

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DAPHNE JURASZEK FISCHER

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE AUXÍLIO PARA CÃO COM DIFICULDADE
DE LOCOMOÇÃO**

CURTIBA

2022

DAPHNE JURASZEK FISCHER

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE AUXÍLIO PARA CÃO COM DIFICULDADE
DE LOCOMOÇÃO**

Development of support system for motor disabled dog

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. José Aguiomar Foggiatto.

Coorientadora: Prof^a. Dra^a. Maria Fernanda Pioli Torres

CURITIBA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

DAPHNE JURASZEK FISCHER

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE AUXÍLIO PARA CÃO COM
DIFICULDADE DE LOCOMOÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 24/06/2022

José Aguiomar Foggiatto
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Marjorie Benegra
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Peterson Triches Dornbusch
Doutorado
Universidade Federal do Paraná

CURITIBA

2022

RESUMO

FISCHER, Daphne Juraszek. DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE AUXÍLIO PARA CÃO COM DIFICULDADE DE LOCOMOÇÃO. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2022.

O advento da manufatura aditiva revolucionou o mercado de personalizações, tornando possível a confecção dos mais variados objetos a custos relativamente baixos e virtualmente sem limitações de forma. Uma de suas possíveis aplicações é na fabricação de próteses e órteses baseadas na anatomia do paciente, garantindo melhor adaptação do dispositivo ao membro lesado ou ausente. O mercado de próteses e órteses humanas está bem suprido, porém o mercado veterinário apresenta limitações de oferta, preços elevados e poucas opções de tamanho, não contemplando todos os pacientes que necessitam de tais dispositivos. Para desenvolvimento de proposta de solução para esta situação, foi estabelecido o objetivo de desenvolvimento e produção de protótipos de órteses e próteses veterinárias, utilizando manufatura aditiva, visando oferecer opções para a emergente demanda por terapias alternativas para cães, carente de tais dispositivos que se adaptem às necessidades e tenham boa funcionalidade, especialmente de baixo custo. Para isto foi usado um caso clínico de cão com deficiência motora, devido a trauma com dano neurológico, para desenvolvimento de projeto e posterior fabricação de órtese em TPU, utilizando manufatura aditiva. O dispositivo então foi testado e posteriormente validado através de questionário QUEST de tecnologia assistiva, modificado para aplicação veterinária, obtendo nota 4,625 de 5. O protótipo produzido é funcional e adequado para a finalidade, com possibilidade de desenvolvimento futuro.

Palavras-chave: Impressão 3D; cães; órtese; medicina veterinária.

ABSTRACT

The advent of additive manufacturing caused a revolution in the custom market, by making possible the craft of a wide range of objects at relatively low cost and virtually without shape boundaries. One of its possible applications is in the build of orthoses and prostheses based on the anatomy of the wearer, guaranteeing a better fit of the device to the injured or absent limb. The human orthoses and prostheses market is well supplied; however, the veterinary orthosis and prosthesis market presents limitations in availability, high costs, and size range, not fitting all patients in need of such devices. To develop a proposition of solution to this situation, the goal to develop and fabricate prototypes of veterinary orthoses and prostheses was established, using additive manufacturing, aiming to offer options for the emerging alternative therapies market for dogs, needy of such devices that fit the patient's need and have good functionality, especially at a low cost. Real clinical case of a motor disabled dog, due to traumatic neurological injury, was used for development of a project and then production of a orthosis made of TPU, using additive manufacturing. The device was tested and then validated using QUEST questionnaire for assistive technology, modified for veterinary use, obtaining the score of 4,625 points out of 5. The prototype is functional and fitting for its application, with possibility of further improvement.

Keywords: 3D printing; dogs; orthoses and prostheses; veterinary medicine.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Amputação de membro pélvico.....	18
Figura 2 - Desarticulação de membro pélvico.....	18
Figura 3 - Unhas lixadas por perda de propriocepção.....	21
Figura 4 - Doença do ligamento cruzado anterior.....	22
Figura 5 - Displasia coxofemoral.....	23
Figura 6 - Luxação de patela.....	24
Figura 7 - Cão utilizando ITAP.....	25
Figura 8 - Níveis de amputação para prótese soquete e articulações importantes.....	26
Figura 9 - Forças em 3PCS.....	27
Figura 10 - Forças em M3PCS.....	28
Figura 11 - Decomposição em planos da manufatura aditiva.....	29
Figura 12 - Comparação manufatura aditiva e subtrativa.....	29
Figura 13 - Processo de transformação CAD para STL.....	30
Figura 14 - Fatiamento de um arquivo STL.....	31
Figura 15 - (a) peça final (b) peça com suportes para que a impressão seja possível.....	32
Figura 16 - biomodelo feito por manufatura aditiva para planejamento de cirurgia de coluna.....	33
Figura 17 - representação esquemática do funcionamento do processo por extrusão de material.....	34
Figura 18 - Representação de digitalização por laser.....	37
Figura 19 - síndrome de Schiff-Sherrington no caso clínico.....	38
Figura 20 - Fluxograma de trabalho.....	40
Figura 21 -Modelo em gesso sem limpeza, molde bipartido de alginato ao fundo.....	41
Figura 22 - Erros possíveis em uma digitalização de acordo com o protocolo MAP.....	44
Figura 23 - Modelo com falanges em extensão.....	49
Figura 24 - Offset de órtese.....	50
Figura 25 - Questionário QUEST modificado.....	53
Figura 26 - Comparativo das digitalizações obtidas com os aplicativos, da esquerda para a direita: <i>Scandy Pro</i> , <i>3D Scanner App</i> e <i>Trnio</i>	54
Figura 27 - Oclusões no <i>Scandy Pro</i>	56
Figura 28 - Detalhes de definição da malha em digitalização obtida no <i>3D Scanner App</i>	57
Figura 29 - Modelo com correção inicial no <i>MeshMixer</i>	58
Figura 30 - ângulo entre falange e metatarso corrigido.....	59
Figura 31 - Primeira versão da órtese.....	60
Figura 32 - Projeto da órtese final.....	60
Figura 33 - Primeiro modelo de órtese para testes.....	62
Figura 34 - Órtese com material de conforto instalado.....	62
Figura 35 - Teste de ajuste da órtese, detalhe para altura da borda.....	63
Figura 36 - Órtese em versão final.....	64
Figura 37 - Órtese com material de conforto e material de contato com o chão instalados.....	65
Figura 38 - Prova final da órtese.....	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Doenças mais comuns atendidas em clínica de reabilitação veterinárias.....	20
--	-----------

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pontuação MAP obtida pelos aplicativos.....	55
---	-----------

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3PCS	Sistema corretivo de três pontos
AF	Força de Ancoragem
BP	Baixa Precisão
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CMF	Força Contra Momento
CRF	Força Corretiva
FC	Força Corretiva
FG	Fusão de Geometria
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
MAP	<i>Mesh Analysis Protocol</i>
M3PCS	Sistema corretivo de três pontos modificado
O	Oclusão
OE	Objetos Estranhos
PM	Perda de Malha
QS	Qualidade Superficial
R	Reconstrução
S	Simplificação
STL	<i>StereoLithography</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Contextualização do tema.....	13
1.2	Caracterização de oportunidade.....	14
1.3	Objetivos.....	14
1.4	Justificativa.....	15
1.5	Etapas do trabalho.....	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1	Lesões que levam à dificuldade de locomoção em cães.....	17
2.1.1	Amputação.....	17
2.1.2	Alterações neurológicas e ortopédicas.....	20
2.1.2.1	<u>Alterações de causa neurológica.....</u>	<u>21</u>
2.1.2.2	<u>Alterações de causa ortopédica.....</u>	<u>22</u>
2.2	Órteses e próteses.....	24
2.2.1	Próteses.....	25
2.2.2	Órteses.....	26
2.3	Manufatura aditiva.....	28
2.3.1	Etapas do processo de manufatura aditiva.....	30
2.3.2	Aplicações na área da saúde.....	32
2.3.3	Processo por extrusão de material.....	33
2.3.4	Características mecânicas de peças feitas por extrusão de material.....	35
2.3.5	Materiais utilizados.....	35
2.4	Digitalização tridimensional.....	36
2.5	Considerações sobre a revisão de literatura.....	37
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1	Aquisição de anatomia.....	40
3.2	Digitalização.....	41
3.3	Correção do modelo no <i>MeshMixer</i>	48
3.4	Fabricação por manufatura aditiva.....	51
3.5	Validação.....	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4.1	Avaliação de digitalização.....	54

4.2	Correção de malha e modelagem.....	58
4.3	Fabricação e testes.....	60
4.4	Validação.....	66
5	CONCLUSÕES.....	68
	ANEXO A - Questionário QUEST.....	76

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do tema

Ainda é predominante, para o público leigo, a ideia de que cães ficam bem quando tem um membro amputado ou com função limitada, pois a maioria dos indivíduos consegue se adaptar rapidamente e bem à mudança de condição física (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2020).

Porém, com o avanço de estudos biomecânicos de quadrúpedes, foi constatado que há sobrecarga de diversas estruturas anatômicas saudáveis remanescentes, em um mecanismo de compensação tanto para cães amputados quanto para cães com outras alterações de marcha por conta de limitação de funcionalidade de um membro (JARVIS, 2013).

Para garantir a qualidade de vida dos pacientes, o uso de órteses ou próteses externas é recomendado, visando evitar a sobrecarga nas partes não afetadas pela patologia. A órtese tem como função o suporte ao movimento em casos de perda de mobilidade parcial ou total do membro e a prótese tem papel de substituição membro ausente (MICH, 2014)

Apesar de um dos primeiros artigos sobre aplicação veterinária de próteses ter sido publicado há mais de 60 anos (HOWARD, 1960), seu uso em animais ainda é limitado, recente e com oferta reduzida, principalmente quando comparado com a medicina humana, em que a utilização de próteses é documentada a partir do antigo Egito (MCGILL, 2010).

Alguns adventos tecnológicos foram especialmente relevantes, como a impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva. A maior liberdade de formas, permite a criação de geometrias complexas com a mesma facilidade e custo que formas simples, abrindo as portas do mercado das personalizações, antes inacessíveis pelos custos proibitivos dos métodos tradicionais, sendo que produtos customizados correspondem à maior aplicação das impressoras 3D (CONNER, 2014).

Uma das inúmeras aplicações da personalização possibilitada pela manufatura aditiva, é na confecção de órteses e próteses, de modo que o custo não se eleve e o paciente possa obter um produto que se adapta com perfeição.

1.2 Caracterização de oportunidade

O Brasil atualmente conta com mais de 55 milhões de cães, ocupando a 7ª colocação em faturamento do mercado pet mundial que inclui cães, gatos e outras espécies de animais, o que equivale a US\$ 145,8 milhões. Desse montante, 17% foram destinados à atenção médica veterinária, representando um expressivo crescimento de 18% em relação ao ano anterior (ABINPET, 2021).

O aumento de despesas com cuidados médicos é parte de uma tendência global, em que os animais não mais assumem o papel de mera propriedade e passam a ser considerados membros da família (PSYCHOLOGY TODAY, 2017).

Essa mudança de status dos animais domésticos foi motivação de diversos estudos em campos anteriormente pouco ou inexplorados da medicina veterinária, levando a oferta de novas terapias, antes oferecidas exclusivamente na medicina humana, como: hidroterapia, fisioterapia, quiropraxia, acupuntura, uso próteses e órteses (G1, 2015).

Porém, a produção de órteses e próteses para a uso veterinário não é feita em larga escala e, por isso, é difícil de se encontrar para a compra, especialmente se o porte do cão for demasiadamente grande ou pequeno, pois a maior parte é ofertada somente em tamanhos padronizados.

A oportunidade identificada neste trabalho está na aplicação da manufatura aditiva para a confecção de órteses de baixo custo e personalizadas, em função da procura crescente por novos tratamentos na medicina veterinária, baixa oferta e poucas opções de tamanhos disponíveis. A utilização da impressão 3D proporcionará o desenvolvimento de um produto único e adaptado à anatomia do paciente, de modo que o cão seja auxiliado em seu deslocamento e não gere sobrecarga adicional, além de possibilitar redução de custo quando comparado os métodos tradicionais, tornando a solução para cães com deficiência acessível a todos que necessitam.

1.3 Objetivos

O objetivo principal é o desenvolvimento de um sistema de apoio à mobilidade de um cão, por meio do uso de manufatura aditiva focando no baixo custo e personalização.

Para o desenvolvimento do sistema, será necessário atingir os seguintes específicos:

- Revisão bibliográfica sobre sistemas de apoio à mobilidade de cães;
- Identificação do caso clínico;
- Aquisição da anatomia do cão;
- Avaliação de sistemas de digitalização tridimensional por aplicativo;
- Desenvolvimento do sistema de apoio à mobilidade para o cão utilizando modelagem CAD 3D
- Produção por manufatura aditiva do sistema de apoio à mobilidade e teste no cão
- Validação física e funcional com médico veterinário responsável pelo acompanhamento do caso clínico

1.4 Justificativa

A motivação para a realização deste estudo foi a dificuldade locomotora do cão de estimação da autora decorrente de um acidente doméstico, que resultou em sequelas neurológicas e comprometimento da função motora do membro pélvico direito do cão. O acidente e suas consequências levaram à percepção de que existem muitos animais em situação semelhante ou mais grave que não recebem o tratamento adequado, tanto pelo elevado custo quanto pela baixa disponibilidade no mercado, comprometendo a qualidade de vida desses cães.

Acredita-se que o desenvolvimento personalizado de uma órtese para cada paciente pode ser atingido, com um custo acessível, popularizando a tecnologia as manufatura aditiva e possibilitando com que vários cães que necessitam deste tratamento possam ser atendidos e beneficiados pelo uso de dispositivo de tecnologia assistiva produzidos para promover a qualidade de vida animal.

Dessa forma foi estabelecida uma oportunidade para um trabalho interdisciplinar entre Engenharia Mecânica e Medicina Veterinária, para fornecer um produto escasso no mercado e que terá um impacto positivo na vida de cães e tutores.

1.5 Etapas do trabalho

Após esta seção introdutória será elaborado o referencial teórico abordando: lesões que podem gerar dificuldade de locomoção em cães, órteses e próteses e suas respectivas funções no auxílio à locomoção, digitalização para obtenção de anatomia e avaliação das digitalizações obtidas pro meio de protocolo, projeto em CAD e manufatura aditiva, funcionamento e aplicações dos dispositivos.

Em seguida, no terceiro capítulo, será abordado os materiais e método s utilizados para o desenvolvimento do sistema de auxílio à locomoção, para cumprimento dos objetivos traçados na introdução deste trabalho.

Posteriormente, no quarto capítulo serão apresentados os resultados obtidos no trabalho e a discussão destes.

No quinto e último capítulo serão expostas as conclusões tiradas do projeto, assim preenchendo os requisitos necessários do Trabalho de Conclusão de Curso.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nas próximas seções serão abordados os fundamentos teóricos que serão utilizados para o desenvolvimento dos sistemas de auxílio à locomoção, desde as doenças que acometem os cães e geram a deficiência motora até detalhes sobre o processo de fabricação.

