, apesar de essenciais ao sucesso do projeto, não foram representados nesta etapa.



Figura 61 – *Starwalker* (elementos rígidos). Fonte: Autores.

### 5.6.8 COMPONENTES ESTRUTURAIS

A figura 62 apresenta uma vista “explodida” do modelo virtual da *Starwalker*. Cada uma das peças desempenha uma função específica que permite a correta atuação da prótese. Tais funções foram dispostas na tabela 23.

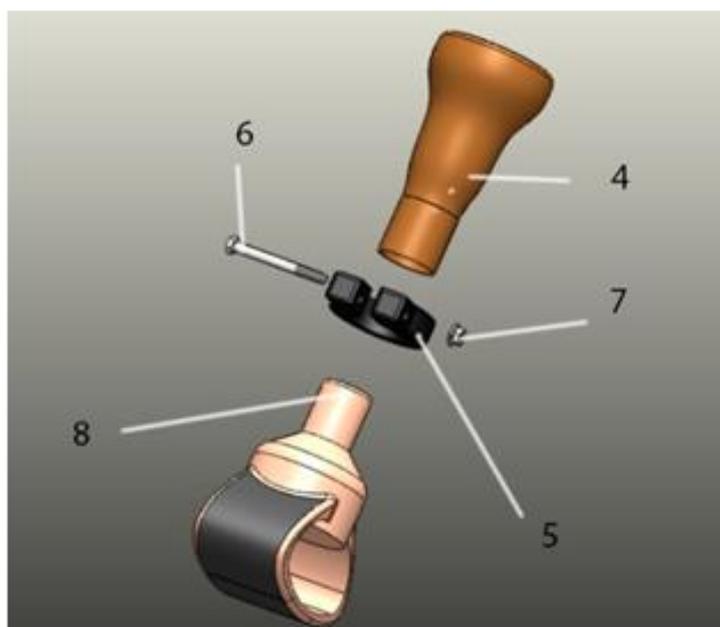
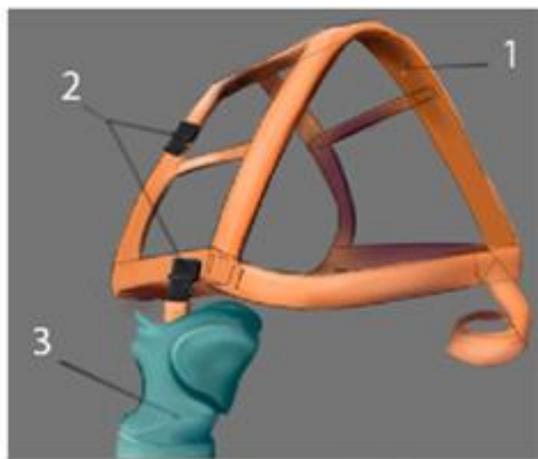


Figura 62 – Vista explodida do modelo *Starwalker*. Fonte: Autores.

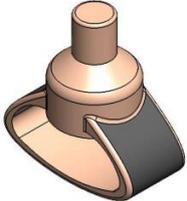
Tabela 23 – Descrição das funções dos componentes estruturais da *Starwalker*.

<b>Índica na vista explodida</b>	<b>Nome do componente</b>	<b>Função</b>
1	Peitoral	Impedir que a cadela retire o dispositivo. Também deve funcionar como um peitoral para passeio.
2	Dispositivo de engate rápido	Promover a comunicação do Peitoral com a Envoltória de tecido flexível, fornecendo uma acoplagem rápida pelo dono.
3	Envoltória de tecido flexível	Ajustar o aperto no coto e permitir a movimentação do cotovelo.
4	Cápsula	Acomodar e proteger o coto.
5	Abraçadeira	Impedir movimentações verticais do cilindro após o ajuste de altura.
6	Parafuso ISSO 4014-M5x50x16-C	Sistema de regulagem de aperto da Abraçadeira.
7	Porca ISSO – 4161 – M5 - N	Idem ao anterior.
8	Pata artificial	Ajustar a altura, promover o contato com o solo e fornecer fator de amortecimento para tornar o deambular mais confortável.

Fonte: Autores.

Os componentes rígidos podem ser observados com maiores detalhes por meio da tabela 24, que também traz informações sobre a massa, peso e material das peças, assim como da estrutura final montada. Detalhes sobre as dimensões de cada componente podem ser encontrados nos desenhos técnicos dispostos no Apêndice F.

Tabela 24 – Detalhes dos componentes rígidos.

Representação	Massa (g)	Peso (N)	Material
<p>Cápsula</p> 	62,5	0,61	ABS
<p>Abraçadeira</p> 	24,2	0,24	ABS
<p>Pata artificial</p> 	193,9	1,90	ABS

<p style="text-align: center;"><i>Starwalker</i></p> 	282	2,76	ABS
--	-----	------	-----

Fonte: Autores.

### 5.6.9 DIAGRAMAS DE CORPO LIVRE

Os esforços atuantes na estrutura da prótese foram obtidos a partir da consideração de que Abraçadeira deveria impedir que a o Cilindro Móvel se movimentasse no cenário mais crítico de carregamento. Os cálculos dos esforços atuantes podem ser encontrados no memorial de cálculo disponível no Apêndice G.

As figuras 63 a 65 representam os diagramas de corpo livre dos componentes rígidos da prótese *Starwalker*.

A força de 151 N representa a situação crítica de carregamento onde o peso corporal foi multiplicado pelos fatores de carga da caminhada, trote e um possível salto. Conforme representado na figura 63, este esforço atua na superfície interna da Cápsula em contato com o coto e sofre oposição da força de atrito existente entre esta peça e a Pata artificial. Estão representados, ainda, os esforços horizontais impostos pelo sistema de aperto da Abraçadeira.

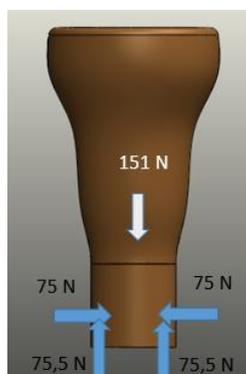


Figura 63 – DCL Cápsula. Fonte: Autores.

A figura 64 representa os esforços atuantes na Abraçadeira. A pré-carga imposta pelo sistema de aperto gera uma reação de mesmo módulo e sentido oposto, imposta pela Cápsula.

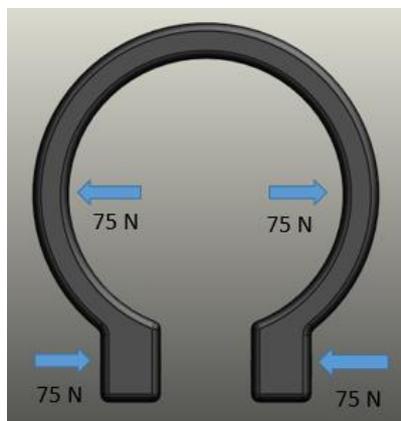


Figura 64 – DCL Abraçadeira. Fonte: Autores.

Por fim, as forças atuantes na Pata artificial foram expostas na figura 65. A força de atrito existente entre esta peça e a Cápsula é balanceada pela FRS. Já na direção horizontal a carga compressiva imposta pela Cápsula devido ao aperto da Abraçadeira se cancela devido ao formato circular.

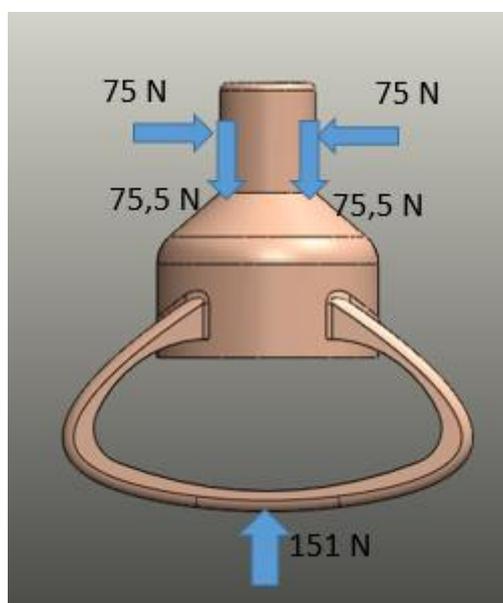


Figura 65 – DCL Pata artificial. Fonte: Autores..

Vale ressaltar que as forças horizontais, descritas como um par de 75 N, na verdade são uma força compressiva de 150 N que atua em toda a região circular das peças. Esta decisão foi tomada para simplificar o entendimento dos diagramas e

também foi tomada em relação à força de atrito, que possui um módulo total de 151 N e atua em toda região circular onde ocorre o contato entre a superfície externa da Pata artificial e a superfície interna da Cápsula, porém foi representada como um par de vetores de 75,5 N.

#### 5.6.10 ANÁLISE ESTÁTICA – ESCOAMENTO

O modelo virtual da prótese *Starwalker* foi submetido a simulações numéricas por elementos finitos com auxílio do software *Solidworks®* - versão 2017. Tal procedimento serviu para averiguar o comportamento da estrutura em situações de carregamento estático e, conseqüentemente, permitiu o dimensionamento do protótipo de forma a evitar situações de falha por escoamento, onde o material entra no regime de deformação plástica e não recupera suas dimensões originais com a retirada do carregamento. Para cada componente foram realizadas duas análises estáticas, uma baseada no modelo elástico linear, que desconsidera a alteração de rigidez, e outra no modelo elástico não-linear que observa tal modificação, influenciada basicamente pela geometria, material e contato entre componentes. Em ambas as análises foram utilizados elementos finitos do tipo tetraedro, indicados para mapear geometrias de sólidos com espessura variável (CARVALHO, 2007).

Em cada análise as seguintes tarefas foram realizadas:

- Definição do material

São especificados o tipo de modelo de deformação e as propriedades mecânicas do material.

- Inserção das condições de contorno

Etapa na qual se estabelece as restrições de movimentação e inseridas as cargas externas.

- Criação da malha

Mapeamento da estrutura sólida por meio de elementos finitos do tipo tetraedro, com definição do nível de refinamento da malha.

- Execução do estudo

Após a realização das etapas anteriores o estudo está preparado para ser executado.

Vale ressaltar as mesmas condições de contorno e malhas foram usadas nas duas simulações de cada componente.

As simulações foram efetuadas para cada componente considerando as cargas atuantes em cada um deles na condição mais crítica de carregamento que, de acordo com o trabalho de Bachman et al. (2017), ocorre quando o cão realiza o movimento de trote. Durante esta forma de movimentação, os membros frontais experimentam cargas duas vezes maiores do que as observadas durante a caminhada. No caso particular de Estrela, foi relatado que a cadela tem o costume de efetuar saltos de móveis constantemente, de modo que foi necessário considerar uma carga adicional equivalente ao dobro do carregamento observado durante o trote. Considerou-se ainda um fator de segurança 1,5, para garantir a integridade da estrutura sem que houvesse superdimensionamento de componentes, o que poderia encarecer consideravelmente o projeto.

O componente seria considerado viável contra falhas por escoamento caso a tensão máxima de Von-Misses (dado de saída da simulação) observada fosse inferior à metade da tensão de escoamento ( $S_y$ ) do polímero ABS, ou seja, menor do que 9,8 MPa.

#### **5.6.11 MODELO LINEAR ELÁSTICO**

Neste modelo houve a necessidade de criar um novo material na biblioteca do *Solidworks*® com as propriedades mecânicas requeridas. Foram especificadas informações do modelo de deformação, módulo de elasticidade, tensão de escoamento, coeficiente de Poisson, limite de resistência à tração e massa específica do polímero ABS, tal qual representado na figura 66.

Propriedades do material

Os materiais na biblioteca predeterminada não podem ser editados. Você precisa copiar o material para uma biblioteca personalizada para poder editá-lo.

Tipo de modelo:

Unidades:

Categoria:

Nome:

Critério de falha predeterminado:

Descrição:

Origem:

Sustentabilidade:

Propriedade	Valor	Unidad <sup>^</sup>
Módulo elástico	1335.9	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.32	N/A
Módulo de cisalhamento	318.9	N/mm <sup>2</sup>
Massa específica	1040	kg/m <sup>3</sup>
Resistência de tração	29	N/mm <sup>2</sup>
Resistência à compressão		N/mm <sup>2</sup>
Límite de escoamento	14.7	N/mm <sup>2</sup>

Figura 66 – Definição do material no modelo linear. Fonte: Autores.

## 5.7 ANÁLISE COMPUTACIONAL

### 5.7.1 CÁPSULA

Após a definição do material foram especificadas as condições de contorno. Considerou-se que a superfície lateral interna da Cápsula representaria uma geometria fixa por conta da inserção do membro residual. Tal restrição de movimento foi representada por elementos gráficos verdes na figura 68. Também foram representadas a força gerada pelo aperto da abraçadeira (150 N), a força de atrito existente entre a Cápsula e a Pata (150 N) e carga externa imposta pela movimentação da cadela (151 N). Estes esforços foram representados por setas rosas e podem ser observados com maiores detalhes na figura 69.