2.1 Lesões que levam à dificuldade de locomoção em cães

A marcha normal, por definição, é o movimento eficiente do corpo para frente, de modo que o gasto de energia seja mínimo, para isso, o centro de gravidade do corpo descreve curva senoidal com amplitude mínima nos eixos x e y . A marcha anormal, por sua vez, é qualquer desvio em que o movimento perde sua eficiência e o gasto energético aumenta, devido a ao acréscimo na amplitude da curva senoidal descrita pelo centro de gravidade (GROSS, 2000)

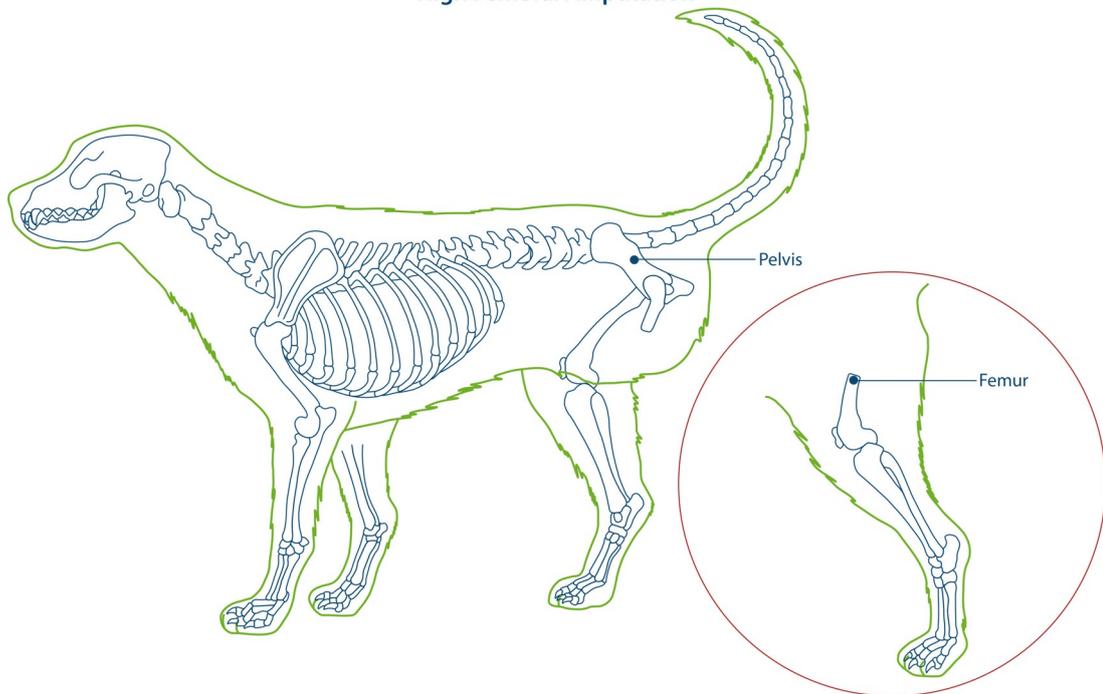
Para a correção da anormalidade é indicado o uso de próteses ou órteses, as principais doenças que levam à indicação serão discutidas a seguir, separadas naquelas que levam ao uso de prótese (amputação) e órtese (doenças neurológicas e ortopédicas).

2.1.1 Amputação

A amputação consiste no procedimento cirúrgico de desmembramento pelo corte através do osso como ilustra a Figura 1, em que o corte foi feito no terço proximal do fêmur. A amputação também pode ocorrer por desarticulação, quando a separação é realizada na articulação, e ocorre a remoção completa do osso, como ilustra a Figura 2 em que o fêmur do cão é completamente retirado. (MARKATOS et al., 2019).

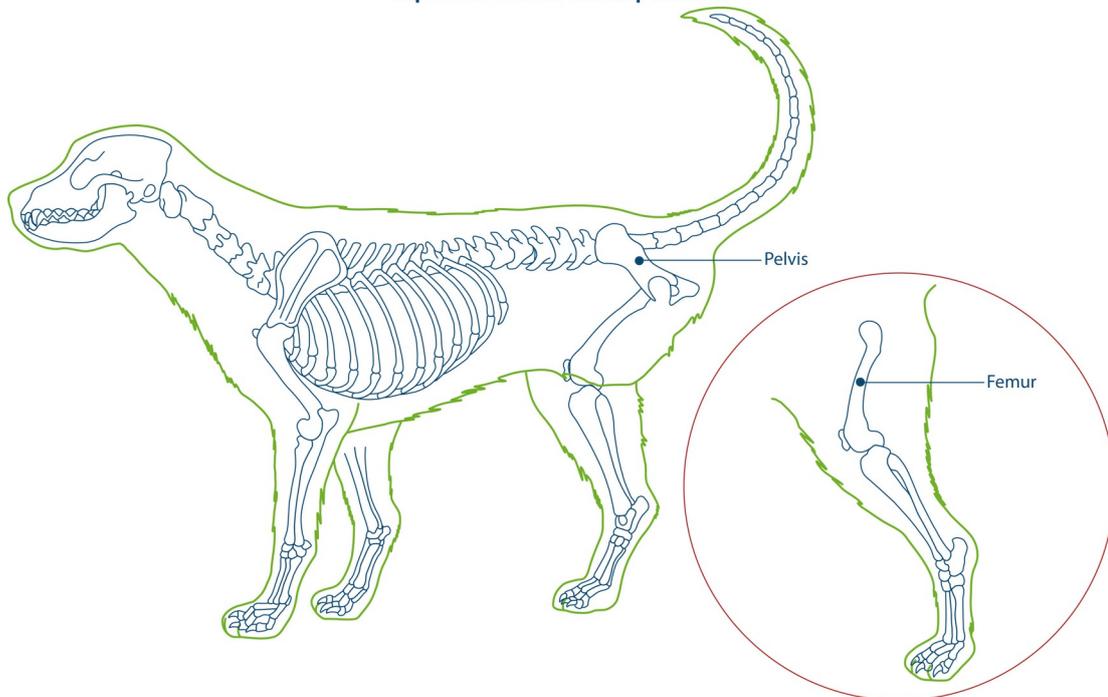
A amputação é considerada um procedimento de última opção, quando não há mais recursos médicos e/ou financeiros na tentativa de manter o membro intacto.

Figura 1 - Amputação de membro pélvico
High Femoral Amputation



Fonte: PawOpedic (2021)

Figura 2 - Desarticulação de membro pélvico
Hip Disarticulation Amputation



Fonte: PawOpedic (2021)

Em cães, as principais indicações para amputação são: neoplasias, fraturas sem consolidação (pseudoartrose), dano nervoso periférico debilitante, deformidade congênita, osteoartrite severa e necrose isquêmica (FAHIE, 2016).

Diversos estudos demonstram que, das causas acima, as duas mais comuns que levam à amputação são neoplasia e trauma, apesar da literatura se basear em amostras pequenas e não haver registro unificado do número de cães submetidos a procedimento, nem dos motivos que levaram à amputação, comprometendo a estatística (DICKERSON et al, 2015; MENCHETTI et al., 2017).

A altura da amputação deve levar em consideração se o animal fará uso ou não de prótese no futuro, pois deve ser preservado o maior comprimento possível do membro para a colocação do dispositivo, tendo em vista questões como: a pressão efetuada pela prótese na área remanescente, visando conforto do animal e propriocepção do membro (ST JEAN, 1996).

As amputações têm repercussões na marcha do animal, pois a distribuição de peso sobre os 4 membros deixa de ocorrer, levando à sobrecarga em outras estruturas anatômicas remanescentes para compensar a falta de um membro (JARVIS et al., 2013).

A distribuição normal do peso nos 4 membros de um cão saudável é de 59,8% da massa do animal apoiada sobre os membros torácicos e 40,2% do peso nos membros pélvicos. Mediante amputação, as forças serão redistribuídas entre os membros remanescentes do cão e, caso o membro amputado seja o torácico, 46,9% do peso total do cão passa a ser suportado pelo membro torácico restante e 53,1% da massa será apoiada sobre os membros pélvicos. Quando um membro pélvico é amputado, os membros torácicos passarão a ser responsáveis por sustentar 73,6% do peso do animal e os 26,4% restantes serão suportados pelo membro pélvico remanescente (KIRPENSTEIJN et al., 2000).

Tais alterações de distribuição de força têm impacto nas articulações e podem gerar dor, disfunção muscular, diminuição da amplitude de movimento e instabilidade locomotora (JARVIS et al., 2013).

2.1.2 Alterações neurológicas e ortopédicas

A seguir serão discutidos meios de identificação de anormalidades de marcha em casos gerais e as patologias mais comuns, listadas no Quadro 1, que levam a alterações ortopédicas e neurológicas e suas consequências para o cão.

Quadro 1 - Doenças mais comuns atendidas em clínica de reabilitação veterinárias

Problemas	Consequências	Frequência
Ortopédicos		
Lesão ligamento cruzado cranial (LCC)	Atrofia muscular de membro pélvico, transferência de peso, osteoartrite	Comum
Displasia do quadril	Dor em extensão do quadril, atrofia muscular membro pélvico	Comum
Osteoartrite, entorses, luxações	Perda de mobilidade, aumento de peso, perda de mobilidade articular	Relativamente incomum
Contraturas articulares	Desuso do membro	Incomum
Neurológicos		
Hérnia de disco tóraco-lombar	Perda de função motora, incontinência urinária e/ou fecal	Comum
Embolia fibrocartilaginosa	Perda de função motora, incontinência urinária e/ou fecal	Incomum
Mielopatia degenerativa	Perda de propriocepção e função motora	Relativamente incomum
Espondilomielopatia caudal cervical	Perda de propriocepção e função motora	Relativamente incomum

Fonte: Adaptado de Marcellin-little et al. (2005)

O primeiro passo para identificação de alteração da marcha é o exame visual do médico veterinário, subjetivo, portanto, sujeito a falhas, pois cães conseguem compensar muito bem alterações leves de maneira quase imperceptível, mesmo para o olho treinado do especialista. A grande diferença entre as raças de cães também pode dificultar a identificação de marcha alterada, ressaltando a importância de uma anamnese detalhada com o tutor do cão, que por conhecer a marcha do animal há mais tempo pode ser capaz de reconhecer alteração (ROSENTHAL, 1969).

2.1.2.1 Alterações de causa neurológica

As causas neurológicas estão sempre associadas com alteração de marcha, porém não há padrão definido para essa mudança e pode levar o cão desde a impossibilidade de locomoção, em casos graves, à descoordenação ao andar. Um dos exemplos de doenças neurológicas relativamente comuns que afetam cães, especialmente raças condrodistróficas como Dachshunds, é a doença de disco intervertebral, que causa compressão medular, assim como a hérnia de disco (ROSENTHAL, 1969).

Por meio de análise de marcha, foi identificado que cães com doenças neurológicas apresentaram força de pico três vezes maior no membro torácico como forma de compensação pela incapacidade de coordenação dos movimentos voluntários do cão, como resultado da doença (GORDON-EVANS et al., 2009).

Outra consequência é a diminuição de propriocepção, que leva o cão a arrastar o membro na hora de andar, o que pode causar lesões e deixa sinais evidentes, como unhas gastas, ilustrado na Figura 3 (KERWIN; TAYLOR, 2021).

Figura 3 - Unhas lixadas por perda de propriocepção



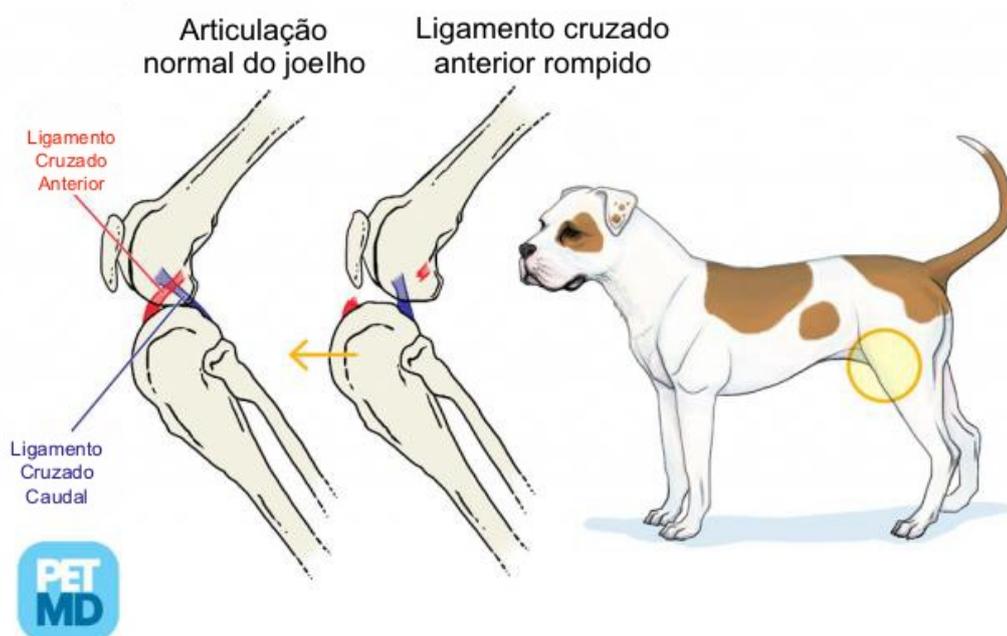
Fonte: Kerwin e Taylor (2021)

2.1.2.2 Alterações de causa ortopédica

As causas neurológicas de marcha anormal são importantes, porém as ortopédicas são motivos mais comuns para a alteração de marcha de um cão, e podem limitar a função das articulações e fazer com que o cão distribua peso maior nos membros saudáveis para compensar o membro afetado. Apesar de terem impactos diferentes na marcha do animal, uma doença neurológica em estágio inicial pode ser confundida com uma doença ortopédica, por esse motivo deve ser considerada a capacidade de propriocepção no diagnóstico diferencial, que estará diminuída no caso de doença neurológica (KERWIN; TAYLOR, 2021).

A ruptura do ligamento cruzado cranial é uma causa importante de alteração ortopédica na marcha, pode ser uma evolução crônica da doença do ligamento cruzado anterior (Figura 4). A ruptura tem maior incidência em animais mais idosos e raças específicas, porém todos os cães estão sujeitos a tê-la, uma vez que o mecanismo da doença ainda não é bem compreendido (HAYASHI; MANLEY; MUIR, 2004).

Figura 4 - Doença do ligamento cruzado anterior



Fonte: Adaptado de PetMD (2016)

A ruptura do ligamento promoverá instabilidade da articulação, que tem papel essencial no membro pélvico do animal, comprometendo a qualidade de vida do paciente e o cão passa a adotar uma marcha protetora do membro afetado, procurando redistribuir o peso nos membros saudáveis enquanto mantém o doente flexionado (SPINELLA; ARCAMONE; VALENTINI, 2021).

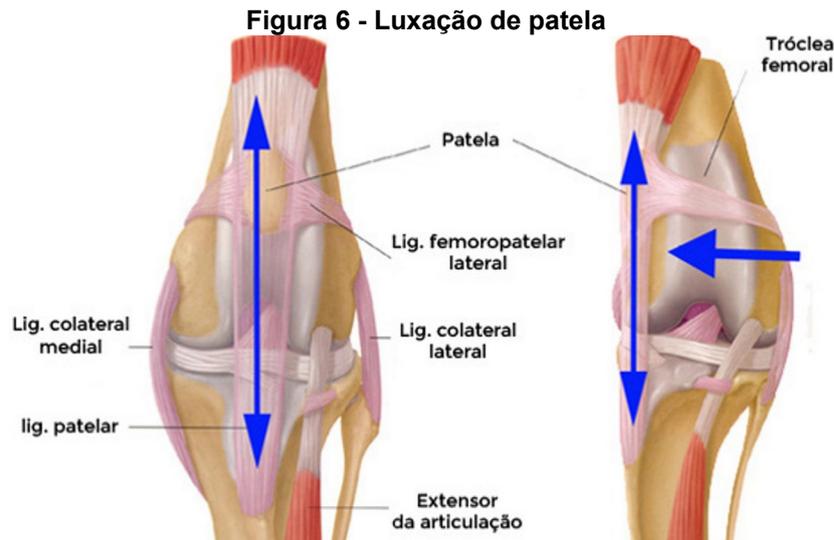
Outra doença ortopédica comum com repercussões na marcha é a displasia de quadril, uma formação anormal da articulação do coxal, afetando cabeça e colo do fêmur, além do acetábulo (Figura 5) (ROCHA et al., 2014).

Esta doença causa instabilidade na articulação, pelo mal ajuste da cabeça do fêmur no acetábulo, causando subluxação progressiva até a luxação, e pode evoluir para osteoartrite secundária. As manifestações variam e, de maneira geral, o animal sente dor no quadril, que se intensifica de acordo com o clima e repercute na marcha, causando alterações e limitações funcionais. A característica marcante de rebolado ao andar é uma marca distinta da doença (PASCUAL-GARRIDO et al., 2018).



Fonte: Portal do dog (2014)

A luxação patelar é mais uma razão frequente para alteração da marcha em cães, especialmente em raças pequenas. Pode ser de origem congênita ou secundária a trauma. A doença causa o desalinhamento da patela por instabilidade femoropatelar (Figura 6) e leva ao sinal característico em que o cão estende o membro na tentativa de realinhar a patela. O desenvolvimento de osteoartrite precoce é uma consequência do desalinhamento repetitivo da patela (DI DONA; VALLE; FATONE, 2018).



Fonte: VetMétodo diagnósticos (2021)

Outra doença que pode ser destacada é a osteoartrite ou artrose, que é um processo degenerativo articular, caracterizado pela perda progressiva do revestimento cartilaginoso das superfícies ósseas da articulação, gerando instabilidade e exposição do osso. A osteoartrite tem causas multifatoriais, mas pode ser dividida em: primária, em que não há uma anormalidade pré-existente na articulação e que é rara em animais e a osteoartrite secundária, na qual existe um evento causador que pode ser de origem traumática como fraturas e luxações, inflamatória ou infecciosa, ou ainda em consequência de defeitos anatômicos que levam a incongruências articulares, também conhecidas como displasias. Artrite e artrose podem ocorrer em qualquer cão, mas há fatores de risco que levam ao seu aparecimento, como idade, raças grandes, obesidade ou outras doenças articulares, como a luxação patelar ou displasia do quadril (ROSSETO et al., 2018).

2.2 Órteses e próteses

São os dispositivos de auxílio à locomoção, explicados em detalhes a respeito das funções e aplicações nas seções a seguir.

2.2.1 Próteses

Para amputados são utilizadas exopróteses, que podem ser de dois tipos: prótese de soquete e prótese intraóssea transcutânea para amputados (ITAP) (MICH; KAUFMANN, 2018).

A ITAP requer uma endoprótese, implantada no osso do animal, em que a exoprótese se encaixa contornando algumas limitações do uso de prótese de soquete como, por exemplo, lesões de pele por atrito (Figura 7). O custo elevado desse tipo de prótese é um fator limitador de sua aplicação, pois requer cirurgia de implante da endoprótese (FITZPATRICK et al., 2011).

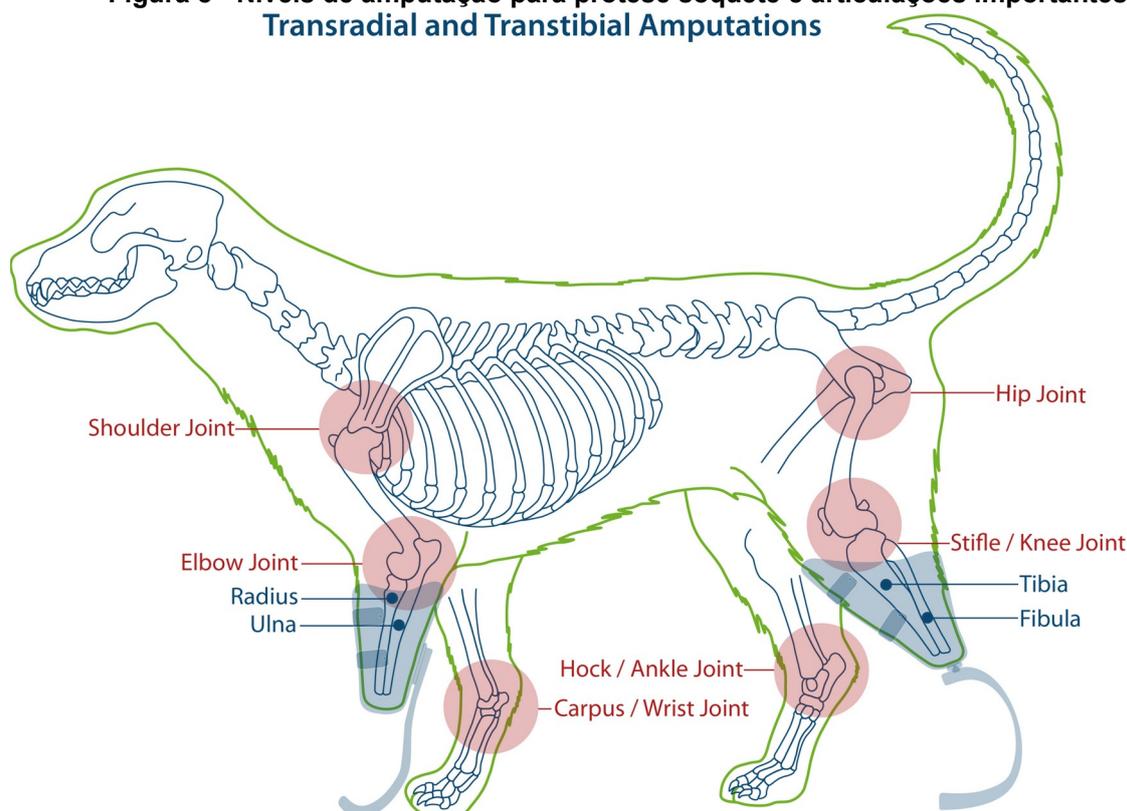
Figura 7 - Cão utilizando ITAP



Fonte: Fitzpatrick et al. (2011)

A prótese de soquete é uma opção para amputações parciais do terço proximal do rádio e ulna ou tíbia e fíbula (Figura 8) ou mais distais, desde que as articulações remanescentes estejam funcionais (MARCELLIN-LITTLE et al., 2015).

**Figura 8 - Níveis de amputação para prótese soquete e articulações importantes
Transradial and Transtibial Amputations**



Fonte: PawOpedic (2021)

A prótese de soquete é composta por diversas partes, sendo elas: o soquete, a haste e o dispositivo de contato com o chão. O soquete une o membro com a prótese, a haste promove suporte estrutural e altura correta do membro para o usuário e o dispositivo de contato com o chão pode tomar a forma de uma mão ou pé artificial, por exemplo (ADAMSON et al., 2005).

A satisfação dos tutores com o resultado do tratamento com próteses do tipo soquete é alta, especialmente para os cães que permanecem com a prótese por maior tempo, melhorando também a resposta clínica do paciente. Efeito semelhante foi observado em estudos com a percepção de pais acerca de crianças usuárias de prótese. A satisfação também mostrou ser independente do nível da amputação ao qual o cão foi submetido (WENDLAND; SEGUIN; DUERR, 2019)

2.2.2 Órteses

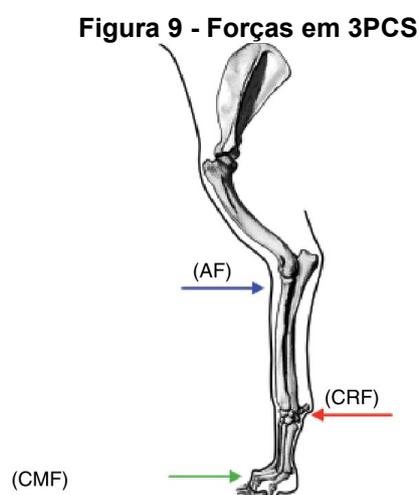
Órteses podem ter como funções: proteger ou imobilizar articulações, corrigir ou limitar movimentos indesejados e facilitar, controlar ou prevenir. As aplicações

podem envolver uma função isolada ou combinação de funções, a depender do caso clínico. Para avaliar a necessidade devem ser compreendidas as alterações patológicas no membro, para determinar o suporte e a rigidez necessários na órtese (ADAMSON et al., 2005).

As órteses podem ser separadas em três categorias principais, de acordo com a rigidez: rígidas, semirrígidas e não rígidas. A última é geralmente confeccionada em neoprene e tem aplicação em lesões menores, por oferecer grau baixo de estabilidade e suporte. As semirrígidas são muito similares às não rígidas, porém contam com um suporte rígido removível, promovendo maior estabilidade e suporte. As rígidas fornecem o grau máximo de suporte e estabilidade, são aplicadas para lesões de média e alta gravidade, por isso o ideal é serem feitas sob medida para cada paciente (TOBIAS; JOHNSTON, 2012)

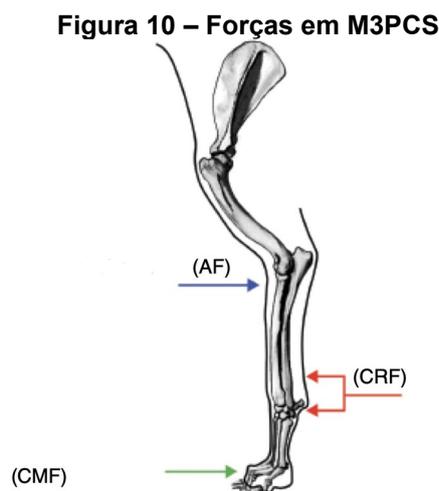
O funcionamento mecânico de órteses se dá pela aplicação de três forças no membro do animal: a força de fixação (AF), a força corretiva (CRF) e a força contra momento (CMF). A depender do objetivo desejado com a prótese, três tipos de sistemas podem ser aplicados: sistema corretivo de três pontos (3PCS), sistema corretivo de três pontos modificado (M3PCS) e sistema de acoplamento de forças (FC) (MICH; KAUFMANN, 2018).

O sistema 3PCS é o mais utilizado, e tem como objetivo parar, resistir e guiar a rotação de dois segmentos de membro em relação à articulação. Neste caso a CRF será aplicada no mesmo nível e em sentido oposto ao da instabilidade articular apresentada pelo paciente (Figura 9) (MICH; KAUFMANN, 2018).



Fonte: Mich; Kaufmann (2018)

O sistema M3PCS se diferencia do 3PCS pela aplicação da CRF não ser diretamente onde se deseja corrigir, a força passa a ser dividida em duas e aplicadas distal e proximalmente ao local em que seriam aplicadas no sistema 3PCS (Figura 10). Apresenta a vantagem de diminuir a pressão exercida no membro e a incidência de lesões pelo uso da órtese (MICH; KAUFMANN, 2018).



Fonte: Mich; Kaufmann (2018)

O sistema FC permite que os movimentos de extensão e flexão continuem normalmente, abolindo movimentos indesejados como, por exemplo, translação da tíbia, e é utilizado para tratamento de instabilidade gerada pela ruptura do ligamento cruzado cranial. Não há AF, CMF e CRF como nas outras duas, o controle estabelecido por esse tipo de órtese é dinâmico, dependendo da contração muscular para as forças corretivas (MICH; KAUFMANN, 2018).

2.3 Manufatura aditiva

Conhecida popularmente como impressão 3D, é o conjunto de processos nos quais são adicionadas sucessivas camadas de material a partir de um modelo digital tridimensional, geralmente originados de sistemas CAD (*Computer-Aided Design* – Desenho Auxiliado por Computador), para obtenção do produto. O modelo digital original é decomposto em planos horizontais que contém informações sobre onde há ou não material, e a junção sucessiva desses planos levará à construção peça completa, como ilustrado na Figura 11 (VOLPATO; CARVALHO, 2017).

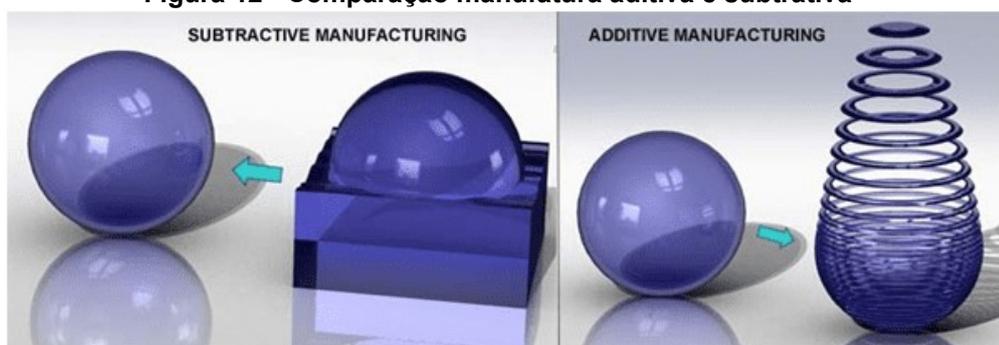
Figura 11 - Decomposição em planos da manufatura aditiva



Fonte: LWTsistemas (2016)

Em contrapartida existem os métodos de manufatura subtrativa, representados pelos processos de usinagem convencional, mais tradicionais, como torneamento, fresamento e outros processos em que camadas do material são retiradas para a obtenção da peça final, além de permitirem o uso de uma variedade maior de materiais para a fabricação (Figura 12) (NISHIMURA et al., 2016).

Figura 12 - Comparação manufatura aditiva e subtrativa



Fonte: LWTsistemas (2016)

Porém, o desperdício de material será maior, uma vez que gera pedaços pequenos que não podem ser reaproveitados, por mais que o projeto seja bem planejado (ABRÃO; NUNES, 2019).

Para a produção de uma única peça com a manufatura subtrativa os custos são altos, porém diminuem de acordo com a escala de produção. Já na manufatura aditiva, os custos permanecem os mesmos, seja para uma única peça ou um lote completo (THE ECONOMIST, 2012).

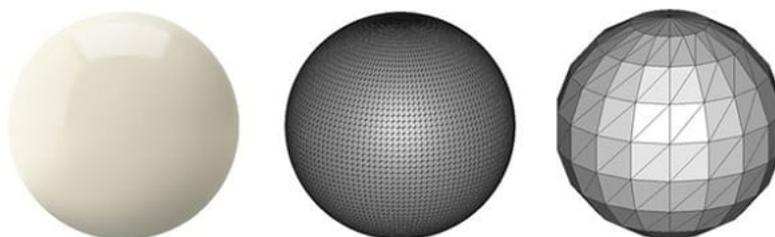
A flexibilidade de produção promovida pela manufatura aditiva possibilita designs personalizados sem os custos extras de adaptação de ferramental da manufatura subtrativa. A união da manufatura aditiva com processos de digitalização 3D expande as perspectivas acerca de produtos individualizados baseados no próprio cliente (KWOK et al., 2017).