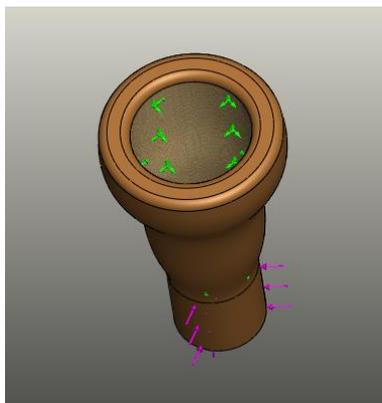


Figura 67 – Geometria fixa Cápsula. Fonte: Autores.

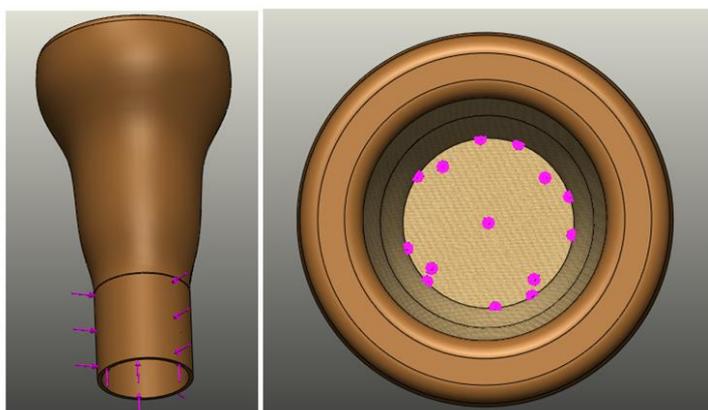


Figura 68 – Forças atuantes na Cápsula. Fonte: Autores.

Foi gerada uma malha, disponível na figura 70, composta por 33855 nós e 19824 elementos, com qualidade considerada alta pelo *software*.



Figura 69 – Malha Cápsula. Fonte: Autores.

### 5.7.2 ABRAÇADEIRA

Considerou-se que a superfície circular interna da Abraçadeira representaria uma geometria fixa por conta do contato com a Cápsula. Os elementos verdes da figura 71 informam esta restrição. Na mesma figura é representado um conector do tipo parafuso e porca, configurado para exercer uma carga axial de 150 N nas extremidades da abraçadeira.

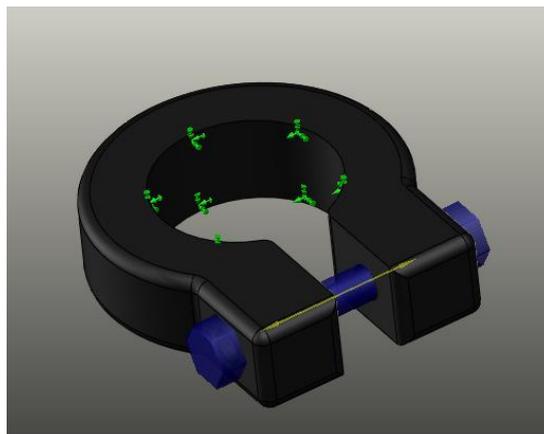


Figura 70 – Geometria fixa e conector da Abraçadeira. Fonte: Autores.

Foi gerada uma malha, disponível na figura 72, composta por 24589 nós e 15818 elementos, com qualidade considerada alta pelo *software*.

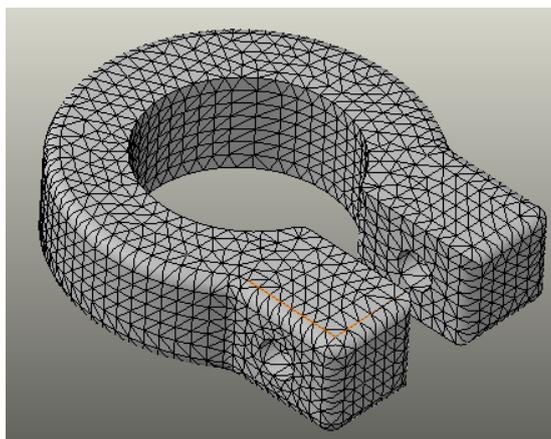


Figura 71 – Malha Abraçadeira. Fonte: Autores.

### 5.7.3 PATA

As condições de contorno utilizadas na análise se referem à restrição de movimentos imposta na superfície superior da peça, representada na figura 73 por elementos gráficos na cor verde, a FRS atuando na face em contato com o solo (151 N), o esforço empregado pela face interna da cápsula na superfície cilíndrica da pata por conta do aperto da abraçadeira (150 N) e a força de atrito existente entre Cápsula e Pata (151 N). Estes esforços foram representados por setas rosas na figura 73.

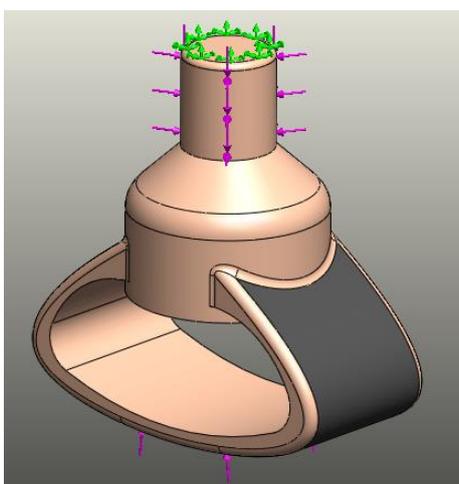


Figura 72 – Geometria fixa e forças atuantes na Pata. Fontes: os autores.

Com a utilização de elementos finitos do tipo tetraedro, indicados para mapear geometrias de sólidos com espessura variável, foi gerada uma malha, disponível na figura 74, composta por 32238 nós e 20506 elementos, cuja qualidade considerada alta pelo *software*.

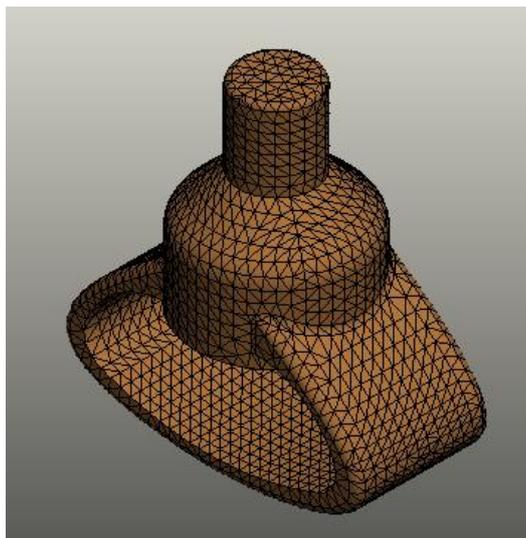


Figura 73 – Malha Pata. Fonte: Autores.

#### 5.7.4 RESULTADOS DAS ANÁLISES COMPUTACIONAIS

A tabela 25 apresenta os resultados das simulações com os valores máximos de tensão e deslocamento, resultantes das simulações lineares.

Tabela 25 – Valores máximos de tensão e deslocamento – análise linear.

<b>Componente</b>	<b>Tensão máxima (MPa)</b>	<b>Deslocamento máximo (mm)</b>
Cápsula	4,01	$6,74 \times 10^{-2}$
Abraçadeira	8,57	$5,74 \times 10^{-2}$
Pata artificial	4,51	$6,96 \times 10^{-1}$

Fonte: Autores.

Os valores disponíveis na tabela 25 também podem ser verificados nas figuras 74 a 76. A figura 74 evidencia que o ponto de maior tensão na peça, que também é o local de maior deslocamento, acontece no centro da superfície na qual a carga de movimentação da cadela é aplicada. Já a figura 75 revela que a maior tensão na Abraçadeira ocorre no local de aperto da porca e o maior deslocamento acontece nas extremidades da peça. Como pode ser observado na figura 76, os

maiores valores de tensão e deslocamento na Pata ocorrem na superfície em contato com o solo.

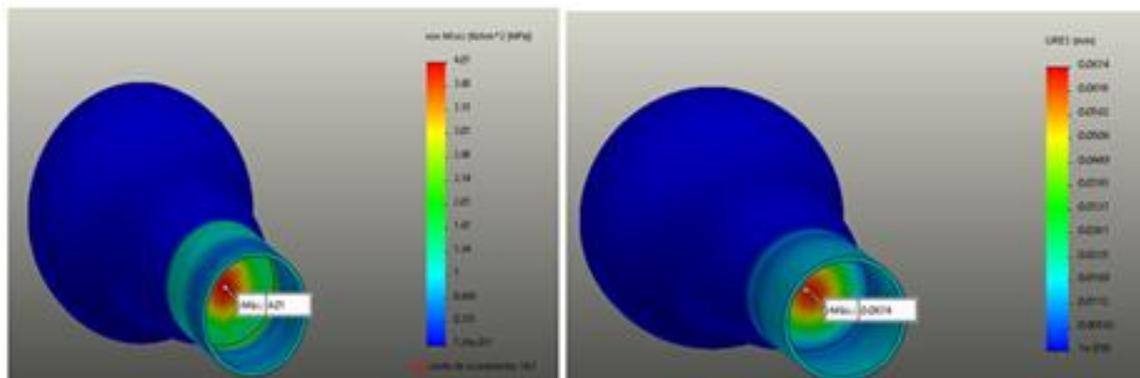


Figura 74 – Simulação linear Cápsula. Fonte: Autores.

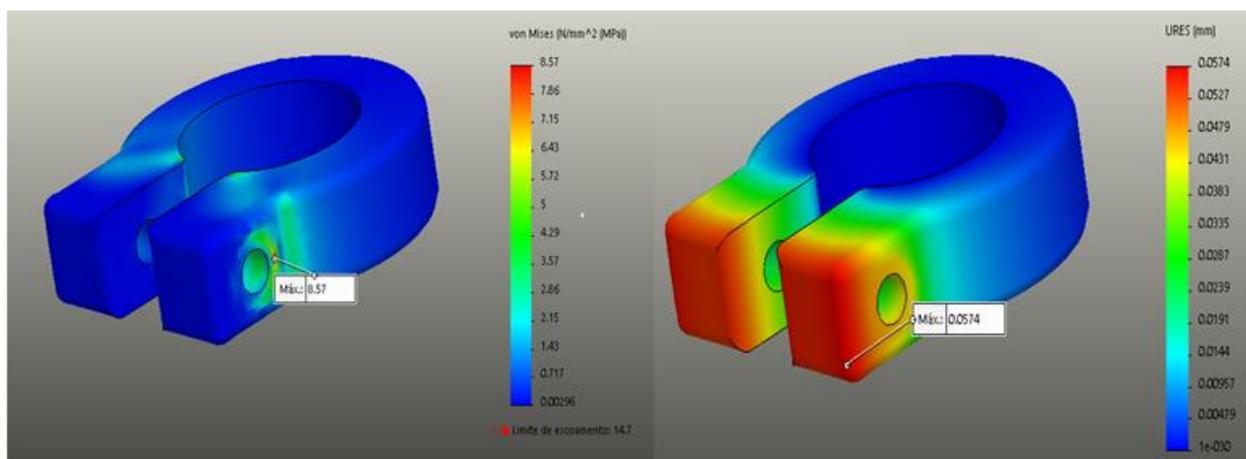


Figura 75 – Simulação linear Abraçadeira. Fonte: Autores.

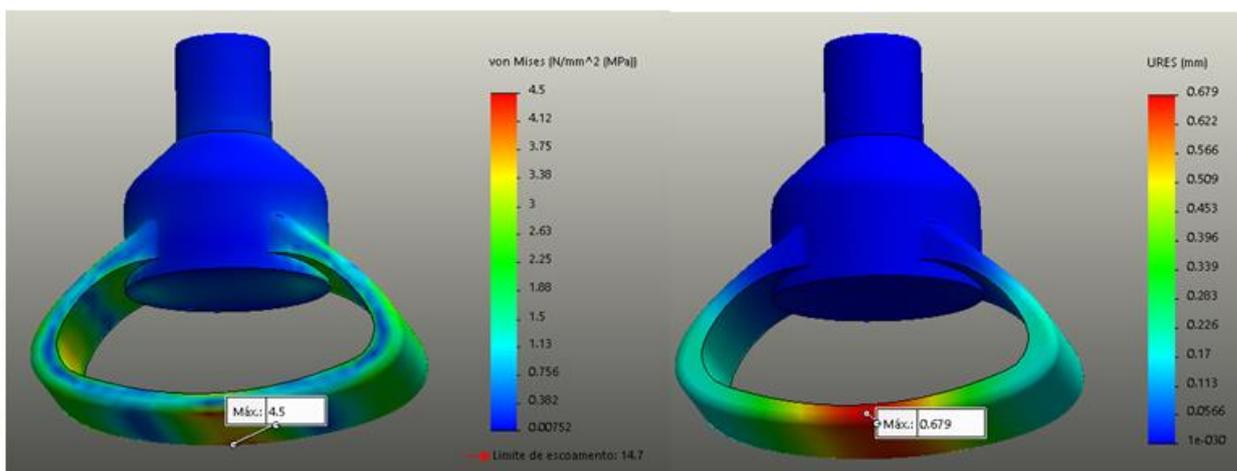
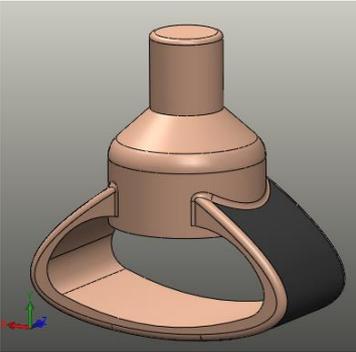


Figura 76 – Simulação linear Pata. Fonte: Autores.