2.3.1 Etapas do processo de manufatura aditiva

O processo se inicia com um modelo digital tridimensional da peça que se deseja produzir, geralmente obtido por meio de modelagem em programas CAD, mas também pode ser adquirido a partir de processo de digitalização tridimensional de um objeto e tratamento posterior em CAD. O arquivo então é convertido para o formato *STereoLitography* (STL), o mais utilizado para as tecnologias de manufatura aditiva (FOGGIATTO; SILVA, 2017)

O arquivo STL fornece uma lista de coordenadas de triângulos, criada a partir do arquivo CAD contendo o modelo tridimensional da peça, e a junção de todos os triângulos formando a superfície do objeto (Figura 13) (MELCHELS; FEIJEN; GRIJPMA, 2010).

Figura 13 - Processo de transformação CAD para STL

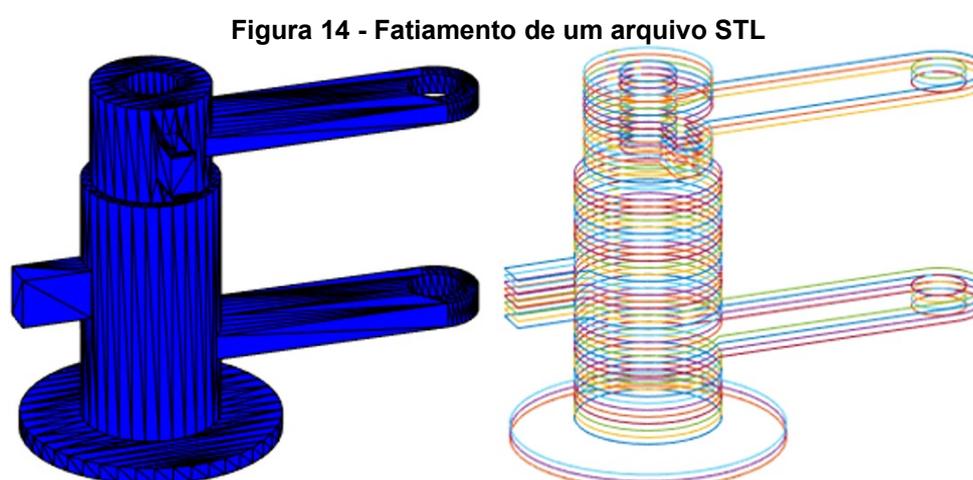


Fonte: LWTsistemas (2016)

Quanto maior o número de triângulos maior será a fidelidade da peça ao modelo CAD, porém o tamanho do arquivo será proporcionalmente maior. Em formas geométricas simples o impacto não é notado ao se utilizar um arquivo pequeno,

porém quando o modelo CAD contiver curvas deve ser utilizado um número maior de triângulos para obtenção de uma peça mais fiel e livre de superfícies facetadas. (LWTSISTEMAS, 2016).

O próximo passo é a transformação do arquivo STL em instruções para a máquina, que irá realizar o processo de deposição de material, “fatiando” o modelo em planos horizontais bidimensionais (Figura 14). A fidelidade da peça será inversamente proporcional à espessura das camadas (JIANG et al., 2016).



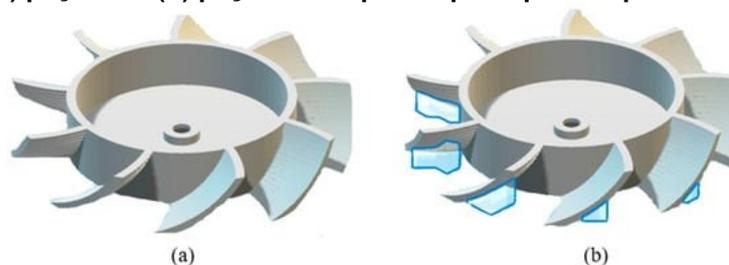
Fonte: Jiang et al. (2016)

A peça então é processada gerando um arquivo em formato G-code, geralmente pelo próprio *software* que “fatiou” a peça e contém centenas de instruções para que a máquina consiga produzi-la (ADDITIVE-X, 2021).

Após impressa, a peça passa por pós-processamento, que pode corresponder a até um terço do preço do produto. São 5 etapas: limpeza, conserto, cura, acabamento superficial e coloração. A primeira etapa envolve a remoção do material de suporte (Figura 15), que não faz parte do produto, mas é utilizado para fornecer sustentação durante a fabricação, e lavagem da peça. O conserto corrige eventuais pequenos defeitos da peça, como furos e rachaduras. A cura visa melhorar a qualidade estética e mecânica do material, mas somente é aplicado a materiais fotossensíveis, como resina acrílica. O acabamento superficial envolve lixamento ou uso de produtos químicos para obtenção de uma superfície mais lisa

para fins estéticos. A coloração faz a pintura do objeto, para a cor desejada no projeto ou pelo cliente (BEAMLER, 2019).

Figura 15 - (a) peça final (b) peça com suportes para que a impressão seja possível.



Fonte: Jiang et al. (2016)

2.3.2 Aplicações na área da saúde

A aplicação da manufatura aditiva vem trazendo grandes esperanças pela perspectiva de criação de órgãos e tecidos vivos no futuro. Enquanto isso não é viável, existem diversas outras aplicações reais para a manufatura aditiva no presente, como será discutido a seguir (ZERO HORA, 2019)

Uma das aplicações é a produção de biomodelos, que são reproduções fiéis de partes anatômicas baseadas em exames de imagens (Figura 16), como: Ressonâncias, ultrassom e tomografias. O uso de biomodelos possibilita melhor compreensão para o cirurgião, especialmente em casos difíceis, por criar uma peça manipulável em que procedimentos podem ser testados antes de operar o paciente (JAVOID; HALEEM, 2018).

A manufatura aditiva também pode ser aplicada no ensino de anatomia. Muitas peças são frágeis por natureza, o que torna sua manipulação restrita, considerando as barreiras financeiras, éticas e jurídicas envolvidas na aquisição de materiais de reposição. A manufatura aditiva permite obtenção de modelos confiáveis e duráveis, além de possibilitar a expansão do acervo de peças patológicas e com variações anatômicas, de difícil obtenção (MATOZINHOS et al., 2017).

Figura 16 - biomodelo feito por manufatura aditiva para planejamento de cirurgia de coluna



Fonte: GRANT et al. (2016)

Outro uso da manufatura aditiva é na confecção de órteses e próteses. Um dispositivo personalizado para o paciente apresenta melhores resultados e encaixe mais preciso do que a alternativa comercial de larga escala, aumentando a satisfação do paciente. No momento há limitações financeiras e/ou de resistência de material para aplicação mais ampla na medicina humana (CHEN et al., 2016).

2.3.3 Processo por extrusão de material

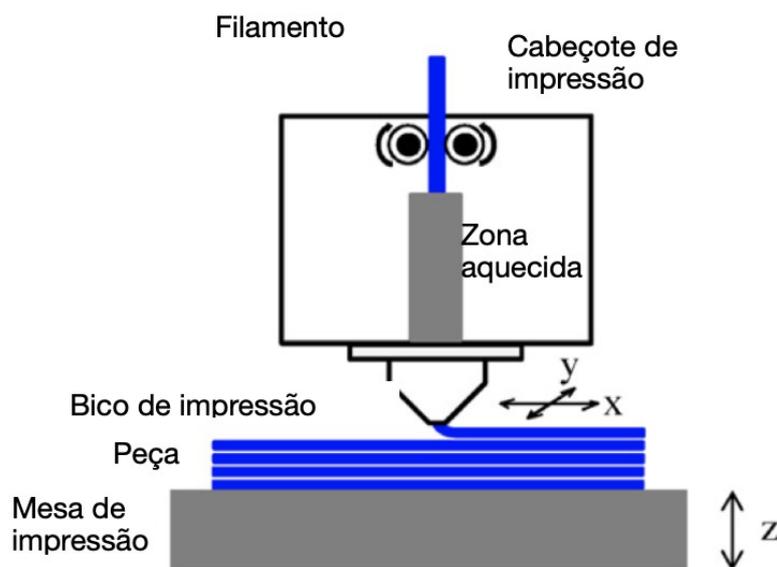
De acordo com o comitê ASTM F42, os processos de manufatura aditiva podem ser divididos em 7 tecnologias: jateamento de material, energia de deposição direta, leito de pó, jateamento de aglutinante, extrusão de material, laminação de folhas e estereolitografia (ASTM, 2009).

Em máquinas da fabricante *Stratasys* a tecnologia por extrusão de material recebe o nome registrado de FDM (*Fused Deposition Modelling* ou Modelagem por Fusão e Deposição). Para os demais fabricantes o processo é denominado de “por extrusão de material”. Devido a facilidade de uso e ao baixo custo de equipamento e materiais, se tornou o modelo mais popular atualmente.

A partir do arquivo com as instruções para a máquina, essa tecnologia utiliza um filamento termoplástico que é conduzido por dois rolos tracionadores para dentro do cabeçote, onde é aquecido com temperatura controlada e exerce pressão para a extrusão do material. O termoplástico fundido é depositado em uma plataforma, de acordo com os parâmetros determinados no “fatiamento” efetuado nas etapas anteriores do processo (velocidade do cabeçote, espessura das camadas, direção

de deposição do material, entre outros). O movimento é feito em 3 eixos, sendo o movimento do cabeçote responsável nos eixos x e y enquanto a plataforma realiza o movimento no eixo z afastando ou se aproximando o cabeçote. Em alguns modelos de impressora o cabeçote pode se movimentar nos eixos x e z e a mesa no eixo y (Figura 17) (ZEIN et al., 2002).

Figura 17 - representação esquemática do funcionamento do processo por extrusão de material



Fonte: Ahn et al. (2009)

Um diâmetro de bico extrusor de menor diâmetro e a altura das camadas tem influência direta na qualidade da superfície da peça, enquanto os outros parâmetros têm maior impacto sobre a distorção dimensional, devido ao resfriamento desigual das camadas, que gera tensões internas que deformam a peça. A qualidade superficial pode ser afetada pela necessidade de superfícies de apoio, pois o ponto de contato desta com a peça fica com rugosidade maior. Pode ser solucionado pelo uso de suportes solúveis, mas a confecção destes requer uma máquina que possua essa tecnologia. Tais defeitos superficiais podem ser corrigidos no pós-processamento (REDWOOD; FILEMON; GARRET, 2017)

2.3.4 Características mecânicas de peças feitas por extrusão de material

As peças fabricadas pelo processo por extrusão de material possuem características mecânicas inferiores quando comparadas a peças fabricadas com métodos tradicionais de fabricação, como a moldagem por injeção. Tais características são devidas à baixa resistência da interface entre camadas ao esforço e a defeitos aleatórios introduzidos durante o processo de fabricação (LOVO; FORTULAN, 2016).

A anisotropia, ou seja, a variação dependente da direção em que a propriedade é avaliada, está presente nas peças fabricadas por extrusão de material. É originada a partir da deposição direcional de material dentro de uma camada e a presença de diversas camadas que podem exibir defeitos de adesão entre elas. A variação no ângulo de deposição, por exemplo, levou a variação na resistência mecânica em estudos de Ahn et al. (2002). A peça fabricada com ângulos $45^\circ/-45^\circ$ suportou 65% da carga que a mesma peça suporta quando fabricada por injeção, enquanto a criada com ângulos de deposição de $0^\circ/90^\circ$ suportou 72% da carga. De preferência o esforço deve ser aplicado em direção axial a da deposição das camadas e não na interface entre estas, para melhor resistência final da peça (AHN et al., 2002).

2.3.5 Materiais utilizados

Historicamente, os materiais mais utilizados na manufatura aditiva por extrusão de material, são filamentos de PLA (ácido poliático) e ABS (acrilonitrila butadieno estireno), porém outros tem relevância mercadológica, por possuírem propriedades únicas (FORMLABS, 2022).

Os materiais que serão discutidos com mais atenção, serão o TPU (Poliuretano Termoplástico) e o PLA.

O TPU pertence a classe dos elastômeros termoplásticos, é um produto sintetizado pela reação entre polióis, dióis monoméricos e diisocianatos. Apresenta propriedades intermediárias entre elastômeros vulcanizados e termoplásticos, exibindo características de flexibilidade aliadas a resistência mecânica e à riscos. As propriedades mecânicas do TPU são bem heterogêneas, variando sua dureza de 30

a100 Shore A e resistência a tração de 20 a 60 MPa. A temperatura de fusão para este material é de 200°C a 220°C (PLASTICRANGER, 2021)

O PLA é um polímero termoplástico, com a característica distinta de ser derivado de fontes renováveis, biodegradável e de baixo custo. Tem sido amplamente aplicado na manufatura aditiva por possuir baixa temperatura de fusão (190 a 210 °C), facilitando a impressão, mas o torna inadequado para aplicações que envolvam temperaturas elevadas e que envolvam impacto, por sua baixa resistência a este. (PLASTICTANGER, 2021)

2.4 Digitalização tridimensional

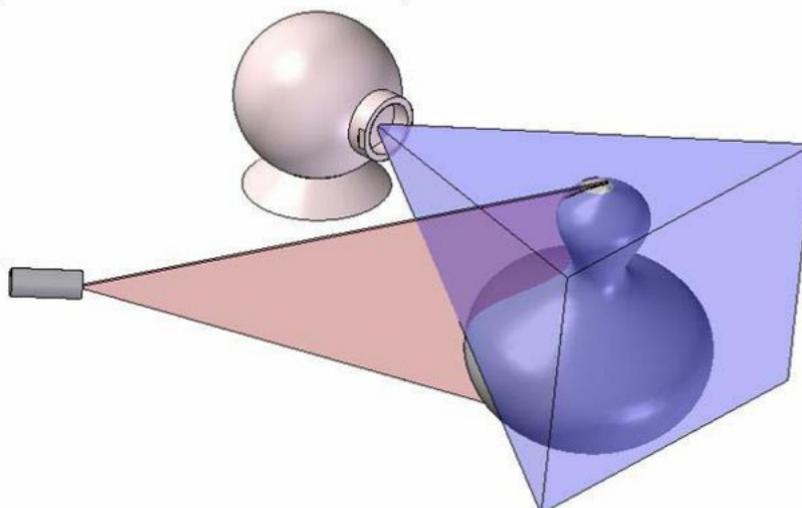
Existem diferentes métodos para a digitalização de um objeto ou superfície, o que gerou discussões acerca do que é um escâner ou digitalizador 3D. Os escâners ou digitalizadores 3D podem ser considerados quaisquer dispositivos que o façam captura de pontos, e suas respectivas coordenadas tridimensionais, na superfície de uma peça de maneira automática e sistemática, com alta taxa de obtenção e capaz de gerar resultados em tempo real (BÖHLER; MARBS, 2002).

A aplicação de digitalizadores 3D é feita em várias áreas de conhecimento, como: engenharia reversa, controle de qualidade, arquitetura, mídias digitais, artes e medicina (TÓTH; ŽIVČÁK, 2014).

Existem dois métodos principais para a digitalização tridimensional: os mecânicos e os ópticos. O método mecânico requer que o escâner encoste no objeto que precisa ser digitalizado, tem excelente precisão, mas pode levar dias até a imagem ficar pronta. Já o óptico tem funcionamento mais rápido, sendo que os sistemas a laser conseguem atingir precisão igual ao mecânico em uma fração do tempo (KUŞ, 2009).

Os sistemas a laser funcionam baseados na incidência deste sobre a superfície do objeto. O laser ilumina uma porção da peça a ser digitalizada e um sensor óptico captura a imagem (Figura 18), a subtração da imagem com o laser da imagem sem o laser gerará os pontos necessários para a digitalização (ACOSTA; GARCÍA; APONTE, 2006).

Figura 18 - Representação de digitalização por laser



Fonte: Acosta, García e Aponte (2006)

Outra opção de é o uso de aplicativos de celular para digitalização 3D, uma alternativa de menor custo quando comparado com os escâners a laser, os de melhor desempenho utilizam o sensor LiDAR (*Light Detection And Ranging – Detecção de luz e mensuração*) em conjunto com câmera do telefone.

O LiDAR funciona gerando rápidos pulsos de *laser* que são refletidos pelas superfícies que encontram, retornando para o sensor que registra as coordenadas (NEONSCIENCE, 2020). Enquanto a câmera fotográfica fará a captura de imagens do objeto, com precisão melhorada pelo uso do sensor LiDAR.

2.5 Considerações sobre a revisão de literatura

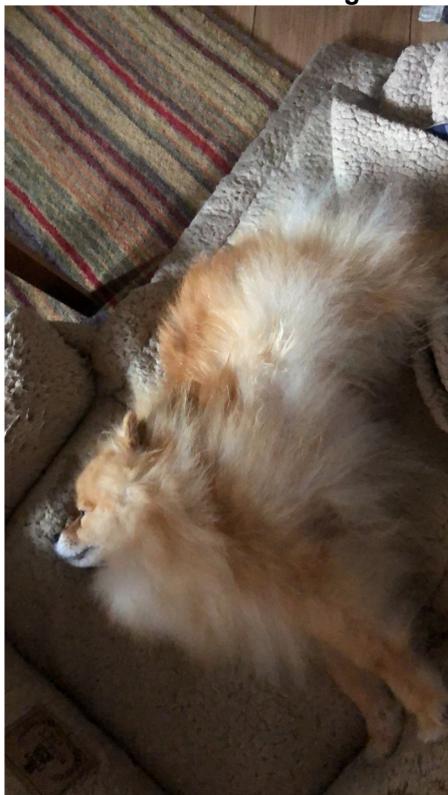
Os resultados da revisão de literatura evidenciaram a necessidade de sistemas de auxílio para cães com dificuldade de locomoção, para proporcionar melhor qualidade de vida a estes indivíduos. A órtese escolhida e seu projeto deve ser baseado no caso clínico selecionado, porém, para qualquer que seja o tipo do sistema de auxílio, a manufatura aditiva por extrusão de material demonstra ser o melhor processo para a sua fabricação, por proporcionar liberdade de formas sem penalização financeira pela peça única ou de forma complexa. A digitalização será feita com o uso de um aplicativo de *smartphone*, por ser uma tecnologia mais acessível que o escâner a laser, e ter resultados semelhantes e satisfatórios para esta aplicação.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O paciente selecionado como caso clínico do presente trabalho foi o cão de companhia da autora, uma fêmea da raça Spitz Alemão, com 4 anos de idade, pesando 3,5 kg com sequela neurológica em membro pélvico direito, decorrente de trauma mecânico causado por queda, apresentando unhas gastas típicas de perda de propriocepção, arrastando os dedos no chão na hora de caminhar.

O acidente ocorreu em 25 de março de 2021, cerca de um ano antes deste trabalho. No momento do acidente foi observada liberação de esfíncter, paraplegia de membros pélvicos e síndrome de Schiff-Sherrington, como visto na Figura 19, na qual há extensão severa dos membros torácicos, causada pela desinibição dos neurônios motores extensores, indicando lesão grave em região toracolombar da medula (DE LAUNTHA, GLASS, 2009).

Figura 19 - síndrome de Schiff-Sherrington no caso clínico



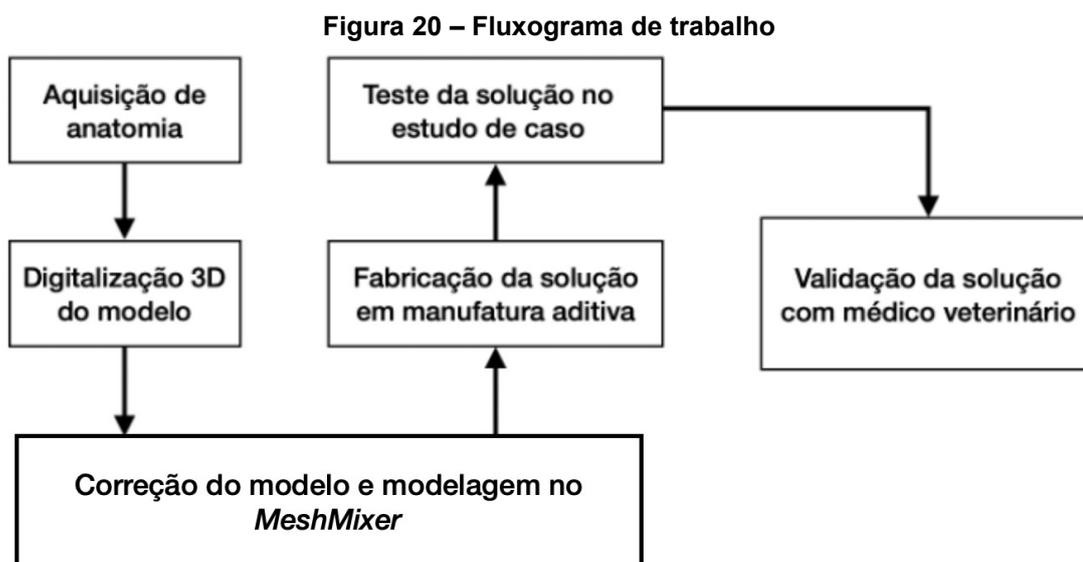
Fonte: A autora (2021)

Por meio de exames de imagem, foi constatada presença de duas hérnias discais Hansen tipo III, tipo de herniação de disco intervertebral traumática em que o núcleo pulposo da medula é ejetado em alta velocidade para o canal vertebral, gerando contusão medular. O cão foi operado para descompressão medular, por suspeita de lesões mais severas devido a imagens inconclusivas a respeito da causa da paraplegia obtidas no exame, descobrindo fraturas estáveis em duas vértebras durante a operação (DE LAUNTHA, GLASS, 2009).

O quadro evoluiu de maneira satisfatória com apoio de fisioterapia 1 vez por semana, iniciando 2 semanas após o acidente, por 3 meses. O cão voltou a andar em cerca de 1 mês e meio após o acidente, apresentando seqüela motora em membro pélvico direito, sendo incapaz de flexionar as falanges de maneira adequada e lesionando de maneira repetitiva por arrastar o membro no chão.

O método que foi utilizado para atingir os objetivos propostos para trabalho obedeceu às etapas descritas a seguir.

O desenvolvimento da órtese iniciou com a aquisição da anatomia do paciente, replicada em molde do membro onde será utilizada a órtese, a digitalização da anatomia do membro afetado em alginato e produção de um molde em gesso. Em seguida o molde em gesso foi digitalizado e o arquivo foi exportado para correção da malha tridimensional e modelagem do dispositivo. Após modelagem tridimensional, foi realizada a impressão de um protótipo para teste preliminar no paciente. Após correção de geometria e inclusão de fixação, uma versão final foi impressa e encaminhada para validação pela fisioterapeuta veterinária responsável pelo caso clínico, de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 20.



Fonte: A autora (2022)

3.1 Aquisição de anatomia

Para a aquisição de anatomia foi utilizado o alginato, comumente empregado na odontologia para produção de moldes de arcadas dentárias. Foi utilizado o alginato Dencrigel, da marca Dencril, preparado seguindo as instruções do fabricante, que recomenda 10,5g de pó de alginato para 18 ml de água (DENCRIIL).

As partes de alginato e água foram homogeneizadas em copo plástico descartável com auxílio de uma espátula e em sequência foi inserido o membro até a altura da articulação do joelho. Após a solidificação do alginato, o membro foi cuidadosamente retirado para obtenção do molde negativo no interior do qual foi vazado o gesso.

Para obtenção do molde positivo em gesso, foi utilizado gesso em pó na proporção 100g para cada 50 ml de água, de acordo com as instruções do fabricante *Gold Star*. Após a homogeneização, a mistura foi cuidadosamente despejada dentro do molde de alginato e removido após secagem completa (Figura 21).

Figura 21 -Modelo em gesso sem limpeza, molde bipartido de alginato ao fundo



Fonte: A autora (2021)

O modelo foi limpo com uma escova para prepará-lo para a próxima etapa.

3.2 Digitalização

Uma vez produzido o modelo em gesso, este deve ser transformado em arquivo digital para possibilitar o projeto por meio da modelagem CAD-3D. O método escolhido para realizar a digitalização foi pelo uso de *smartphone* com sensor LiDAR, por ser de mais fácil acesso e o processo mais rápido quando comparado com a digitalização por laser.

Após realização de pesquisa sobre diversos aplicativos de digitalização tridimensional para o sistema operacional do *smartphone*, modelo *iPhone 13 Pro Max*, foram selecionados três para teste: *SCandy Pro 3d Scanner* do desenvolvedor *Scandy Inc.*, *Trnio* do desenvolvedor *Trnio Inc.* e *3D scanner APP* do desenvolvedor *Laan labs*. As principais características foram elencadas no Quadro 2, para tomada de decisão. (ALL3DP, 3DSOURCED).

A comparação dos aplicativos levou em consideração principalmente recursos oferecidos por cada, custos envolvidos e opções de formatos de arquivo exportados.

Quadro 2 – Recursos gerais dos aplicativos testados

Aplicativo	<i>Scandy Pro</i>	<i>3D Scanner App</i>	<i>Trnio</i>
Preço	Grátis	Grátis	US\$ 4,99
Preço por exportação	US\$ 1,99 por semana	Sem custo adicional	Sem custo adicional
Formatos exportados	OBJ, STL, USDZ, GLB, PLY	OBJ, STL, USDZ, GLB, GLTF, FBX, DAE e <i>point clouds</i>	OBJ

Fonte: A autora (2022)

O próximo passo foi a comparação e avaliação das digitalizações. Para garantir a objetividade foi utilizado o protocolo *Mesh Analysis Protocol* ou Protocolo de Análise de Malha (MAP) que elenca possíveis erros durante uma digitalização (Figura 22). O protocolo instrui que a fórmula para determinar a pontuação obtida por uma digitalização deve ser individualizada e levar em conta a aplicação. Para cada erro deve ser estabelecido peso (representado por P na equação) e pontuação para o nível de erro presente na digitalização de acordo com os objetivos do projeto (representado por E na equação). Deve ser então calculada a pontuação máxima, multiplicando-se a máxima pontuação possível no erro (representa por ME na equação) pelo seu respectivo peso e realizando o somatório. No numerador deve ser deduzida a pontuação obtida em cada erro multiplicada pelo peso atribuído, de acordo com a Equação 1. Por fim, o resultado deve ser dividido pela pontuação máxima, para que a escala de avaliação varie entre 0 e 100 (SIERRA; OKIMOTO, 2021).

Equação 1 - Equação de avaliação da malha pelo protocolo MAP

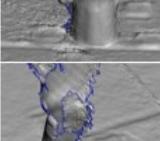
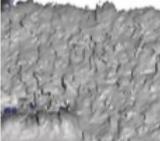
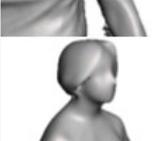
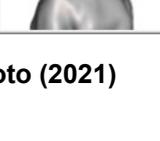
$$\frac{\{[(MEXP1) + (MEXP2) + (MEXPn) - (E1XP1) - (E2xP2) - (EnXPn)]x100\}}{[(MEXP1) + (MEXP2) + (MEXPn)]}$$

Fonte: Sierra, Okimoto (2021)

Deve ser também estipulada linha de corte para descarte da malha, no presente trabalho determinou-se que digitalizações com pontuação MAP abaixo de 70 seriam descartadas.

Alguns erros foram considerados irrelevantes ou fora do escopo da avaliação para este trabalho, uma vez que o foco é a avaliação do *software*, já que o *hardware* utilizado para todas as digitalizações foi o mesmo, portanto descartando erro de limitação de *software* e *hardware* por este motivo. Erros de calibração também foram descartados pois somente um sensor foi utilizado, assim como erros de movimentação, uma vez que o modelo a ser digitalizado é estático. Em sequência, foram atribuídos pesos e pontuações para os erros considerados relevantes de acordo com Quadro 3, contendo justificativa para a atribuição das notas.

Figura 22 - Erros possíveis em uma digitalização de acordo com o protocolo MAP

<i>Problema</i>	<i>Descrição</i>	<i>Exemplo</i>
Baixa precisão	Comparação entre as medidas obtidas com o escâner e outro meio.	
<i>Calibração</i>	Problemas com a calibração quando se utiliza mais de um escâner.	
Fusão de geometria	Agrupamento e ligação de partes separadas devido à proximidade.	
<i>Limitações de software e hardware</i>	Falhas devido a configuração experimental (tamanho e distância).	
Movimentação	Problemas de movimentação durante o escaneamento.	
<i>Objetos estranhos</i>	Geração de objetos no entorno da malha escaneada, geometrias falsas.	
Oclusão (buracos)	Aberturas na malha geradas a partir de sombras ou falta de alcance do escâner.	
Perda de malha	Problemas relacionados ao software, salvamento e dados corrompidos.	
<i>Qualidade superficial</i>	Saliências e triângulos em partes que são consideradas lisas.	
Reconstrução (erros de costura)	Problema no encontro e fechamento da malha conhecidos como erros de costura.	
<i>Simplificação</i>	Alisamento excessivo da malha sem consideração pela deformação dimensional.	