Tabela 26 – Deformações nas direções cartesianas na análise linear.

 <p>Orientação dos eixos cartesianos</p>			
Componente	Deformação (mm) na direção x	Deformação (mm) na direção y	Deformação (mm) na direção z
Cápsula	$1,5 \times 10^{-3}$	$6,17 \times 10^{-4}$	$1,55 \times 10^{-3}$
Abraçadeira	$1,11 \times 10^{-3}$	$2,07 \times 10^{-3}$	$7,39 \times 10^{-4}$
Pata	$1,94 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$5,65 \times 10^{-4}$

Fonte: Autores.

### 5.7.5 MODELO FÍSICO STARWALKER

Os arquivos digitais dos componentes rígidos foram enviados à empresa Manivela®, especializada na produção de artigos impressos em 3D, para que pudessem ser manufaturados através da FDM. Solicitou-se que a construção do protótipo fosse realizada por meio da deposição de filamentos [0°/90°] tal qual indicado na figura 40. A tabela 27 foi elaborada com base nos dados fornecidos pela empresa e fornece um orçamento da impressão, com especificação da quantidade de material utilizada em cada componente.

Tabela 27 – Orçamento da empresa Manivela®.

<b>Componente</b>	<b>Quantidade de material (g)</b>	<b>Custo (R\$)</b>
Cápsula	120	80
Pata	230	150
Abraçadeira	50	25
<b>TOTAL</b>	400	255

Fonte: Autores.

O modelo físico da *Starwalker* é apresentado na figura 77. Realizou-se uma aferição da massa das peças impressas com a utilização de uma balança digital para até 10 Kg, modelo SF-400 para comparação com a massa teórica dos componentes virtuais. Estes valores foram descritos na tabela 28, que também contém o peso de cada componente e da *Starwalker* completa.



Figura 77 – Modelo físico Starwalker. Fonte: Autores.

Tabela 28 – Massa e peso do modelo físico.

<b>Componente</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>Peso (N)</b>
Cápsula	$72 \pm 1$	0,70
Pata	$161 \pm 1$	1,51
Abraçadeira	$20 \pm 1$	0,19
<i>Starwalker</i>	$253 \pm 1$	2,48

Fonte: Autores.

O molde de gesso foi inserido no modelo físico a fim de que se observasse a compatibilidade geométrica. O encaixe ocorreu sem dificuldades. Esse procedimento é mostrado na figura 78.



Figura 78 – Encaixe do molde de gesso no modelo impresso. Fonte: Autores.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O início deste projeto deu-se pela percepção da carência de dispositivos assistivos na nossa sociedade em geral, pois pouco se investe nesta classe de equipamentos. No que tange à necessidade animal, esta indisponibilidade é ainda mais profunda e pode ser constatada neste projeto, principalmente nas etapas de estudo de mercado, na qual se notou o escasso desenvolvimento de produtos assistivos para caninos.

Mesmo em meio a um cenário de grandes incertezas, com o auxílio do Processo de Desenvolvimento de Produtos foi possível reduzi-las ao seu mínimo por meio da execução de etapas de projeto validadas e do entendimento das necessidades da cadela Estrela.

### 6.1 RESULTADOS OBTIDOS

O estudo do Estado da Arte e Conceitos Fundamentais (Capítulo 2) trouxe ao presente projeto a base de conhecimentos necessários para que este pudesse ser implementado. No tocante ao estudo da Anatomia Canina, o desenvolvimento do dispositivo compreendeu aspectos relacionados à reabilitação e medicina veterinária que poderão fornecer à Estrela uma forma de locomoção semelhante à sua movimentação natural. Para isso, fez-se necessário estudar a anatomia do aparelho locomotor canino, o seu deambular e sua biomecânica. Levando em consideração o fato de a cadela Estrela possuir um membro amputado, realizou-se um estudo sobre a patomecânica e a amputação, a fim de entender como suprir as funções do membro faltante.

Dar suporte a seres com disfuncionalidades não é uma tarefa simples, desta forma buscou-se entender a aplicação de Tecnologias Assistivas com o objetivo de reunir conhecimentos e ferramentas necessárias à aplicação delas ao âmbito canino. Assim, buscou-se por soluções já existentes no mercado, tais quais as próteses de membro anterior. Sabendo que estas tem sido soluções viáveis, seguiu-se para o estudo do processo de fabricação de próteses e estudo da viabilidade da

impressão desta prótese por meio da manufatura aditiva. Feito isso, foram pesquisadas patentes relacionadas a este produto. Assim, foram adaptados os métodos baseados na integração das diretrizes do Manual de Avaliação de Tecnologia Assistiva (ATA) às metodologias amplamente empregadas no desenvolvimento de produtos.

A partir do Projeto Informacional ocorreu aplicação da metodologia proposta que desenvolveu a concepção de um dispositivo de auxílio à locomoção de caninos. O início desta fase deu-se pela avaliação dos projetos existentes para um maior conhecimento do mercado e possíveis melhorias. Nele realizou-se também um profundo entendimento das necessidades dos clientes por meio de entrevistas, questionários e utilização de ferramentas de Engenharia de Produto, tais quais: Matriz de Atributos, Diagrama de Mudge e QFD. Como resultado, obtiveram-se como os requisitos de maior importância: Força sobre o membro remanescente, Postura do Animal e Custo do Produto. Ao término desta fase de execução do projeto, obtiveram-se as Especificações-Meta, valores norteadores que serviram de parâmetros ao Projeto Conceitual.

Na etapa seguinte, Projeto Conceitual, ocorreu a concepção do produto a partir da definição das funções que este deveria desempenhar, tais quais: Encaixar-se no Coto, Regular aperto e Prender-se ao membro. Para dar materialidade a estas funções foram indicados princípios de soluções cujas combinações formaram 3 concepções de produto a serem previamente detalhadas nas fases posteriores do projeto. Tais concepções foram avaliadas quanto aos requisitos de produto e, para a melhor pontuada, foi elaborada uma descrição inicial de seus Sistemas, Subsistemas e Componentes. A seguir foram aplicadas técnicas de subsídio às decisões de projeto (DFMA), com vistas à otimização dos processos de manufatura e montagem.

As etapas finais foram baseadas na aferição dos esforços atuantes no mecanismo e verificação da possibilidade de utilização de filamentos poliméricos na estrutura dos componentes rígidos após o dimensionamento contra falhas por escoamento. Como resultado das simulações, as tensões observadas estiveram abaixo do limite de escoamento do ABS, inclusive atendendo ao fator de segurança adotado para o projeto e as deformações encontradas estão na região elástica, dada

pelo comportamento linear da curva tensão x deformação do material (figura 67), conclui-se que a análise elástica linear é suficiente para simular a situação-problema.

O modelo físico *Starwalker* é muito bem balanceado, equilibrando-se facilmente na posição vertical sem necessidade de apoios. Ele também retorna à posição de equilíbrio quando submetido a pequenos esforços laterais. Os componentes podem ser encaixados facilmente, característica da elevada precisão geométrica das peças manufaturadas por FDM. O sistema de ajuste de altura funciona adequadamente, assim como o de aperto, permitindo variações na altura e fixação na posição adequada. A peça Pata é mais rígida do que o esperado e a característica amortecedora desejada para tornar o deambular de Estrela mais confortável não foi observada. O modelo físico é aproximadamente 10% mais leve do que o previsto pelo modelo virtual. O molde de gesso encaixou facilmente no modelo impresso, o que indica que o coto será acomodado de forma adequada após o preenchimento das superfícies laterais internas da cápsula com revestimento. O objetivo principal deste trabalho foi alcançado pois a prótese *Starwalker* representa um protótipo de dispositivo que, apesar de apresentar vários pontos nos quais precisa ser otimizado, é uma alternativa de baixo custo que leva em consideração as características anatômicas da cadela Estrela e pode auxiliar em sua locomoção, elevando sua qualidade de vida.

## 6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o objetivo de estender os conceitos abordados neste trabalho, são listadas a seguir algumas propostas para trabalhos futuros:

- Diminuir o número de partes da *Starwalker*;
- Otimizar o sistema de amortecimento da *Starwalker*;
- Desenvolver um modelo de negócio para venda desta prótese a cães com membros amputados;

- Realizar experimento de aplicação de força em laboratório para verificar qual das duas análises computacionais, linear ou não-linear, melhor representa o comportamento do modelo físico;
- Realizar estudo de Fadiga para avaliar o comportamento do dispositivo frente a esforços cíclicos; e
- Avaliar a melhoria proporcionada por dispositivos assistivos na qualidade de vida de cães acometidos por deficiências locomotoras.

## 7 REFERÊNCIAS

ABINPET. Mercado Pet Brasil, 2019. Disponível em: <<http://abinpet.org.br/mercado/>>.

ADAMSON, C. E. A. Assistive devices, orthotics, and prosthetics. *Veterinary Clinics: Small Animal Practice*, 2005. 1441-1451.

ALBERT M. COOK, JANICE M. POLGAR. *Assistive Technologies: Principles and Practice*. 4ª. ed. London: Elsevier, 2015.

ANDA. Brasil tem 30 milhões de animais abandonados, 2013. Disponível em: <<https://anda.jusbrasil.com.br/noticias/100681698/brasil-tem-30-milhoes-de-animais-abandonados>>

ANIMALORTHOCARE. Instagram, Fevereiro 2019. Disponível em: <<https://www.instagram.com/p/BtZmgbIhjwM/>>.

Autor Desconhecido. Prótese de pata, 1975. Disponível em: <<https://worldwide.espacenet.com/patent/>, pesquisando-se por: JPS5031759B1>.

BACHMAN, N et al. Design of a Prosthesis for Canines with Front Limb Deformities. Worcester. 2017.

BASTIAN, N. C. Distribuição de Força Estática em Cães com Membros Amputados. Santa Maria/RS. 2013.

BAUER, T. Moléstias mediastínicas, pleurais e extrapleurais. In: ETTINGER, S. J. Tratado de medicina interna veterinária. São Paulo: Manole, 1992. p. 908-941.

BERSCH, R. Introdução à tecnologia assistiva. Porto Alegre: CEDI, 2008.

BOMBONATO, P.; MORAES, V. V.; OLIVEIRA, M. A. R. G. Biomecânica canina. In: MIKAIL, S.; PEDRO, C. R. Fisioterapia veterinária. São Paulo: Manole, 2005. Cap. 2, p. 13-17.

BORGHESE, I. Assistive devices, orthotics, prosthetics, and bandaging. In: MIKAIL, S.; PEDRO, C. R. Canine sports medicine and rehabilitation. [S.l.]: John Wiley e Sons, 2013. Cap. 11, p. 201-222.

CÃES COM DEFICIÊNCIA NÃO CONSEGUEM ADOÇÃO. CORREIO POPULAR, 21 Maio 2019. Disponível em: <[http://correio.rac.com.br/\\_conteudo/2015/10/especial\\_correio/coisa\\_de\\_bicho/395192-caes-com-deficiencia-nao-conseguem-adocao-em-campinas.html](http://correio.rac.com.br/_conteudo/2015/10/especial_correio/coisa_de_bicho/395192-caes-com-deficiencia-nao-conseguem-adocao-em-campinas.html)>.

CARVALHO, J. A. Amputação de Membros Inferiores: em busca da plena reabilitação. São Paulo: Manole, 2002.

CGTJD, C. Caracterización mecánica de materiales termoplásticos de uso en componentes de refrigeradores. 3º Congreso Internacional en Ciencia Y Tecnología de Metalurgia Y Materiales. Argentina: [s.n.]. 2003. p. 298-301.

CHUANZONG, C. Membro artificial da pata dianteira do cão, maio de 2015. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com/patent/>, pesquisando-se por: CN204293314U

Conheça os diferentes materiais para impressão 3D FDM. Impressão 3D Fácil, 5 Outubro 2016. Disponível em: <<http://www.impressao3dfacil.com.br/coneca-os-diferentes-tipos-de-materiais-para-impressao-3d-fdm/>>.

CRENSHAW, A. H. Amputações. In: CRENSHAW, A. H. Cirurgia ortopédica de Campbell. São Paulo: Manole, 1996. p. 400-600.

CROUCILLO, A. P. D. R. et al. Avaliação das características do pla, impressa em 3d, para aplicação em próteses de animais de pequeno e médio porte. ABM WEEK 2017. SÃO PAULO: [s.n.]. 2017.

DECAMP, C. E. Kinetic and Linematic Gait Analysis and the Assessment of Lameness in the Dog. In: Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice. [S.l.]: [s.n.], 1997. p. 825-841.

DINIZ-GAMA, E. J. Perfil Clínico dos Animais e Funcionalidade do Uso do Aparelho de Fisioterapia Veterinária (Modelos Vetcar) na Reabilitação de Cães e Gatos Acometidos por Dificuldades de Locomoção. Botucatu/SP. 2007.

EPO. Espacenet patent search, 22 de Maio de 2020. Disponível em: <https://www.epo.org/searching-for-patents/technical/espacenet.html>.

EUGÊNIO, F. D. R. Semiologia do Sistema Locomotor de Cães e Gatos. In: FEITOSA, F. L. F. Semiologia Veterinária: A Arte do Diagnóstico. [S.l.]: Roca, 2014. p. 610 - 639.

FOOD, C. V. Cães & Gatos VET FOOD, 5 nov. 2018. Disponível em: <http://www.caesegatos.com.br/pr-teses-devem-priorizar-funcionalidade-e-bem-estar-dos-animais>.

FEDERICI, Stefano; SCHERER, Marcia (Ed.). Assistive technology assessment handbook. CRC press, 2012

G., T. User's guide to rapid prototyping. Dearborn: Society of Manufacturing Engineers, 2004.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. [S.l.]: Editora Atlas SA, 2008.

GORNI, A. A. Introdução à Prototipagem Rápida e Seus Processos. Plástico Industrial, p. 230-239, 2001.

MONTAGEM DA CADEIRA DE RODAS PARA CÃES E GATOS - PASSO A PASSO. CATRAKA, Junho 2019. Disponível em: [http://www.catraka.com/cadeirinha/Passo\\_a\\_passo-montagem\\_da\\_cadeira\\_de\\_rodas.pdf](http://www.catraka.com/cadeirinha/Passo_a_passo-montagem_da_cadeira_de_rodas.pdf).

HOLLIER, S.; ABOU-ZAHRA, S. Internet of things (IoT) as assistive technology: Potential applications in tertiary education.. Proceedings of the Internet of Accessible Things. ACM, , 2018. 3.

IIDA, I. Ergonomia: Projeto e Produção. 2. ed. [S.l.]: Blucher, 2005.

INPI. Estrutura do Instituto Nacional da Propriedade Industrial, 22 de maio de 2019. Disponível em: <<http://antigo.inpi.gov.br/sobre/estrutura>>.

KAUFMANN, M. W. 1º Curso Internacional de Biomecânica Orthopets Brazil. São Paulo: [s.n.]. 2016.

KIRPENSTEIJN, J. Ground reaction force analysis of large breed dogs when walking after amputation of a limb. Veterinary record, v. 146, p. 155-159, 2000.

KÖNIG, H. E. et al. Introdução e Anatomia Geral. In: KÖNIG, H. E.; LIEBICH, H.-G. Anatomia dos Animais Domésticos: texto e atlas colorido. [S.l.]: artmed, 2016. p. 1-50.

KÖNIG, H. E.; LIEBICH, H.-G.; MAIERL, J. Membros Pélvicos ou Posteriores (Membra Pelvina). In: KÖNIG, H. E.; LIEBICH, H.-G. Anatomia dos Animais Domésticos: Texto e Atlas Colorido. [S.l.]: artmed, 2016. p. 223-288.

LAGE, M. H. H. et al. APLICAÇÃO DE CONCEITOS DE BIOMECÂNICA NA CONFECÇÃO DE PRÓTESES PARA CÃES. ENEBI 2018 - 6º Encontro Nacional de Engenharia Biomecânica. Aguas de Lindóia: [s.n.]. 2018.

LAGE, M. H. H.; LAMOUNIER, A. R.; PERTENCE, A. E. M. Desenvolvimento de uma metodologia de fabricação de próteses e órteses para cães. XXV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica - CBEB 2016. Belo Horizonte: [s.n.]. 2016

LEITE, G. A. Modelagem conceitual de um biossensor para detecção de aflatoxina em castanha-do-brasil, 2014.

LEONARD, E. P. Amputations. In: LEONARD, E. P. Orthopedic surgery of the dog and cat. Saunders: Philadelphia, 1971. p. 278-287.

LIANZA, S. Medicina da Reabilitação. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.

LIEBICH, H.-G.; KÖNIG, H. E.; MAIERL, J. Membros Torácicos ou Anteriores (Membra Thoracica). In: LIEBICH, H.-G.; KÖNIG, H. E. Anatomia dos Animais Domésticos: Texto e Atlas Colorido. [S.l.]: artmed, 2016. p. 151-222.

MARCELLIN-LITTLE, D. J.; DRUM, M. G.; LEVINE, D. Orthoses and Exoprostheses for Companion Animals, 2015. 167-183.

MICH, P. M. The Emerging Role of Veterinary Orthotics and Prosthetics (V-OP) in Small Animal Rehabilitation and Pain Management. Topics in Companion Animal Medicine, March 2014. 10-19.

MICH, P. M.; KAUFMANN, M. Canine Sports Medicine and Rehabilitation. 2. ed. Wheat Ridge: Elsevier, 2018. 265-293 p.

MIRANDA, A. Aparelho Locomotor de Cães e Gatos. Recife. 2015.

MONTAGEM DA CADEIRA DE RODAS PARA CÃES E GATOS - PASSO A PASSO. CATRAKA, Junho 2019. Disponível em: <[http://www.catraka.com/cadeirinha/Passo\\_a\\_passo-montagem\\_da\\_cadeira\\_de\\_rodas.pdf](http://www.catraka.com/cadeirinha/Passo_a_passo-montagem_da_cadeira_de_rodas.pdf)>.

NEUMANN, B. Being prosthetic in the first world war and Weimar Germany.. Body & Society, v. 16, n. 3, 2010. 93-126.

NISHIMURA, P. L. G. Diretrizes para o Design de Dispositivo para Animais com Problemas de Locomoção com uso da Prototipagem Rápida. Bauru. 2018.

ORTOLAN, R. L. Tendências em Biomecânica Ortopédia Aplicadas à Reabilitação. Acta Ortopédica Brasileira, Julho 2001. 44-58.

PAHL, G.; BEITZ, W. Engineering design: a systematic approach. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2007.

PHOTOS for Animal Ortho Care. YELP, Junho 2019. Disponível em: <[https://www.yelp.com/biz\\_photos/animal-ortho-care-sterling](https://www.yelp.com/biz_photos/animal-ortho-care-sterling)>.

ROSEN, E. The invention of eyeglasses.. Journal of the history of medicine and allied sciences, v. 11, n. 1, 1956. 13-46.

ROZENFELD, H.; AMARAL, D. C. Gestão de Projetos em Desenvolvimento de Produtos. São Paulo: Saraiva, 2006.

RUIQING, D. D.-s. Membro artificial para pug com deficiência nos membros traseiros, fevereiro de 2018.

SILVA, G. C. D. A. E. Análise Cinemática da marcha de cães da raça Golden Retriever saudáveis. São Paulo. 2006.

SHIGLEY, Joseph E., Mischke, C. R. e Budynas, R. G., Projeto de Engenharia Mecânica, Bookman, Porto Alegre, 2005.

STONE, E. A. Amputation. In: NEWTON, C. D.; NUNAMAKER, D. M. Textbook of small animal orthopaedics. [S.l.]: Lippincot Williams and Wilkins, 1985.

PUGH, S. Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering. Addison-Wesley, 1991.

TANDON, R.; GUPTA, S.; AGARWAL, S. K. Denture base materials: From past to future. Indian J Dent Sci, v. 2, n. 2, 2010. 33-39.

VOLPATO, N. Prototipagem Rápida: tecnologias e aplicações. São Paulo: Blücher, 2007.

WEIGEL, J. P. et al. Biomechanics of joint. In: Veterinary Clinics of North American: Small Animal Practice. [S.l.]: Saunders, 2005. p. 1255-1287.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – ENTREVISTA COM MÉDICA VETERINÁRIA, PROPRIETÁRIA DA ESTRELA.

#### **Em quais casos a amputação de membros é indicada para caninos?**

Geralmente quando o animal apresenta processos cancerígenos avançados, tais como ósteossarcoma ou condrosarcoma. Existem ainda casos em que, devido a um trauma severo, o membro perde sua funcionalidade.

#### **Quais as maiores dificuldades enfrentadas por um cão amputado?**

Quase todos os cachorros se adaptam muito bem à amputação de um dos membros. Na maioria das vezes as dificuldades se encontram nas mentes dos próprios proprietários, que imaginam que o animal não poderá ser capaz de viver normalmente nesta situação.

#### **A amputação sobrecarrega os membros saudáveis?**

Sim. Por isso existe a necessidade de fazermos um controle nutricional para que o peso do animal se mantenha entre níveis adequados. Alguns ortopedistas indicam a utilização de condroprotetor. Existe também a necessidade de restringir atividades como subir em móveis.

#### **Animais nesta situação geram maiores custos para os seus proprietários?**

Eles não representam uma elevação considerável nos custos para o proprietário, entretanto exigem destes um maior controle. A Estrela, por exemplo, tem que ser medicada com condroprotetor e também evitamos que ela escale móveis. O custo maior é esse, o da atenção. No aspecto financeiro não existe tanta diferença.

#### **O que é este condroprotetor?**

É um comprimido destinado a proteger as articulações que, geralmente, é utilizado por cães mais idosos.

**A Estrela já apresentou algum quadro de dor?**

Sim. Ela teve um episódio de fortes dores no pescoço. Depois disso tivemos que restringir muito seus movimentos no intuito de reduzir impactos.

**Estrela precisou realizar algum tratamento para o controle destas dores no pescoço?**

Depois da realização de uma tomografia que constatou a presença de um processo inflamatório, ela foi submetida a tratamentos de acupuntura, bem como medicações analgésicas. Hoje em dia ela realiza uma sessão de acupuntura por mês, além da aplicação habitual de condroprotetor.

**Qual o impacto que a utilização de um dispositivo de auxílio à locomoção teria na vida da Estrela?**

Eu acredito que ela seria extremamente beneficiada. Já procurei algumas opções, mas aqui em Brasília só encontrei cadeirinhas que não são aplicáveis no caso da Estrela, visto que ela possui a pata esquerda em perfeitas condições. Encontrei algumas opções de próteses em São Paulo, mas o fabricante exigia alguns procedimentos que acabaram me desanimando.

A melhor opção para a Estrela seria uma prótese de encaixe para um único membro. Vocês poderão observar que ela possui uma atrofia na articulação do ombro causada pelo esforço excessivo de suportar o peso em uma única pata. Isso faz com que ela fique cansada e o tronco fique muito caído.

**Você, como proprietária, estaria disposta a pagar por este dispositivo?**

Sim. Eu pagaria porque seria um investimento para melhorar a qualidade de vida dela.

**Como mensurar a qualidade de vida de um cão?**

Nós medimos a qualidade de vida de acordo com a interação do cão. Podemos usar a Estrela como exemplo. Ela sempre foi muito agitada e interagiu muito com as pessoas da casa. Quando ela apresentou o quadro de dor no pescoço, começou a se comportar de forma diferente do habitual, mais quieta. Também

avaliamos se o cão está se alimentando normalmente, outro indicativo muito importante de sua qualidade de vida.

**Caso estes dispositivos estivessem disponíveis no mercado, quais as características mais importantes você buscaria nestes produtos?**

O conforto e a praticidade de acoplagem. Não me importaria com a beleza do produto.

**Existe algum tipo de material que provoca alguma reação na Estrela?**

Ela costuma ter reação alérgica quando entra em contato com esparadrapo.

**Quais as formas de identificar se um cão está sentindo dor?**

Depende muito do animal. Alguns choram, gritam, outros se mantêm totalmente parados. Existem, ainda, os que apresentam tremores. Mas eles sempre apresentam um comportamento diferente do normal.

**Você já atendeu algum cão usuário de prótese aqui na clínica?**

Não, prótese não. Já atendi alguns que utilizavam cadeirinhas.

**Sabe informar se a utilização da cadeirinha é um processo de fácil adaptação?**

É sim, o cão se adapta muito rápido. O que geralmente precisa ser adaptado é o ambiente. A acessibilidade é essencial para a utilização destes produtos. A cadeirinha não funciona em qualquer terreno e existe a necessidade de o tutor sempre acompanhar o animal durante o uso para evitar acidentes. Também nunca vi um cachorro que utiliza a cadeirinha o tempo todo.

## APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO ATA ADAPTADO PARA ANIMAIS.

### 2. b1. FUNÇÕES MENTAIS \*

*Marcar apenas uma oval por linha.*

	5. Extremamente Relevante	4. Muito relevante	3. Relevante	2. Pouco relevante	1. Não relevante
b110 Consciência	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b114 Orientação (tempo, lugar, pessoa)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b117 Funções intelectuais (incl. Retardo mental, demência)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b130 Funções da energia e de impulsos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b134 Sono	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b140 Atenção	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b144 Memória	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b152 Funções emocionais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b156 Funções da percepção	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b164 Funções cognitivas superiores	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b167 Funções mentais da linguagem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 3. b2. FUNÇÕES SENSORIAIS E DOR \*

Marcar apenas uma oval por linha.