Fonte: Sierra, Okimoto (2021)

Quadro 3 – Pontuações e pesos para aplicação do protocolo MAP no trabalho

Critério	Peso	Pontuação	Justificativa
Baixa precisão – BP	1	1- As medidas não correspondem às reais 0- As medidas correspondem as reais	É um erro facilmente corrigido e que não interfere no dimensionamento geral do modelo.
Fusão de geometria - FG	3	3 – Fusões em áreas de geometria complexa 1 – Fusões em áreas de geometria plana simples 0 – não há fusões	Fusões, a depender do local em que ocorreram, podem gerar prejuízos consideráveis, uma vez que a geometria de fusão deve ser deletada e então criada de forma não fusional a partir de aproximações computacionais no local.
Oclusão (aberturas) - O	3	3- Oclusões em áreas de geometria complexa 2- fusões grandes em áreas de geometria plana 1- fusões pequenas em áreas de geometria plana 0- O modelo digital não apresenta fusões	As oclusões, assim como as fusões, têm gravidade dependente da localização, uma vez que a aproximação computacional da geometria faltante pode não ser precisa em áreas de geometria complexa.
Perda de malha - PM	5	3- Há perdas significativas de malha entre a digitalização exibida no celular e a visualizada no <i>software</i> de	Erro grave, pois dependendo da dimensão da perda torna a digitalização inutilizável ou altamente distorcida e

		<p>correção</p> <p>1- Não há perdas significativas</p> <p>0- Não há perdas</p>	<p>inadequada pela quantidade de aproximações computacionais de geometria</p>
Objetos estranhos - OE	5	<p>4- Presença de muitos objetos estranhos aderidos à peça</p> <p>3 – Presença de poucos objetos estranhos aderidos à peça</p> <p>2 – Presença de muitos objetos estranhos não aderidos à peça</p> <p>1 – Presença de poucos objetos estranhos não aderidos à peça</p> <p>0- Sem presença de objetos estranhos</p>	<p>Objetos estranhos devem ser corrigidos manualmente, adicionando, em alguns casos consideravelmente, a quantidade de trabalho para correção da malha. Se aderidos à peça será necessária deleção e consequente reconstrução por meio de aproximação computacional,</p>
Qualidade superficial - QS	4	<p>3- Apresenta superfície muito irregular</p> <p>2- Apresenta poucas irregularidades na superfície</p> <p>0- Não apresenta irregularidades na superfície</p>	<p>As ferramentas para correção superficial adicionam ou retiram medidas da peça para a homogeneização, prejudicando a fidelidade do modelo digital.</p>
Reconstrução (erros de costura) - R	2	<p>1- Apresenta erros de costura</p> <p>0- Não apresenta erros de</p>	<p>Correção é similar à de erros de qualidade superficial, porém em menor grau,</p>

		costura	acarretando em menores distorções dimensionais na malha
Simplificação - S	4	4- Simplificação exagerada, interface peça anteparo indefinida 2- Simplificação intermediária, contornos da peça mal definidos em certos locais 0- Não há simplificações consideráveis.	A simplificação pode obliterar detalhes anatômicos essenciais para o encaixe adequado, prejudicando a adaptação órtese no paciente.

Fonte: A autora (2022)

Os erros e pesos estabelecidos no Quadro 3 resultaram na Equação 2, de aplicação do MAP para este trabalho.

Equação 2 - Equação para aplicação de MAP no trabalho

$$\frac{[84 - (BP \times 1) - (FG \times 3) - (O \times 3) - (PM \times 5) - (OE \times 5) - (QS \times 4) - (R \times 2) - (S \times 4)] \times 100}{84}$$

Fonte: A autora (2022)

Para a digitalização a peça em gesso foi posicionada, sob boa iluminação, em superfície plana e de cor uniforme e diferente da peça, para gerar contraste e evitar erros de fusão com o fundo.

Primeiramente foi feita a digitalização da lateral da peça, movimentando o smartphone em 360° graus ao redor do modelo em velocidade e raio constantes, e então feita a digitalização do topo, movendo o celular em 180° verticalmente, este método foi utilizado exceto nos casos em que o aplicativo não indicasse um método.

Para comparativo e aplicação do protocolo MAP, as digitalizações foram abertas no *software MeshMixer* da empresa *Autodesk*, que destaca as oclusões identificadas na malha e possui ferramentas de medida da peça, para facilitar a avaliação pelo protocolo.

3.3 Correção do modelo no *MeshMixer*

Para a correção superficial da malha foi utilizado o *software MeshMixer*. O programa possui diversas ferramentas para correção superficial, análise e modelagem tridimensional. Entre elas está a ferramenta de preenchimento de oclusões, baseados em aproximações computacionais que levam em conta a geometria ao redor para realizar o preenchimento da forma mais próxima possível do que se assume ser a forma original.

Foi inicialmente recortada a base em que o modelo foi apoiado e que não é de interesse para o projeto, e então utilizada a ferramenta de correção automática de oclusões. Os defeitos restantes foram corrigidos manualmente para que o modelo se aproximasse o máximo possível do original.

Além dos defeitos na malha, foi corrigida a angulação entre os dedos e o metatarso, uma vez que o molde em gesso apresenta os dedos estendidos devido à lesão neurológica sofrida pelo paciente (Figura 23). Para a correção foi realizada uma sequência de 5 medidas tanto do membro acometido quanto do saudável com o cão em posição anatômica para estabelecer o ângulo ideal para confecção da órtese.

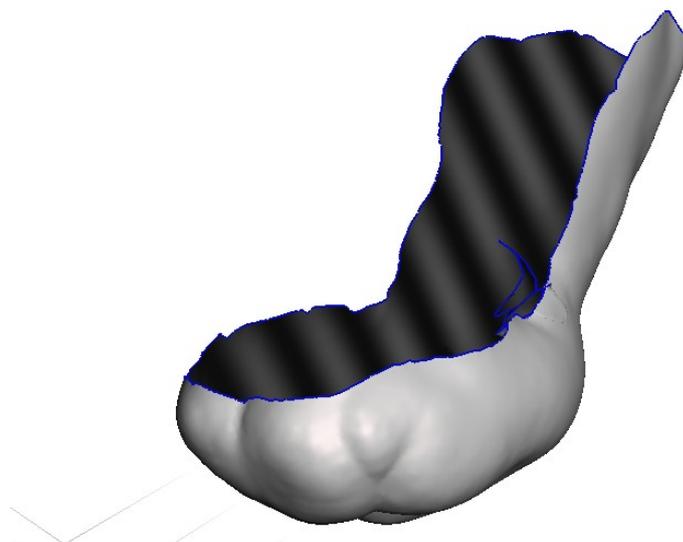
Figura 23 - Modelo com falanges em extensão

Fonte: A autora (2022)

Então foi realizada uma média das medições obtidas dos ângulos, foi aferida a distância entre a parte mais distal do membro pélvico até as articulações metatarsofalângicas, onde se estabeleceu o centro do giro, para aplicação manual do ângulo na peça.

Com o modelo corrigido o foi necessária a definição do material de conforto que será utilizado, e escolha espessura deve ser considerada no projeto. O Neoprene foi selecionado como material de conforto, com 3 mm de espessura, por ser mais macio e permitir maior transpiração que o EVA, material comumente utilizado para revestimento de órteses.

Com estas informações foi utilizada a ferramenta *offset* da região em que será utilizada a órtese, produzindo uma “casca” com 3 mm de distância em relação ao modelo digitalizado, como pode ser visto na Figura 24.

Figura 24 - Offset de órtese

Fonte: A autora (2022)

Novos erros surgiram com a criação do *offset*, e foram corrigidos com o mesmo método utilizado para correção inicial do modelo após exportação, com adição do passo de utilização da ferramenta suavizar fronteira, para que as bordas não fiquem com rebarbas que possam ferir o cão quando utilizando a órtese. Então foi definida uma espessura para a órtese de 2 mm, em direção normal à superfície externa da peça, restando apenas um passo para a fabricação do primeiro modelo.

Foi decidido que velcro seria utilizado como material para fixação da órtese no paciente, a tira de velcro foi colada na órtese com uso de cola de contato.

Para o segundo modelo algumas alterações foram feitas na órtese, seguindo o procedimento, de forma ligeiramente diferente, para resolver problemas de fixação não previstos na primeira versão. Para a segunda versão, foram adicionados ressaltos de 1 mm, para melhor posicionamento do velcro colado, a parte em contato com o chão foi suavizada de forma com que ficasse mais plana e as fronteiras da peça foram suavizadas manualmente, uma vez que a primeira versão apresentou bordas irregulares, como discutido à frente.

3.4 Fabricação por manufatura aditiva

Foi utilizada uma impressora 3D ENDER-3 PRO de extrusão de filamento, disponível no Núcleo de Manufatura aditiva e Ferramental (NUFER) para a produção das partes plásticas utilizando filamento de TPU.

Os parâmetros utilizados na fabricação de todos os protótipos e órtese definitiva podem ser vistos no Quadro 4.

Quadro 4 – Parâmetros de impressão utilizados

Parâmetro	Valor
Altura da camada	0,2 mm
Temperatura de impressão	220 °C
Velocidade de impressão	15 mm/s
Velocidade de impressão na parede	7,5 mm/s
Percentual de preenchimento	20%

Fonte: A autora (2022)

Após fabricação, as fixações com velcro e proteção interna para conforto em Neoprene foram inseridas manualmente e o encaixe e funcionalidades foram aferidos em teste no cão.

3.5 Validação

Para a validação foi utilizada versão modificada do questionário QUEST (*Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology – Avaliação da Satisfação do Usuário com a Tecnologia Assistiva de Quebec*), modificado para aplicação em medicina veterinária, especificamente para os médicos veterinários fisioterapeutas que acompanham o caso desde o pós-operatório imediato.

O questionário QUEST foi inicialmente desenvolvido com o intuito de avaliação de tecnologias assistivas pelo usuário, como ferramenta de avaliação clínica da necessidade e benefícios dos dispositivos. O questionário é dividido em 2 seções: a primeira é para avaliação de características do dispositivos, a segunda é a respeito de serviços prestados relacionados à tecnologia assistiva em questão (DEMERS; WEISS-LAMBROU; SKA, 2002)

O usuário deve responder os itens de acordo com escala numérica ente 1 e 5, marcando somente um número para cada pergunta e cada número correspondendo à satisfação do usuário, sendo: o número 1 corresponde a insatisfeito, o número 2 corresponde a pouco satisfeito, o número 3 corresponde a mais ou menos satisfeito, o número 4 corresponde a bastante satisfeito e o número 5 corresponde a totalmente satisfeito. A pontuação total do questionário é calculada pelo somatório das pontuações obtidas dividido pelo número de itens. A versão original do questionário, traduzida para o português, está disponível em Anexo A (CARVALHO; GOIS JÚNIOR; SÁ, 2014)

Para a adaptação, foram retiradas as palavras que se referiam à segunda pessoa tanto nas perguntas quanto no cabeçalho, restando referências somente ao dispositivo. Como a órtese desenvolvida é um protótipo e fabricada em tiragem única, foi decidido retirar a seção a respeito do serviço do questionário, uma vez que este não está disponível. Estas foram as alterações realizadas antes da aplicação do questionário, que pode ser consultado na Figura 25.

Figura 25 - Questionário QUEST modificado

266

REV BRAS REUMATOL. 2014;54(4):260-267

Anexo**Avaliação da satisfação do usuário com a Tecnologia Assistiva de Quebec****B-Quest (2.0)** Modificado para aplicação veterinária

Recurso tecnológico: _____

Nome do avaliador _____

Data da avaliação: _____

O objetivo do questionário QUEST é avaliar o grau de satisfação com seu recurso de tecnologia assistiva

O questionário consiste de 8 itens de satisfação.

- Para cada um dos 8 itens, avalie sua satisfação com o recurso de tecnologia assistiva que experimentou, usando a seguinte escala de 1 a 5:

1	2	3	4	5
Insatisfeito	Pouco satisfeito	Mais ou menos satisfeito	Bastante satisfeito	Totalmente satisfeito

- Circule ou marque o número que melhor descreve seu grau de satisfação com cada um dos 8 itens.
- Não deixe nenhuma pergunta sem resposta.
- Em caso de algum item com o qual você não tenha ficado "totalmente satisfeito", comente na seção **comentários**.

Obrigado por completar o questionário QUEST.

1	2	3	4	5
Insatisfeito	Pouco satisfeito	Mais ou menos satisfeito	Bastante satisfeito	Totalmente satisfeito

RECURSO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA

Qual é o seu grau de satisfação com:

1. as dimensões (tamanho, altura, comprimento, largura) do recurso de tecnologia assistiva? Comentários:			1	2	3	4	5
2. o peso do recurso de tecnologia assistiva? Comentários:			1	2	3	4	5
3. a facilidade de ajustar (fixar, afivelar) as partes do recurso de tecnologia assistiva? Comentários:			1	2	3	4	5
4. a estabilidade e a segurança do recurso de tecnologia assistiva? Comentários:			1	2	3	4	5
5. a durabilidade (força e resistência ao desgaste) do recurso de tecnologia assistiva? Comentários:			1	2	3	4	5
6. a facilidade de uso do recurso de tecnologia assistiva? Comentários:			1	2	3	4	5
7. o conforto do recurso de tecnologia assistiva? Comentários:			1	2	3	4	5

1	2	3	4	5
Insatisfeito	Pouco satisfeito	Mais ou menos satisfeito	Bastante satisfeito	Totalmente satisfeito

RECURSO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA

Qual é o grau de satisfação com: (continuação)

8. a eficácia do recurso de tecnologia assistiva (o quanto seu recurso atende às necessidades)?

Comentários: 1 2 3 4 5

- A seguir, consta uma lista com os mesmos 8 itens de satisfação. ESCOLHA OS 3 ITENS que você considera os mais importantes. Assinale um X nas 3 opções de sua escolha.

- 1) Dimensões 7) Conforto
 2) Peso 8) Eficácia
 3) Ajustes
 4) Segurança
 5) Durabilidade
 6) Facilidade de uso

B - QUEST**Folha de pontuação**

Esta página destina-se à pontuação de suas respostas.

NÃO ESCREVA NESTA PÁGINA

- Número de respostas inválidas _____

- Pontuação subtotal de Recurso _____

Nos itens de 1 a 8, acrescente a pontuação das respostas válidas e divida essa soma pelo número de itens válidos nesta escala.

Fonte: A autora (2022)

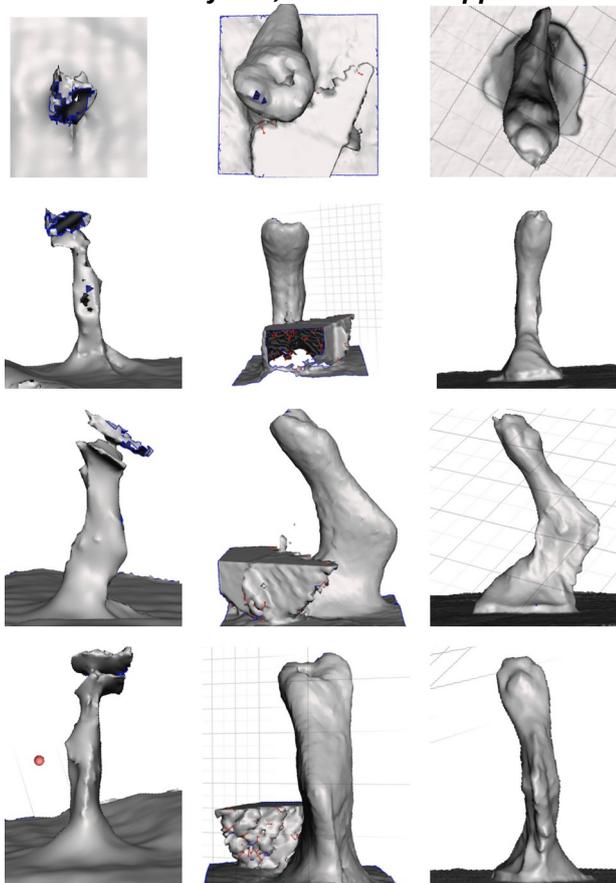
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela existência de diversos objetivos no trabalho, os resultados serão apresentados separadamente nas seções a seguir

4.1 Avaliação de digitalização

Seguindo o método descrito na seção anterior os resultados das digitalizações são exibidos na Figura 26.

Figura 26 - Comparativo das digitalizações obtidas com os aplicativos, da esquerda para a direita: *Scandy Pro*, *3D Scanner App* e *Trnio*.



Fonte: A autora (2022)

As pontuações obtidas, já multiplicadas pelos respectivos pesos, de acordo com os critérios estabelecidos no Quadro 3, podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 - Pontuação MAP obtida pelos aplicativos

	<i>Scandy Pro</i>	<i>3D Scanner App</i>	<i>Trnio</i>
<i>Baixa precisão</i>	1	1	1
<i>Fusão de geometria</i>	9	3	0
<i>Oclusões</i>	9	3	0
<i>Perda de malha</i>	0	0	0
<i>Objetos estranhos</i>	15	15	0
<i>Qualidade superficial</i>	0	0	0
<i>Reconstrução</i>	0	2	0
<i>Simplificação</i>	16	8	0
<i>Total absoluto</i>	34	52	83
<i>Total fórmula MAP</i>	40,4	61,9	98,9

Fonte: A autora (2022)

O resultado foi o descarte de duas das três digitalizações, de acordo com o critério de corte de 70 pontos pela fórmula MAP, mantido apenas o que foi considerado com digitalização excelente, de acordo com os critérios previamente estabelecidos para este trabalho. Alguns pontos nas digitalizações merecem destaque, como será visto à frente.

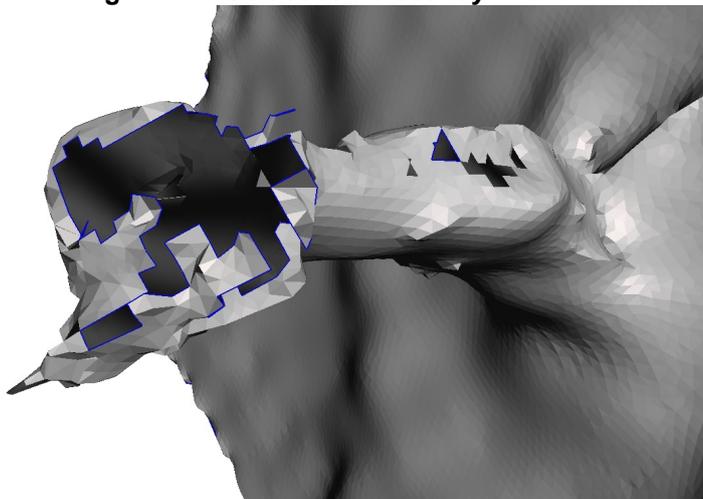
O aplicativo *Scandy Pro* apresentou a digitalização com menor pontuação no protocolo MAP e a que exigiu mais tempo para ser concluída (cerca de 2 horas, entre diversas tentativas) e necessitou de adaptação do método proposto.

De acordo com o desenvolvedor, o objeto a ser digitalizado deve estar no centro de base giratória, esta deve ser rotacionada com o modelo no centro do eixo de rotação, enquanto a câmera frontal do celular, com a tela do dispositivo apontada para o objeto que se deseja digitalizar, é utilizada para captura. No *smartphone* utilizado a câmera frontal possui sensor similar ao LiDAR, porém com alcance menor, quando comparado com a câmera traseira do celular, o que favorece o uso para escaneamentos de objetos pequenos. O empecilho do método está na dificuldade de visualização do que está sendo escaneado, apesar de o programa mostrar em tempo real o estado da digitalização, a tela do dispositivo está virada para o modelo (SCANDY).

O tempo de processamento da digitalização foi o menor dos três aplicativos testados, fornecendo resultados logo após o usuário encerrar a digitalização, diferindo muitas vezes do exibido na tela do celular.

Foram gerados erros graves e prejudiciais ao projeto, como oclusões grandes em áreas importantes, como os coxins do cão, como pode ser visto na Figura 27, e simplificação excessiva da geometria a ponto de a articulação metatarsal-falangeal do cão ser de difícil identificação.

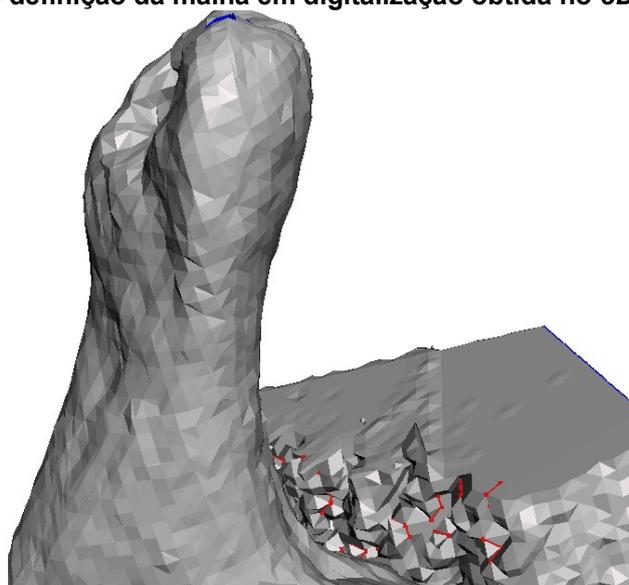
Figura 27 - Oclusões no Scandy Pro



Fonte: A autora (2022)

O aplicativo *3D Scanning App*, tem como foco a digitalização de grandes áreas, apesar de ofertar também modos de escaneamento para objeto, em versão de teste. O método de escaneamento similar ao do aplicativo *Scandy Pro*, com a câmera frontal do dispositivo, mas o *3D Scanner App* permite que seja utilizado método proposto neste trabalho para a uniformização das digitalizações na seção 3. Como pode ser observado no comparativo da Figura 26, e com mais detalhes na Figura 28, a malha resultante foi pouco densa, com grandes triângulos, gerando simplificações especialmente em regiões que contém mais detalhes na peça original.

Figura 28 - Detalhes de definição da malha em digitalização obtida no *3D Scanner App*



Fonte: A autora (2022)

O *3D Scanner App* apresenta recursos únicos de processamento de malha, como corte da digitalização direto no aplicativo antes de exportar, diminuindo a necessidade de processamento no programa *MeshMixer*.

O aplicativo *Trnio* recebeu a maior nota na digitalização, resultando em um modelo digital de qualidade muito superior na quantidade de detalhes capturados em comparação com os outros, apesar de ser o aplicativo que apresentou maior tempo de processamento entre os três, consumindo cerca de 15 minutos desde a digitalização até a disponibilização do resultado.

O programa foi o único que possibilitou uso da câmera traseira, com o sensor LiDAR para escaneamento do modelo. O tempo de digitalização foi o menor dos três aplicativos, cerca de 2 minutos.

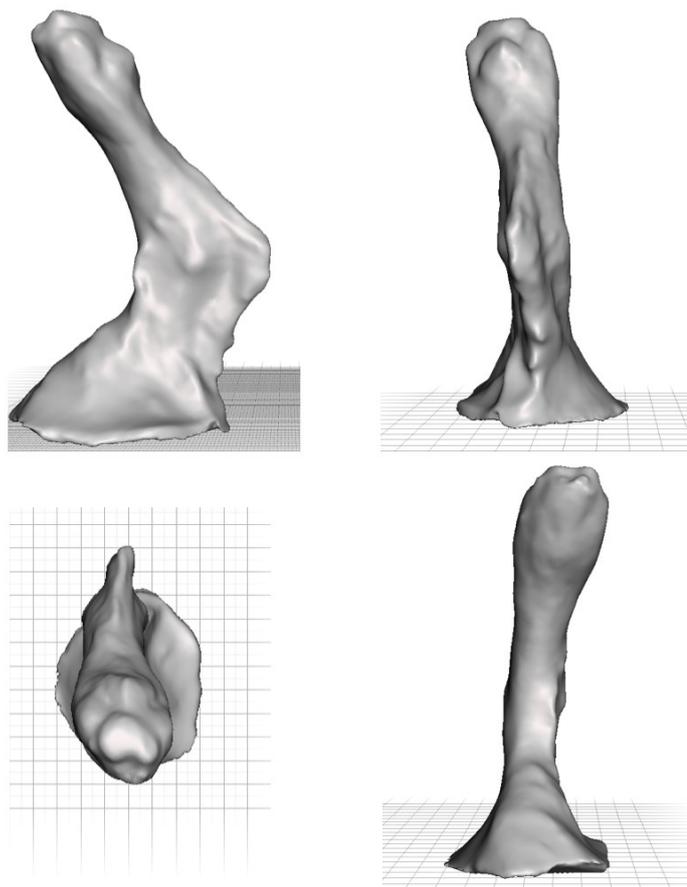
Todos os aplicativos apresentam propostas promissoras para acesso facilitado à digitalização tridimensional, com espaço considerável para melhorias. Tanto o *Scandy Pro* quanto o *3d Scanner App* foram inadequados para digitalização do modelo em gesso, em parte devido às dimensões reduzidas da peça (o diâmetro do metatarso é de 16 mm), pelo paciente ser um cão de porte pequeno. Todos os aplicativos apresentaram problemas quanto à precisão dimensional dos modelos digitais, apresentando medidas acima ou abaixo (na medida do que foi possível aferir devido às simplificações e oclusões presentes).

Diante do exposto, o aplicativo escolhido foi o *Trnio* pela facilidade, qualidade da digitalização e pontuação obtida no protocolo MAP. Apesar de ser um aplicativo pago e com somente um formato de arquivo, o valor compensa por possibilitar número ilimitado de exportações em formato *.obj*, compatível com a maior parte dos arquivos de visualização e edição de modelos 3D digitais.

4.2 Correção de malha e modelagem

Com as correções iniciais descritas na metodologia, o arquivo *.obj* foi importado para o programa *MeshMixer*, o resultado obtido foi o apresentado na Figura 29.

Figura 29 - Modelo com correção inicial no *MeshMixer*



Fonte: A autora (2022)

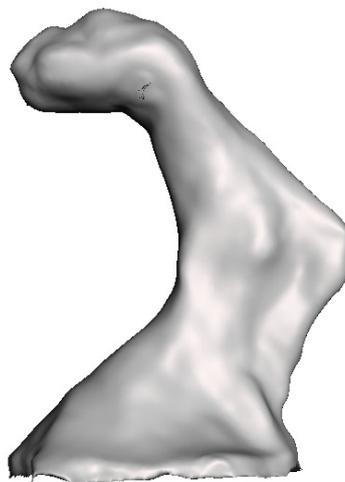
A retirada da base e o reparo preliminar da malha foram realizados com êxito, utilizando os recursos de preenchimento automático de oclusões, suavização e apagar e preencher (em casos de erros que não foram reparados com sucesso

com as duas primeiras ferramentas), obtendo superfície mais regular e eliminando a impressão dos pelos do cão.

A próxima correção necessária foi a correção do ângulo entre as falanges e o metatarso, que se encontrava em extensão. A média das medidas obtida foi de 73°.

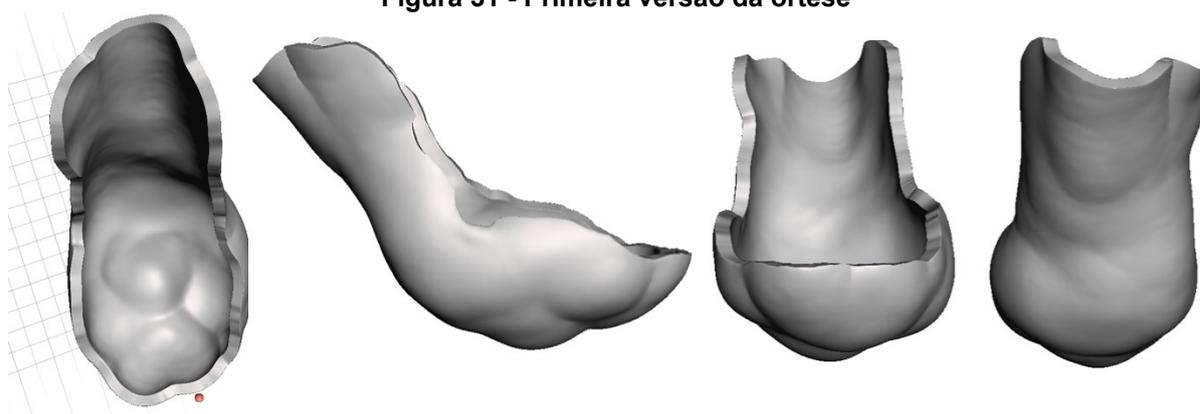
A aplicação do ângulo foi realizada com o corte na altura da articulação metatarsofalângica, gerando dois objetos separados, que foram unidos no ângulo desejado utilizando a ferramenta de translação para mover e rotacionar a peça menor até o ângulo desejado. Em seguida, foi utilizado o recurso de junção, que estima a trajetória provável e preenche o espaço entre as duas peças de forma a gerar novamente um corpo único, resultando na figura 30.

Figura 30 - ângulo entre falange e metatarso corrigido



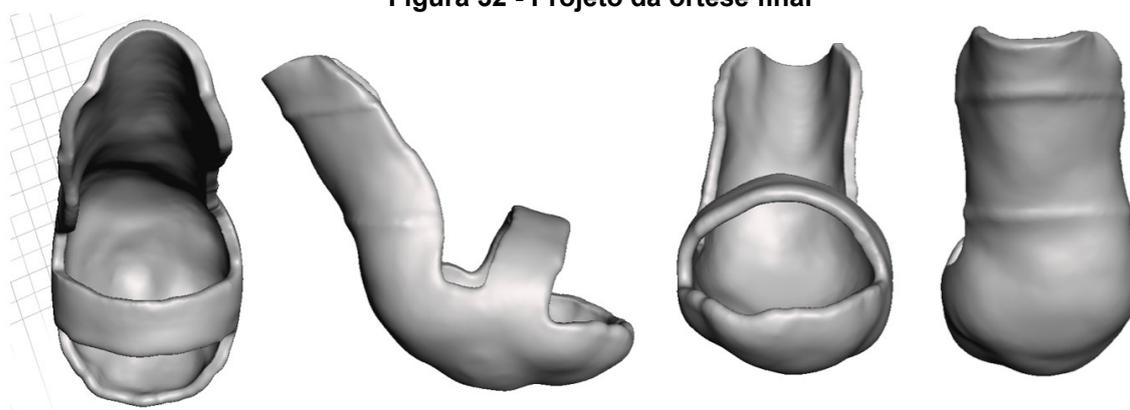
Fonte: A autora (2022)

A primeira versão da órtese é apresentada na Figura 31, um protótipo para testes de ajuste e para melhor visualização do encaixe da órtese no membro do cão, criado a partir de *offset* do modelo da Figura 30.

Figura 31 - Primeira versão da órtese

Fonte: A autora (2022)

Alguns detalhes passíveis de melhora foram identificados durante o teste no cão, como será relatado na seção seguinte, gerando a segunda versão e projeto final da órtese em 3D, que pode ser vista na figura 32.

Figura 32 - Projeto da órtese final

Fonte: A autora (2022)

4.3 Fabricação e testes

Foram geradas duas órteses, um modelo de teste e a órtese definitiva, seguindo os mesmos parâmetros de impressão apresentados anteriormente neste trabalho, com duração total de fabricação de cerca de 2 horas cada órtese.

O material escolhido para a fabricação da órtese foi o TPU de dureza 85 Shore A da fabricante 3D Fila, por suas características de resistências superiores

em relação ao PLA, sendo um dos plásticos mais resistentes para impressão 3D e adequado para fabricação de dispositivos para aplicação na área da saúde (XIAO; GAO, 2017).

O PLA é recomendado principalmente para confecção de protótipos, devido à facilidade de aplicação na manufatura aditiva, porém não é recomendado o uso para aplicação em próteses de animais de médio e pequeno porte, devido à sua característica de baixa resistência ao impacto (CROUCILLO et al., 2018).