	5. Extremamente Relevante	4. Muito relevante	3. Relevante	2. Pouco relevante	1. Não relevante
b210 Visão	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b230 Audição	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b235 Vestibular (incl. Funções de equilíbrio)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b280 Dor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 4. b3. FUNÇÕES DA VOZ E DA FALA \*

Marcar apenas uma oval por linha.

	5. Extremamente Relevante	4. Muito relevante	3. Relevante	2. Pouco relevante	1. Não relevante
b310 Voz	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 5. b4. FUNÇÕES DOS SISTEMAS CARDIOVASCULAR, HEMATOLÓGICO, IMUNOLÓGICO E RESPIRATÓRIO \*

Marcar apenas uma oval por linha.

	5. Extremamente Relevante	4. Muito relevante	3. Relevante	2. Pouco relevante	1. Não relevante
b410 Coração	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b420 Pressão sanguínea	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b430 Hematológico (sangue)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b435 Imunológico (alergias, hipersensibilidade)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b440 Respiração	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 7. b6. FUNÇÕES GENITURINÁRIAS E REPRODUTIVAS \*

Marcar apenas uma oval por linha.

	5. Extremamente Relevante	4. Muito relevante	3. Relevante	2. Pouco relevante	1. Não relevante
b620 Funções urinárias	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b640 Funções sexuais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 8. b7.FUNÇÕES NEUROMUSCULOESQUELÉTICAS E RELACIONADAS AO MOVIMENTO \*

Marcar apenas uma oval por linha.

	5. Extremamente Relevante	4. Muito relevante	3. Relevante	2. Pouco relevante	1. Não relevante
b710 Mobilidade das articulações	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b730 Força muscular	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b735 Tônus muscular	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b765 Movimentos involuntários	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 9. b8. FUNÇÕES DA PELE E ESTRUTURAS RELACIONADAS \*

Marcar apenas uma oval.

5. Extremamente Relevante
4. Muito relevante
3. Relevante
2. Pouco relevante
1. Não relevante

## 10. Observações, dúvidas ou correções?

---



---



---



---

**Parte 1 b: DEFICIÊNCIAS DAS  
ESTRUTURAS DO CORPO**

- Estruturas do Corpo são partes anatômicas do corpo tais como órgãos, membros e seus componentes.
- Deficiências são problemas na estrutura do corpo como desvio ou perda significativa.

**Lista Resumida das Estruturas do Corpo**

## 11. s1. ESTRUTURA DO SISTEMA NERVOSO \*

Marcar apenas uma oval por linha.

	5. Extremamente Relevante	4. Muito relevante	3. Relevante	2. Pouco relevante	1. Não relevante
s110 Cérebro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
s120 Medula espinhal e nervos periféricos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 12. s2. OLHO, OUVIDO E ESTRUTURAS RELACIONADAS \*

Marcar apenas uma oval.

5. Extremamente Relevante
4. Muito relevante
3. Relevante
2. Pouco relevante
1. Não relevante

## 13. s3. ESTRUTURAS RELACIONADAS A VOZ E FALA \*

*Marcar apenas uma oval.*

5. Extremamente Relevante
4. Muito relevante
3. Relevante
2. Pouco relevante
1. Não relevante

## 14. s4. ESTRUTURAS DOS SISTEMAS CARDIOVASCULAR, IMUNOLÓGICO E RESPIRATÓRIO \*

*Marcar apenas uma oval por linha.*

	5. Extremamente Relevante	4. Muito relevante	3. Relevante	2. Pouco relevante	1. Não relevante
s410 Sistema cardiovascular	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
s430 Sistema respiratório	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 15. s5. ESTRUTURAS RELACIONADAS AOS SISTEMAS DIGESTIVO, METABÓLICO E ENDÓCRINO \*

*Marcar apenas uma oval.*

5. Extremamente Relevante
4. Muito relevante
3. Relevante
2. Pouco relevante
1. Não relevante

## 16. s6. ESTRUTURAS RELACIONADAS AO SISTEMA GENITURINÁRIO E REPRODUTIVO \*

Marcar apenas uma oval por linha.

	5. Extremamente Relevante	4. Muito relevante	3. Relevante	2. Pouco relevante	1. Não relevante
s610 Sistema urinário	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
s630 Sistema reprodutivo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 17. s7. ESTRUTURAS RELACIONADAS AO MOVIMENTO \*

Marcar apenas uma oval por linha.

	5. Extremamente Relevante	4. Muito relevante	3. Relevante	2. Pouco relevante	1. Não relevante
s710 Região de cabeça e pescoço	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
s720 Região de ombro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
s730 Extremidade superior (braço, mão)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
s740 Pelve	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
s750 Extremidade inferior (perna, pé)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
s760 Tronco	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 18. s8. PELE E ESTRUTURAS RELACIONADAS \*

Marcar apenas uma oval.

5. Extremamente Relevante
4. Muito relevante
3. Relevante
2. Pouco relevante
1. Não relevante

## 19. Observações, dúvidas ou correções?

---



---



---



---



---

**PARTE  
2:LIMITAÇÕES DE  
ATIVIDADES E  
RESTRIÇÃO À  
PARTICIPAÇÃO**

- Atividade é a execução de uma tarefa ou ação por um indivíduo. Participação é o ato de se envolver em uma situação vital.
- Limitações de atividade são dificuldades que o indivíduo pode ter para executar uma atividade. Restrições à participação são problemas que um indivíduo pode enfrentar ao se envolver em situações vitais.

## Lista Resumida dos domínios de A&amp;P

## 20. d1. APRENDIZAGEM E APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO \*

Marcar apenas uma oval por linha.

	5. Extremamente Relevante	4. Muito relevante	3. Relevante	2. Pouco relevante	1. Não relevante
d110 Observar/assistir	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
d115 Ouvir	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 21. d2. TAREFAS E DEMANDAS GERAIS \*

Marcar apenas uma oval por linha.

	5. Extremamente Relevante	4. Muito relevante	3. Relevante	2. Pouco relevante	1. Não relevante
d210 Realizar uma única tarefa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
d220 Realizar tarefas múltiplas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 22. d3. COMUNICAÇÃO \*

Marcar apenas uma oval por linha.

	5. Extremamente Relevante	4. Muito relevante	3. Relevante	2. Pouco relevante	1. Não relevante
d310 Comunicação – recepção de mensagens verbais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 23. d4. MOBILIDADE \*

Marcar apenas uma oval por linha.

	5. Extremamente Relevante	4. Muito relevante	3. Relevante	2. Pouco relevante	1. Não relevante
d450 Andar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
d465 Deslocar-se utilizando algum tipo de equipamento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 24. d5. CUIDADO PESSOAL \*

Marcar apenas uma oval por linha.

	5. Extremamente Relevante	4. Muito relevante	3. Relevante	2. Pouco relevante	1. Não relevante
d510 Lavar-se (banhar-se,secar-se, lavar as mãos, etc)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
d520 Cuidado das partes do corpo(escovar os dentes, barbear- se,etc.)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
d550 Comer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
d560 Beber	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
d570 Cuidar da própria saúde	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 25. d7. RELAÇÕES E INTERAÇÕES INTERPESSOAIS \*

Marcar apenas uma oval por linha.

	5. Extremamente Relevante	4. Muito relevante	3. Relevante	2. Pouco relevante	1. Não relevante
d760 Relações familiares	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 26. Observações, dúvidas ou correções?

---



---



---



---



---

## 27. e1. PRODUTOS E TECNOLOGIA \*

Marcar apenas uma oval por linha.

	5. Extremamente Relevante	4. Muito relevante	3. Relevante	2. Pouco relevante	1. Não relevante
d910 Vida comunitária	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
d920 Recreação e lazer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 28. e2. AMBIENTE NATURAL E MUDANÇAS AMBIENTAIS \*

Marcar apenas uma oval por linha.

	5. Extremamente Relevante	4. Muito relevante	3. Relevante	2. Pouco relevante	1. Não relevante
e225 Clima	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
e240 Luz	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
e250 Som	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 29. Observações, dúvidas ou correções?

---



---



---



---

## APÊNDICE C – DIAGRAMA DE MUDGE.

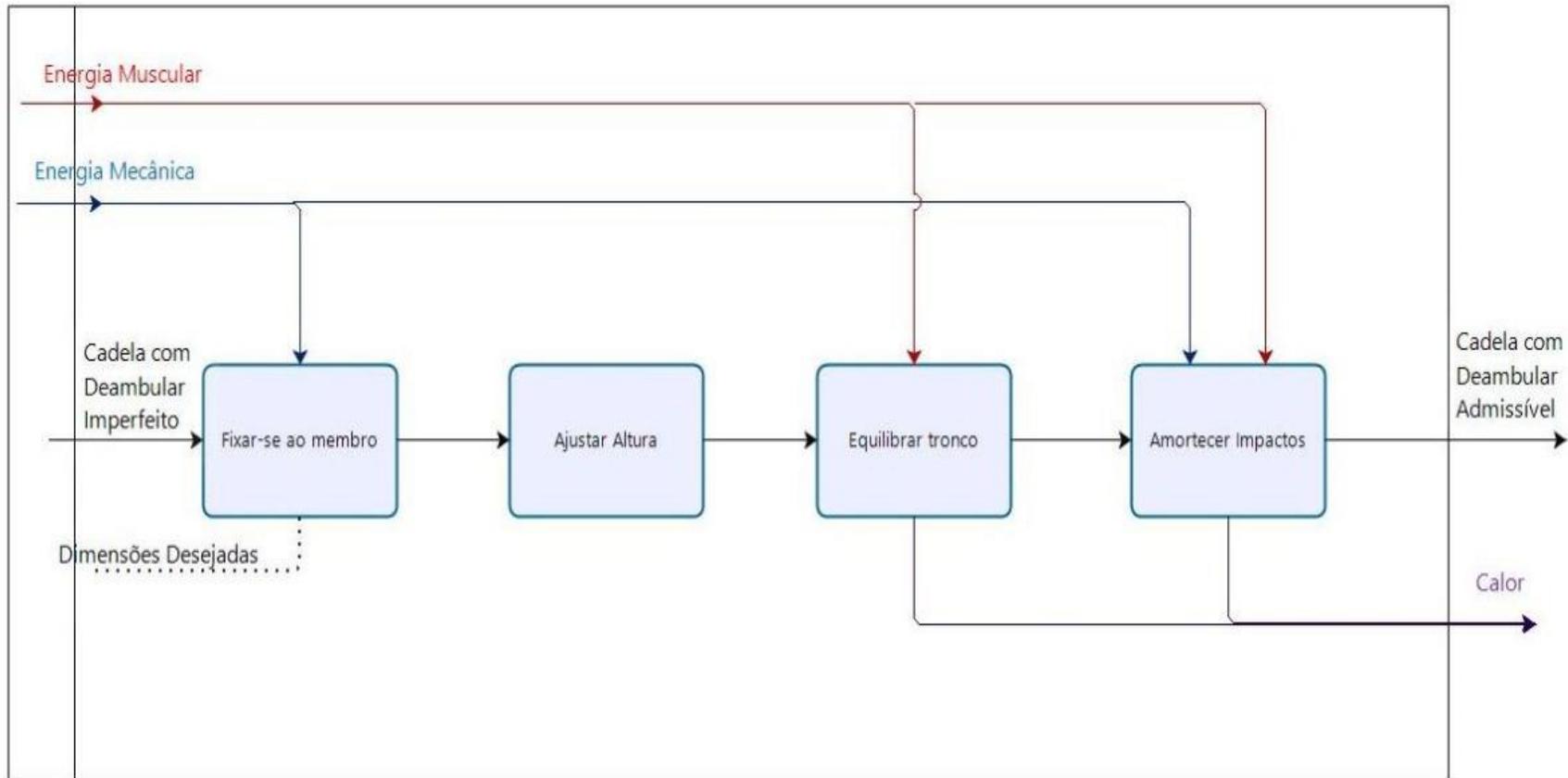
	Ter bom desenho mecânico. (B)	Ter baixo custo. (C)	Ter peso suportável (D)	Resistir aos atritos e esforços necessários (E)	Ter embalagem resistente (F)	Ter boa ergonomia para pegada (G)	Possibilitar plasticidade para evitar quebra ao cair (H)	Ter bom manual de montagem (I)	Evitar dor (P)	Prevenir alergias ou hipersensibilidades (Q)	Ser adaptável a outros animais (AN)	Ser compacto (AO)	Desenvolver um produto que lembre o membro original do animal (AP)	Ter poucas partes (AQ)	Melhorar o desembalar (AS)	Diminuir sobrecarga em membros remanescentes (BB)	Resistir a mordidas (BC)	Ter peças de fácil reposição (BD)	Necessitar de poucas ferramentas na montagem (BE)	Ter componentes reutilizáveis (BF)	Total	%
Ter bom desenho mecânico. (B)	-	C1	D1	E5	B3	G1	H1	B1	P5	Q3	AN5	B3	B3	B3	AS5	BB5	B1	B1	B3	B3	21	4,31%
Ter baixo custo. (C)		-	D1	E5	C3	C3	C3	C3	P5	Q1	AN1	C3	C1	C1	AS5	BB3	C1	C3	C3	C3	28	5,75%
Ter peso suportável (D)			-	E1	D3	D3	D3	D3	P1	0	D1	D3	D3	D3	AS1	0	D1	D3	D3	D3	33	6,78%
Resistir aos atritos e esforços necessários (E)				-	E5	E5	E3	E5	E1	E3	E3	E5	E1	E3	AS1	E1	E1	E3	E5	E5	63	12,94%
Ter embalagem resistente (F)					-	E3	H1	I1	P5	P5	AN1	F3	F3	F3	AS5	BB5	BC1	BD1	BE1	F1	10	2,05%
Ter boa ergonomia para pegada (G)						-	H1	I1	P5	Q5	AN1	G1	AP1	AQ1	AS5	BB5	BC3	BD3	BE1	BF1	2	0,41%
Resistir à queda (H)							-	I1	P5	Q1	AN1	H3	H1	H3	AS5	BB3	H1	BD1	H1	H1	13	2,67%
Preparar bom manual de montagem (I)								-	P5	Q3	AN3	AO1	AP3	AQ1	AS5	BB5	BC3	BD1	I3	BF1	6	1,23%
Evitar dor (P)									-	P1	P5	P5	P3	P3	AS1	P1	P3	P3	P3	P3	66	13,55%
Evitar alergias ou hipersensibilidades (Q)										-	Q1	Q3	Q3	Q3	AS3	BB1	Q1	Q3	Q1	Q1	29	5,95%
Ser facilmente adaptável a outros animais (AN)											-	AN1	AN1	AN3	AS3	BB3	BC3	AN1	AN1	AN1	20	4,11%
Ser compacto (AO)												-	AP1	AQ1	AS5	BB5	BC3	BD1	AO1	BF1	3	0,62%
Ser semelhante ao membro original (AP)													-	AO1	AS3	BB3	BC5	BD1	AP1	BF1	6	1,23%
Desenvolver produto com mínimo de partes (AQ)														-	AS5	BB5	BC5	BD1	BE3	BF3	3	0,62%
Melhorar o desembalar (AS)															-	AS1	AS3	AS5	AS5	AS5	71	14,58%
Diminuir sobrecarga em membros remanescentes (BB)																-	BB1	BB3	BB5	BB5	57	11,70%
Resistir a mordidas (BC)																	-	BC1	BC3	BC1	28	5,75%
Peças de fácil reposição (BD)																		-	BD1	BF3	10	2,05%
Utilizar poucas ferramentas na montagem (BE)																			-	BF3	5	1,03%
Possuir Componentes com alta possibilidade de reutilização (BF)																				-	13	2,67%

## APÊNDICE D – DIAGRAMA DE PARETO – TABELA DE DADOS.

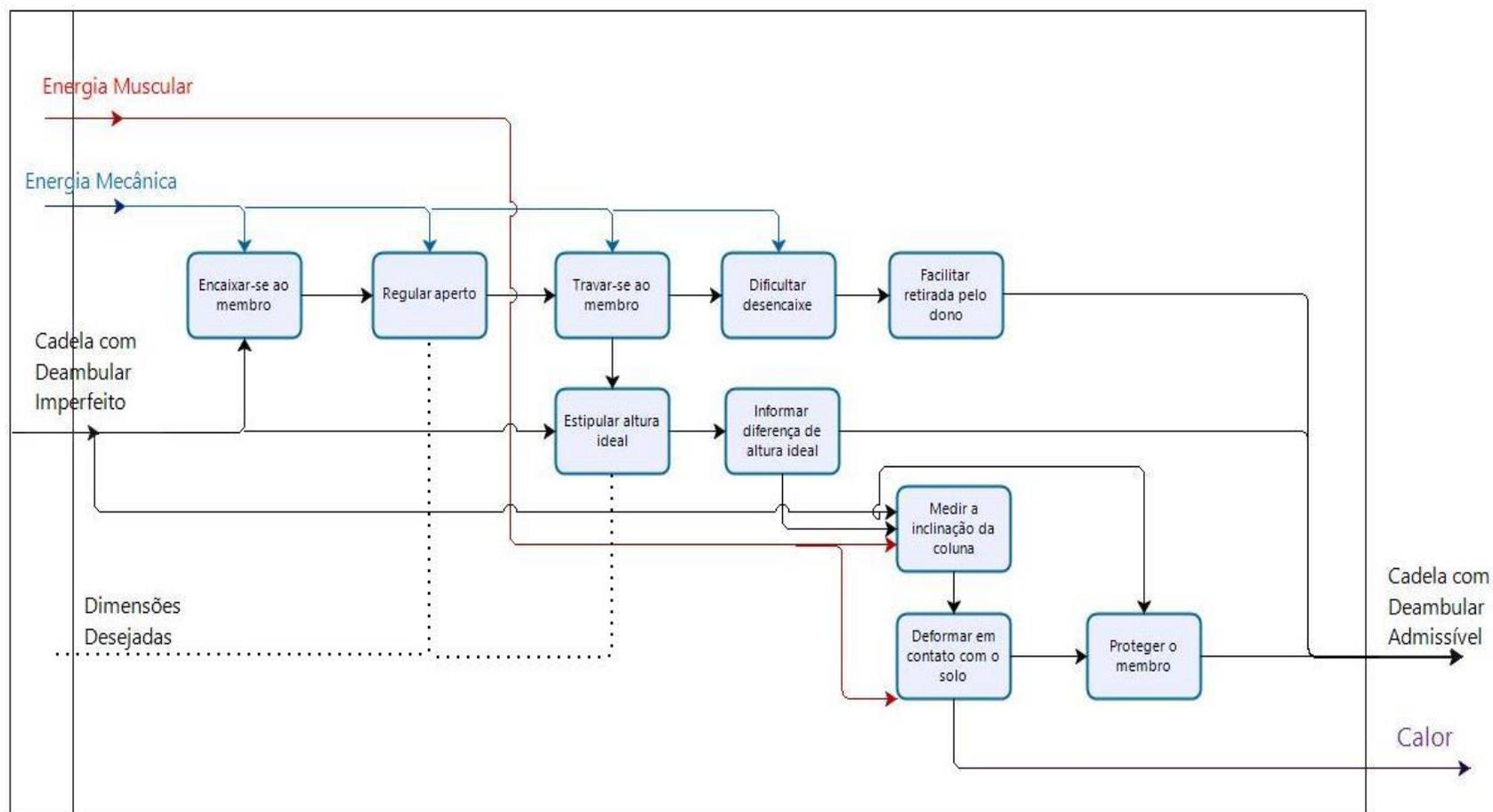
Requisitos de Ciente	Pontuação	%	% Acumulado	Peso
Melhorar o deambular	76	15%	15%	5
Evitar dor	69	13%	28%	4
Resistir aos atritos e esforços necessários	66	13%	41%	3
Reduzir sobrecarga em membros remanescentes	60	12%	53%	3
Ter peso suportável	34	7%	59%	3
Ter baixo custo.	31	6%	65%	2
Resistir a mordidas	31	6%	71%	2
Prevenir alergias ou hipersensibilidades	30	6%	77%	2
Ter poucas partes	22	4%	81%	1
Ter bom desenho mecânico.	21	4%	85%	1
Ser adaptável a outros animais	14	3%	88%	1
Ter componentes reutilizáveis	13	3%	91%	1
Resistir à queda	11	2%	93%	1
Ter peças de fácil reposição	10	2%	95%	1
Ter embalagem resistente	7	1%	96%	1
Ter bom manual de montagem	6	1%	97%	1
Ser semelhante ao membro original	5	1%	98%	1
Necessitar de poucas ferramentas na montagem	3	1%	99%	1
Ter boa ergonomia para pegada	3	1%	99%	1
Ser compacto	3	1%	100%	1

## APÊNDICE E – ESTRUTURAS FUNCIONAIS

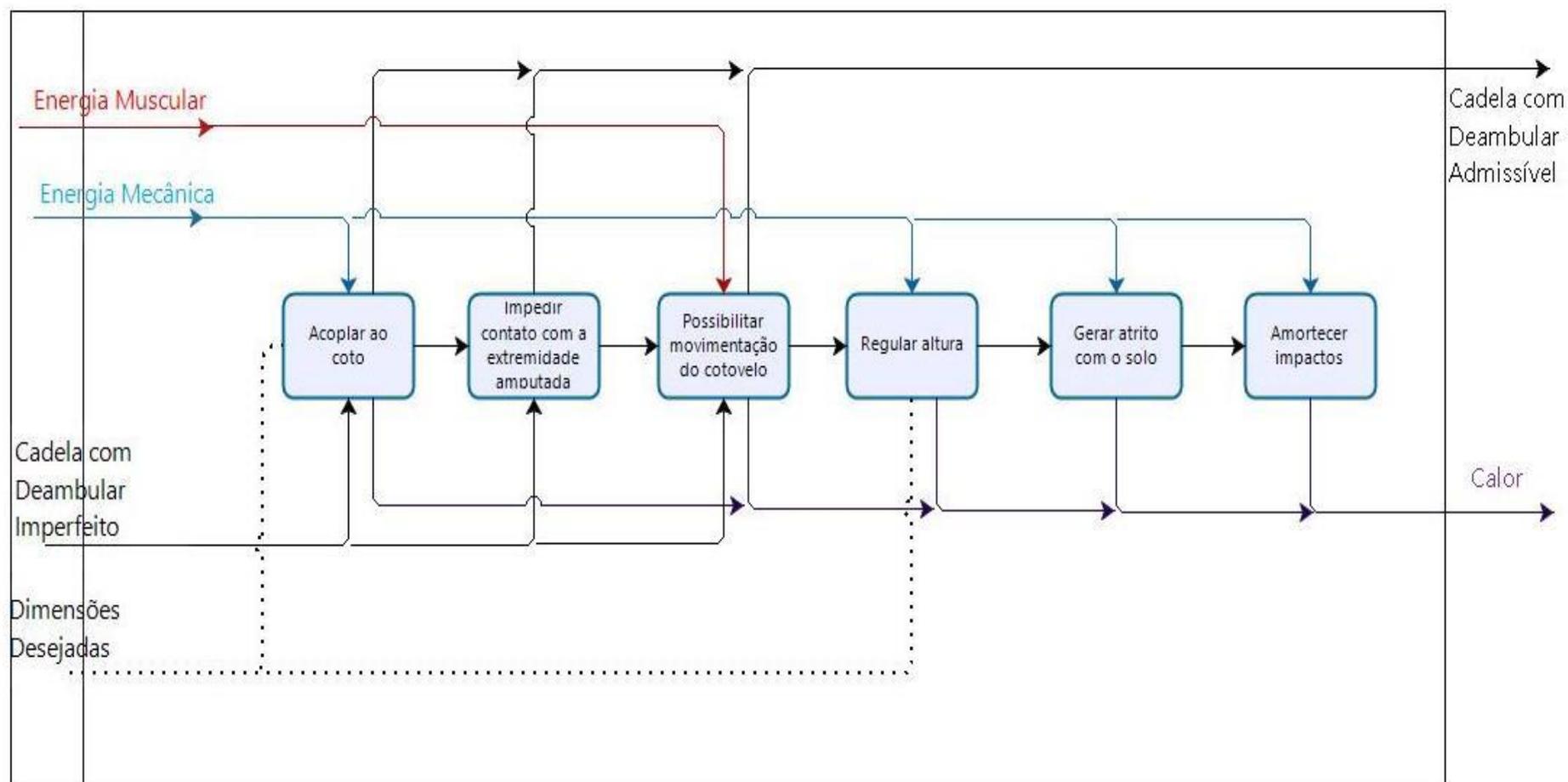
## E1 - Estrutura funcional 1, 1º desdobramento.