A primeira órtese, exibida ainda na mesa de impressão na Figura 33, foi fabricada como intuito de servir como protótipo para identificação de pontos de melhoria durante os testes no cão.

Na imagem podem ser vistos alguns detalhes de suporte à impressão, existindo três principais: *Brim*, *Skirt* e *Raft*. O *Brim* cria um grande anel concêntrico e anexado às bordas da peça, favorecendo a adesão na mesa de impressão e evitando empenamento, especialmente nos casos em que o material utilizado é o ABS. O *Skirt* é a técnica mais comum, utilizada para verificar as condições de impressão e estabelecer fluxo uniforme de filamento antes de iniciar a peça principal, fabricando uma “saia” ao redor, mas que não toca a peça. O *Raft* cria uma base, em cima da qual a peça será impressa, auxiliando na adesão à mesa de impressão, mas também estabilizando peças com base pequena, como o caso da órtese, que possui superfície de apoio pequena e geometria orgânica, criando uma peça instável na qual o *Raft* foi escolhido para estabilização (SIMPLIFY3D).

Além do *Raft*, foi utilizada cola na mesa de impressão (visível ao redor da peça na Figura 33), para que a adesão na mesa fosse a maior possível para melhor estabilidade da peça.

Figura 33 - Primeiro modelo de órtese para testes.



Fonte: A autora (2022)

Foi instalado material de conforto, neoprene de 3mm de espessura, com uso de cola de contato, resultando na figura 34.

Figura 34 - Órtese com material de conforto instalado



Fonte: A autora (2022)

Alguns detalhes foram observados antes mesmo do teste de ajuste. As bordas da órtese ficaram irregulares, por ter sido criada em um arquivo muito semelhante ao *stl* (baseado em triângulos) e depois exportado para este formato, que não reproduziu com exatidão as curvas devido às aproximações geométricas por meio de tangentes com pouca densidade de triângulos. Para solucionar este problema, a malha foi refinada nas áreas de curva, de forma que mais triângulos

formem a tangente e a aproximação se assemelhe mais a um arco e não apresente risco de desconforto ao cão por presença de arestas irregulares.

Para dispositivos de fixação da órtese no membro do paciente, as seguintes opções estavam disponíveis: velcro, abraçadeiras de nylon e elásticos. Como o cão possui pelo longo, os elásticos foram logo descartados por apresentarem probabilidade muito alta de se prender aos fios e gerar desconforto para o cão. As abraçadeiras proporcionam boa fixação, porém a remoção é dificultosa, uma vez que deve ser cortada ou o laço deve ser aberto com auxílio de objeto fino e resistente, gerando estresse para o cão. O material escolhido então foi o velcro, por facilidade de fixação e remoção do dispositivo.

Optou-se por colar a fita de velcro na estrutura impressa da órtese, ao invés de criar uma abertura nas laterais como inicialmente considerado, pois esta última opção poderia tornar a peça frágil pois a lateral desta possui 10 mm, sendo necessária abertura de no mínimo 3 mm de espessura para fixação alternativa do velcro.

O velcro foi instalado no dispositivo, então este foi fixado no cão para teste de ajuste, com resultado retratado na Figura 35.

Figura 35 - Teste de ajuste da órtese, detalhe para altura da borda



Fonte: A autora (2022)

Dois fatores chamaram atenção no teste de ajuste, a começar pelo detalhe circulado na Figura 34, a altura da órtese neste ponto ficou exagerada dificultando a colocação da órtese e causando aparente incômodo ao cão. Ao andar com a órtese,

a região mais distal do membro não ficou bem fixada, se movimentando em relação ao membro enquanto o cão deambulava.

O outro problema notado foi que a órtese ficou muito justa. Apesar de o material de conforto ter 3mm de espessura, exatamente como previsto no projeto, causou desconforto no cão, dificuldade para instalação (para além do problema com a borda alta). Além de causar oscilação na marcha por contato precoce do dispositivo com o chão, devido ao incremento de altura pela altura do apoio da órtese, dificultando a extensão do joelho, que se mantinha parcialmente flexionado.

As causas da órtese ter ficado justa podem ter sido as mais variadas, como distorção dimensional durante confecção do molde, imprecisão na digitalização, correção inadequada das dimensões no *MeshMixer*. Foi decidido não realizar alteração da distância do *offset*, e realizar alteração da espessura do Neoprene para 2 milímetros, gerando folga teórica de 1 milímetro entre o membro do cão e material de conforto. Foi também corrigida a sola e parte interna do dispositivo, que acompanhavam a geometria dos coxins do cão, gerando áreas de maior altura, acentuando o efeito de oscilação na marcha. Para isto foi suavizada tanto a superfície interna como externa, apagando em parte a impressão dos coxins, de modo que a altura foi diminuída e a colagem do material de conforto favorecida por aumentar a área de contato da cola com a órtese e o neoprene pela geometria mais plana.

O projeto foi corrigido e a peça fabricada seguindo os mesmos parâmetros descritos no método utilizado, obtendo o resultado mostrado na Figura 36.

Figura 36 - Órtese em versão final



Fonte: A autora (2022)

Foi colado o material de conforto, neoprene com 2mm de espessura, o velcro foi colado na região dos ressaltos e foi colado EVA na área de contato com o solo da órtese, para evitar deslizamentos desta quando em fase de apoio, e utilizando a menor espessura disponível para não aumentar a altura do dispositivo, resultando na versão apresentada na Figura 37.

Figura 37 - Órtese com material de conforto e material de contato com o chão instalados



Fonte: A autora (2022)

O velcro foi então adicionado para teste de ajuste no cão. O material de conforto não foi adicionado à parte inferior da alça por dificultar a colocação da órtese na paciente, pela dificuldade que o cão possui de flexionar os dedos. O resultado da prova do dispositivo pode ser verificado na Figura 38.

Figura 38 - Prova final da órtese



Fonte: A autora (2022)

A órtese mostrou boa fixação, especialmente na área problemática do primeiro protótipo nas falanges. As correções foram realizadas com êxito, o segundo modelo foi definido como o que passará pelo processo de validação com veterinário.

A marcha do cão apresentou leve alteração quando a órtese definitiva foi vestida pela primeira vez. A modificação foi atribuída à necessidade de adaptação ao equipamento. Ao decorrer de uma semana utilizando o dispositivo, a marcha foi tornando-se cada vez mais próxima da normal, sem bater os dedos no chão devido à correção de movimento promovida pela órtese.

Estudos mecânicos feitos com corpos de teste impressos em parâmetros semelhantes aos utilizados neste trabalho (temperatura de 220 °C, preenchimento de 20%, dureza 95 Shore A) mostram resistência à tração de 25 Mpa, com alongamento na falha de 451,5% (WANG et al., 2020)

4.4 Validação

De acordo com método previamente descrito, a validação foi feita por meio de aplicação do questionário QUEST adaptado.

A órtese recebeu pontuação de 4,625 na versão modificada, que contava com 8 perguntas. Os pontos que não receberam nota máxima serão discutidos a seguir.

O primeiro item que recebeu nota 4 (bastante satisfeito) foi o peso da órtese, de 11 gramas, por ser elevado quando comparado ao porte do cão. Outra pergunta a receber avaliação de 4 estrelas foi sobre a estabilidade e segurança ofertadas pela órtese, não recebendo pontuação máxima por esta ser flexível. Ambas as características são oriundas do material utilizado na fabricação, o TPU, a troca é uma das soluções possíveis para resolução dos pontos problemáticos.

O percentual de preenchimento do material também pode ser alterado de modo que o peso da órtese seja reduzido, porém a peça se tornará mais flexível em consequência.

O último item que não recebeu pontuação máxima foi quanto ao conforto, pela alça da órtese não ter nenhum tipo de revestimento. A escolha de não revestir foi feita baseada na dificuldade para vestir a órtese com o revestimento instalado. Para trabalhos futuros há possibilidade de confecção de alça com velcro ou similar

que permita a abertura da alça, de modo que o material de conforto possa ser instalado sem prejudicar a

O projeto, apesar das ressalvas menores, foi bem aceito e aprovado, por ser um produto único e individualizado.

5 CONCLUSÕES

A órtese foi desenvolvida com sucesso, exigindo conhecimentos tanto de Engenharia Mecânica quanto de Medicina Veterinária para produção de dispositivo adequado ao paciente com o uso de manufatura aditiva, com potencial de desenvolvimento futuro e aplicação prática.

Para a realização do projeto foram avaliados, de acordo com protocolos pré-estabelecidos, aplicativos de digitalização, visando manter o baixo custo de aplicação e evitar a necessidade de aparelhos mais sofisticados para a digitalização das características anatômicas individuais dos pacientes. Da análise dos resultados foi concluído que o *software* utilizado tem grande influência no resultado do escaneamento, uma vez que o *hardware* utilizado para realizar todas as digitalizações foi o mesmo. Há muito espaço para melhorias e um futuro promissor para aplicativos de digitalização de baixo custo, especialmente se o objeto que se deseja digitalizar for de tamanho considerável, apesar de os aplicativos serem de baixo custo, os aparelhos que apresentam resultados melhores (com recursos como o sensor LiDAR) são os de custo mais elevado, mesmo assim custo inferior quando comparado a um digitalizador a laser.

A aplicação dos conhecimentos de Engenharia Mecânica foi essencial para elaboração do projeto e da seleção de materiais, tanto da órtese quanto para os apêndices desta. Apesar de a primeira versão possuir pontos importantes para serem melhorados, a segunda versão e definitiva apresentou resultados muito satisfatórios na etapa de testes.

Os resultados foram repetidos na etapa de validação com médico veterinário que acompanha o caso, obtendo pontuação elevada no questionário QUEST e oportunidades de melhoria que podem gerar trabalhos futuros a partir da conclusão deste.

Os objetivos propostos neste trabalho foram atingidos, evidenciando que o uso de ferramentas de digitalização tridimensional de baixo custo podem ser aplicadas com sucesso em projetos da área médica. Além de que a manufatura aditiva possui potencial considerável neste campo de sistemas de auxílio à locomoção, apesar das limitações como a anisotropia presente nas peças fabricadas.

REFERÊNCIAS

- A third industrial revolution. **The Economist**. 21 Abr. 2012. Disponível em: < <https://www.economist.com/special-report/2012/04/21/a-third-industrial-revolution>>. Acesso em 5 Nov. 2021.
- ABINPET (Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação). Mercado Pet Brasil 2021. **Dados do Mercado**, 2020. Disponível em: < <http://abinpet.org.br/mercado/>>. Acesso em 17 out. 2021.
- ABRÃO, J. S.; NUNES, V. G. A. ARTIGOS DESIGN DE PROJETOS COMPLEXOS : IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS NO USO DAS MANUFATURAS SUBTRATIVAS DESIGNING COMPLEX PROJECTS : THE ENVIRONMENTAL IMPLICATIONS IN THE USE OF SUBTRACTIVE MANUFACTURING PROCESSES. **Mix Sustentável**, v. 5, n. 5, p. 123–134, 2019.
- ACOSTA, D.; GARCÍA, O.; APONTE, J. Laser Triangulation for shape acquisition in a 3D Scanner Plus Scanner. **Proceedings - Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, CERMA 2006**, v. 2, p. 14–19, 2006.
- ADAMSON, C. et al. Assistive devices, orthotics, and prosthetics. **Veterinary Clinics of North America - Small Animal Practice**, v. 35, n. 6, p. 1441–1451, 2005.
- AHN, S. H. et al. **Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS**. [s.l.: s.n.]. v. 8
- Amputations in Dogs and Artificial Limbs. **PawOpedic**, 2021. Disponível em: < <https://www.pawopedic.com/amputations>>. Acesso em 25 out. 2021.
- Avanços na medicina veterinária geram qualidade de vida. **G1**, 2015. Disponível em: < <http://g1.globo.com/sp/bauru-marilia/mundo-pet/2014/noticia/2015/01/mundo-pet-avancos-na-medicina-veterinaria-geram-qualidade-de-vida.html>>. Acesso em 27 out. 2021.
- Best iOS and Android 3D Scanner Apps. **3dsourced**, 2022. Disponível em: < <https://www.3dsourced.com/3d-software/best-3d-scanner-apps-ios-android/>>. Acesso em 27 Abr. 2022.
- BÖHLER, W.; MARBS, A. 3D scanning instruments. **Proceedings of the CIPA WG 6 International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording**, p. 9–18, 2002.
- BRASS, W. Hip dysplasia in dogs. **Journal of Small Animal Practice**, v. 30, n. 3, p. 166–170, 1989.
- CARVALHO, K. E. C. DE; GOIS JÚNIOR, M. B.; SÁ, K. N. Tradução e validação do Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology (QUEST 2.0) para o idioma português do Brasil. **Revista Brasileira de Reumatologia**, v. 54, n. 4, p. 260–267, 2014.

CHAMBERS, Jerome; HULLETTE, Tobias. Os melhores apps de scanner 3D (Android/iPhone) de 2022. **ALL3DP**. 21 de Fev. de 2022. Disponível em: <<https://all3dp.com/pt/2/apps-scanner-3d-android-iphone-aplicativos/>>. Acesso em 27 br. 2022.

CHEN, R. K. et al. Additive manufacturing of custom orthoses and prostheses-A review. **Additive Manufacturing**, v. 12, p. 77–89, 2016.

COREN, Stanley. How Important Is Your Dog in Your Family and Social Life?. **Psychology Today**. 18 de Maio de 2017. Disponível em: <https://www.psychologytoday.com/us/blog/canine-corner/201705/how-important-is-your-dog-in-your-family-and-social-life>. Acesso em: 1 Nov. 2021.

Cranial Cruciate Ligament Medical Diagram. **PetMD**, 2016. Disponível em: <<https://www.petmd.com/dog/infographic/cranial-cruciate-ligament-in-dogs-medical-diagram>>. Acesso em 1 Nov. 2021.

CROUCILLO, A. et al. Avaliação Das Características Mecânicas Do Pla, impressa em 3d, para aplicação em próteses de animais de pequeno e médio porte. p. 221–225, 2018.

DEANGELIS, M. Patellar luxation in dogs. **The Veterinary clinics of North America**, v. 1, n. 3, p. 403–415, 1971.

DELAHUNTA, A.; GLASS, E. **Veterinary neuroanatomy and clinical neurology**. 3rd. ed. St. Louis: Saunders, 2009. 243 p.

DEMERS, L.; WEISS-LAMBROU, R.; SKA, B. The Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology (QUEST 2.0): An overview and recent progress. **Technology and Disability**, v. 14, n. 3, p. 101–105, 2002.

DENCRIGEL. **Dencril**. Disponível em: <http://www.dencril.com.br/portal/bulario/ft_dencrigel.pdf>. Acesso em 10 Abr. 2022.

DI DONA, F.; VALLE, G. DELLA; FATONE, G. Patellar luxation in dogs. **The Veterinary clinics of North America**, v. 1, n. 3, p. 403–415, 2018.

ELMRABET, N.; SIEGKAS, P. Dimensional considerations on the mechanical properties of 3D printed polymer parts. **Polymer Testing**, v. 90, p. 106656, 2020.

FAHIE, Maria. Amputation. *In*: GRIFFON, Dominique; HAMAIDE, Annick. **Complications in Small Animal Surgery**. 1 ed. Chichester: John Wiley & Sons, Inc, 2016. p. 735-743.

FITZPATRICK, N. et al. Intraosseous