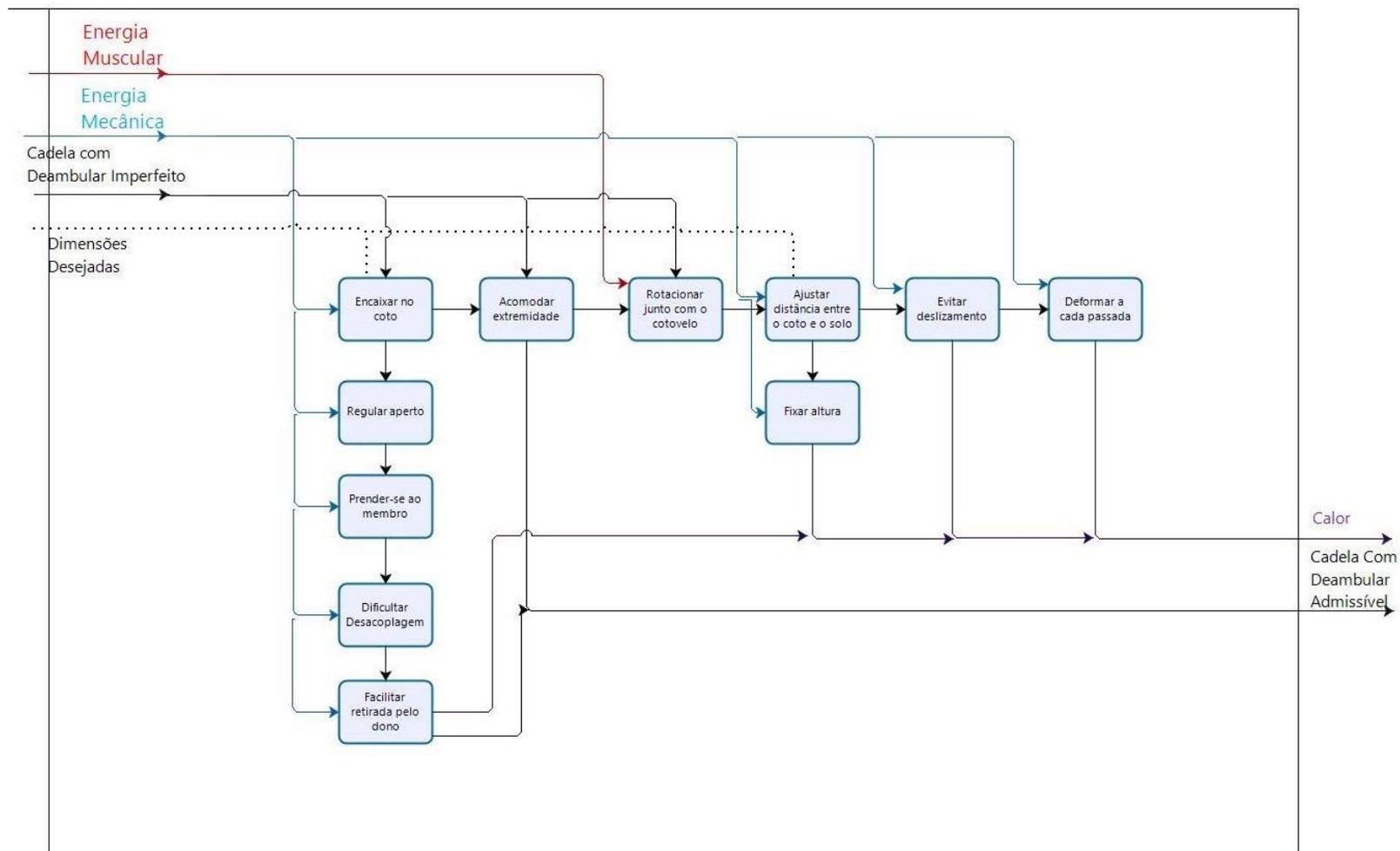
## E2 - Estrutura funcional 1, 2º desdobramento.



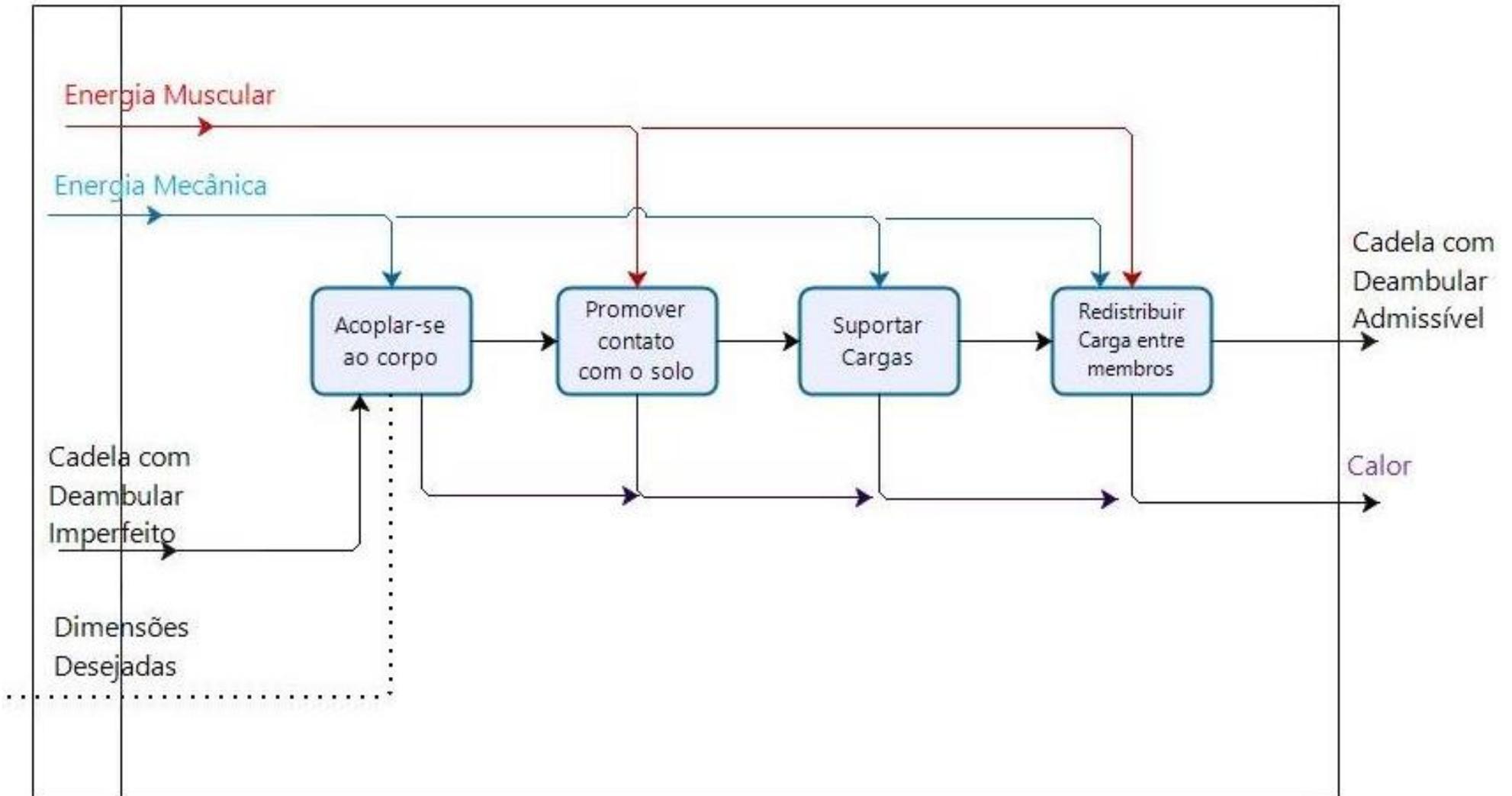
## E3 - Estrutura funcional 2, 1º desdobramento.



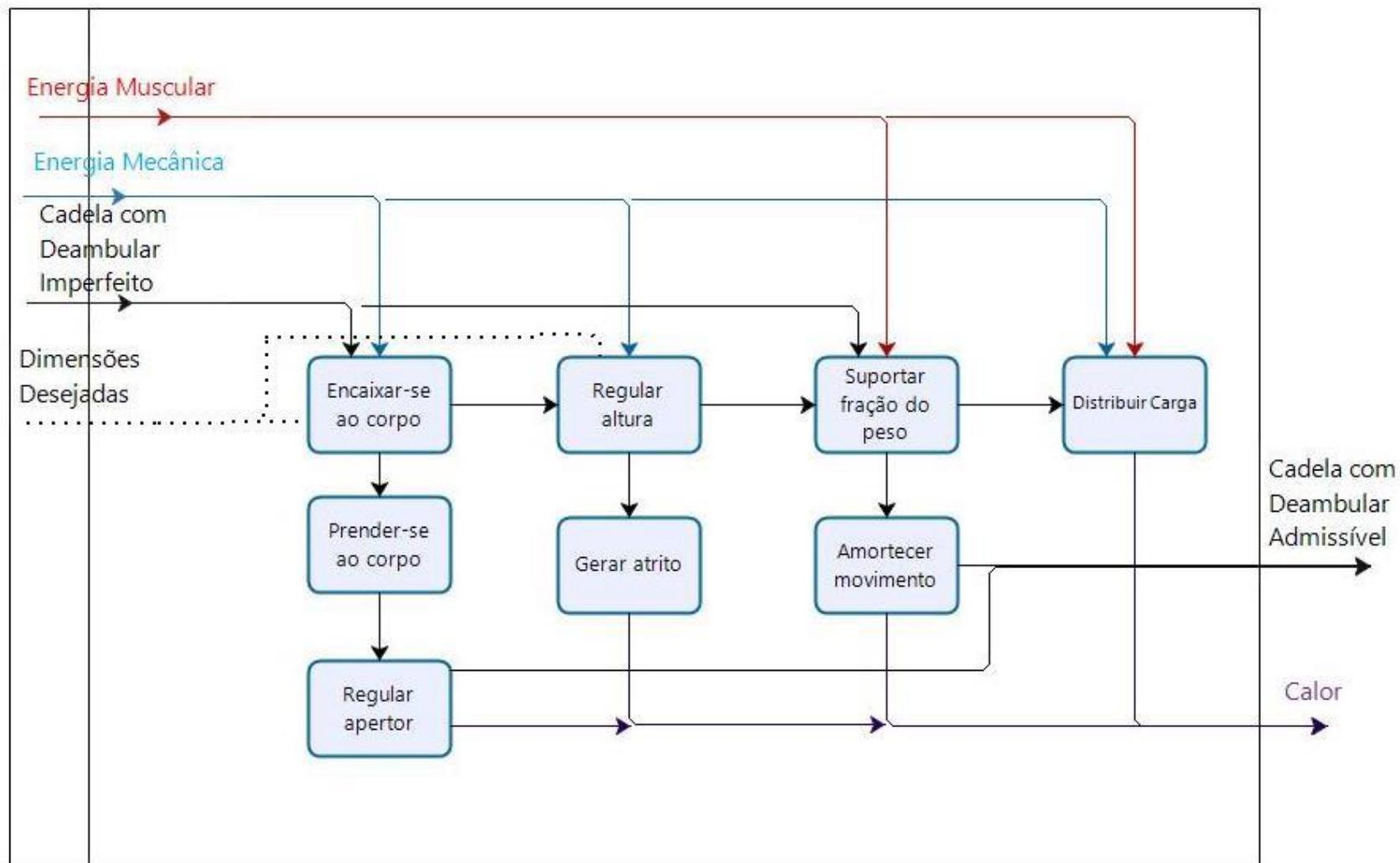
## E4 - Estrutura funcional 2, 2º desdobramento.



## E5 - Estrutura funcional 3, 1º desdobramento.

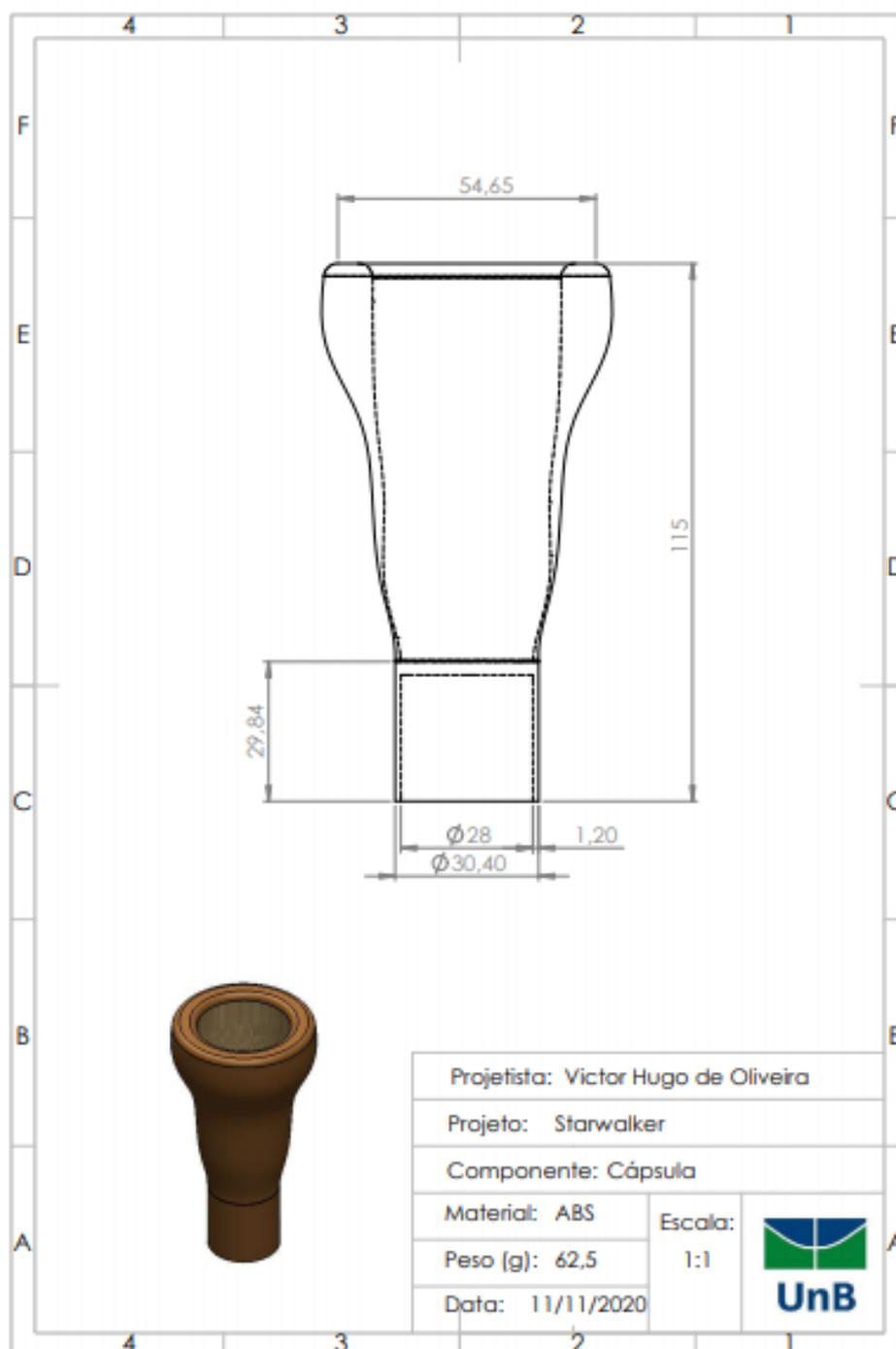


## E6 - Estrutura funcional 3, 2º desdobramento.

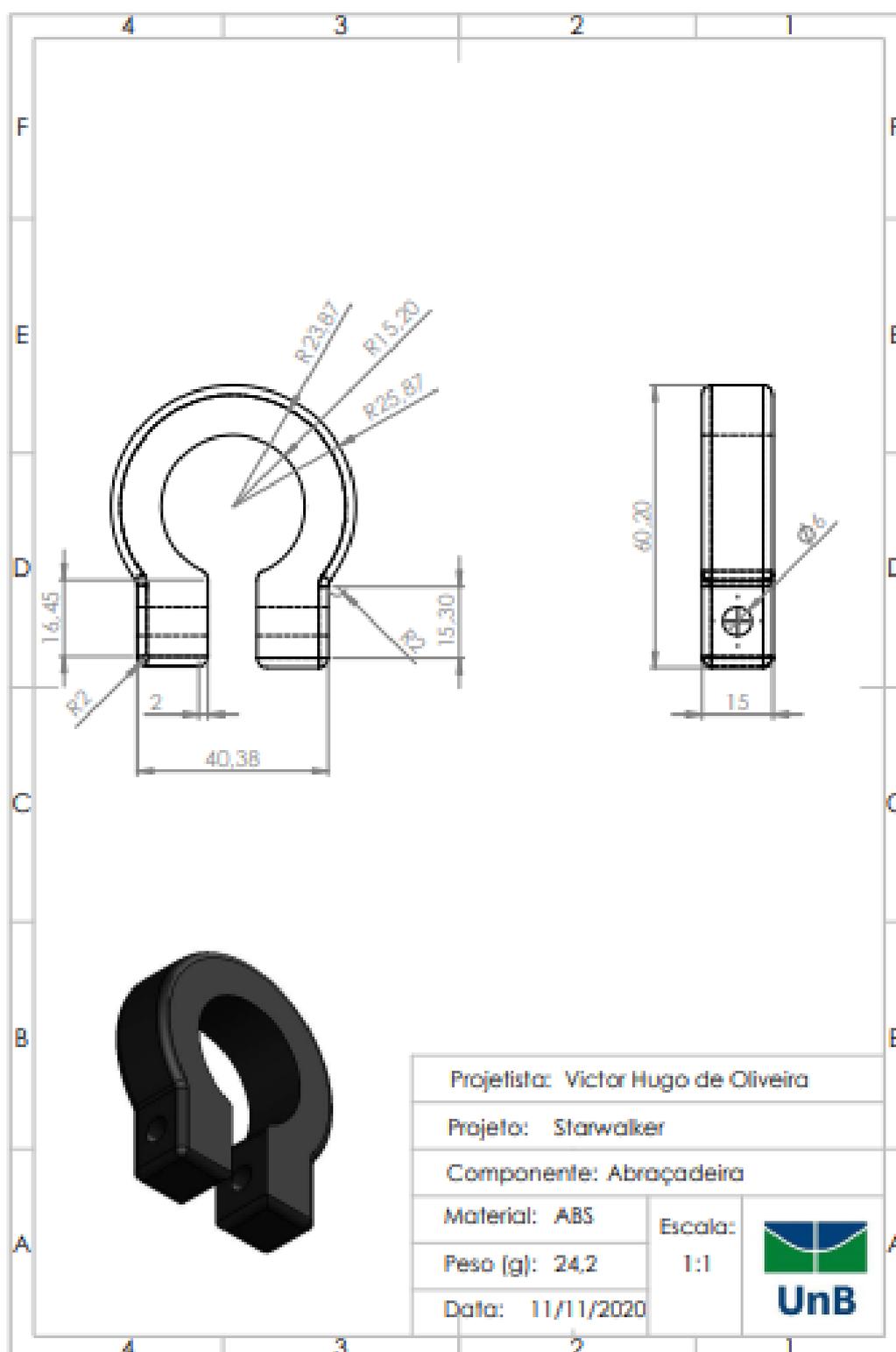


## APÊNDICE F – DESENHOS TÉCNICOS DOS COMPONENTES RÍGIDOS

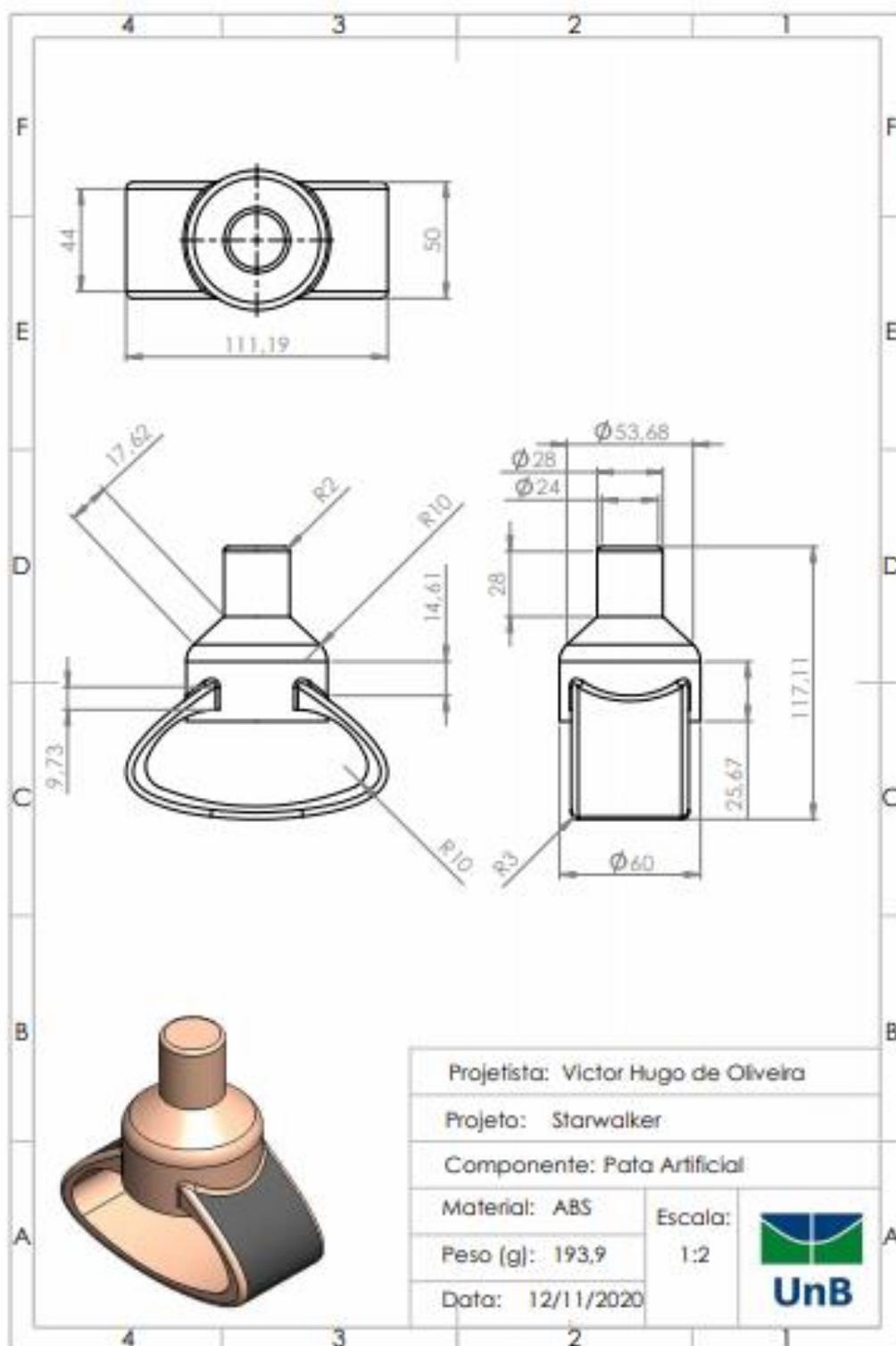
## F1 – CÁPSULA



## F2 – ABRAÇADEIRA



## F3 – PATA



## APÊNDICE G – MEMORIAL DE CÁLCULO

Os esforços atuantes foram obtidos a partir da consideração do equilíbrio de forças em cada componente. O memorial traz os cálculos e considerações utilizadas para verificar os esforços atuantes em cada componente. O resultado deste procedimento pode ser melhor visualizado nos DCL do Projeto Detalhado.

O primeiro passo foi definir valor da carga externa que a prótese deveria suportar

- Carga exercida nos membros frontais:

$$C_{ext} = P * K_c * K_t * k_s$$

Onde P é o peso da cadela e Kc, Kt, Ks são os fatores de carga da caminhada, do trote e dos saltos, respectivamente. Assim:

$$C_{ext} = (7 * 9,8) * 1,1 * 2 * 2$$

$$C_{ext} = 301,84N$$

Essa é a carga suportada por cada um dos membros frontais. Logo o esforço que deve ser suportado pela prótese é:

$$C_{extp} = 150,92N$$

A carga externa utilizada nas simulações foi de 151 N Logo:

$$C_{extp} = 151N$$

Cápsula

O equilíbrio de forças verticais mostra que:

$$F_{at} = 151N$$

Onde  $F_{at}$  representa a força de atrito existente entre o Cilindro móvel e a Cápsula, gerada por meio do aperto da abraçadeira. Considerou-se que o sistema de aperto da abraçadeira forneceria uma carga de 150 N de compressão

$$F_{at} = F_H * \mu$$

$$\mu = \frac{151}{150}$$

$$\mu \approx 1$$

Portanto, deve-se garantir que o contato entre a superfície externa da Pata artificial e a superfície interna da Cápsula apresentem um coeficiente de fricção de aproximadamente 1 para garantir que o Cilindro Móvel permaneça estático no interior da Cápsula durante a utilização.

#### Abraçadeira

A Abraçadeira experimenta esforços devido à pré-carga do sistema de aperto, definida como 150 N, que geram uma reação horizontal por parte da Cápsula. Portanto:

$$F_{HCapAbr} = 150N$$

#### Pata

A força de atrito é responsável pela compressão da Pata e sofre oposição da FRS. Logo:

$$FRS = 151N$$

Observa-se que a prótese funciona como um caminho alternativo para a transferência da carga de movimentação do corpo até o solo.

## ANEXOS

### ANEXO A – ESCALA DE QUALIDADE DE VIDA PARA CANINOS (BACHMAN ET AL., 2017).

Quality of Life Scale	
Score	Criterion
0-7	<b>Pain</b> _ displays high level of pain based on pain scale _ limps (if pet limps they are in pain) _ pants frequently, even at rest _ respiration is forced, exaggerated, not normal _ licks repeatedly at one site of body near prosthetic _ guards area of body and may snap when area is approached or touched _ posture is abnormal or different than normal
0-6	<b>Appetite</b> _ doesn't eat his/her normal food anymore _ picks at his/her food but never used to _ walks over to his/her food but won't eat or walks away from the food _ doesn't want food treats/snacks/human foods anymore _ acts nauseated or vomits _ loss of weight
0-3	<b>Hydration</b> _ doesn't drink as much water as prior _ frequently has dry, sticky gums _ is vomiting or has diarrhea
0-4	<b>Hygiene</b> _ hair is matted, greasy, rough looking, dull or foul smelling _ has stool passed around his/her rectum or his/her hair _ smells like urine or has skin irritation from urine _ has pressure sores/wounds around area of prosthetic that won't heal
0-5	<b>Activity/Mobility</b> _ cannot get up without assistance

	_ does not feel like going for walks, playing ball, or things he/she used to do _ has a hard time getting around/ or limps _ lays in one place all day long _ falls frequently
0-4	<b>Happiness/Mental Status</b> _ does not express joy and interest in life _ does not respond to people that he/she used to respond to _ does not want to play with toys or things that he/she used to enjoy _ appears depressed, dull, not alert
0-5	<b>General Behaviour Patterns</b> _ hiding or sleeping in odd places _ not greeting owner when he/she comes home a he/she used to _ is overly clingy and he/she never used to _ other pets are treating this pet differently, over attentive or ignoring him/her completely _ pet doesn't care about what is going on around him/her

## ANEXO B – O PROCESSO ATA (FEDERICI & SCHERER, 2012).

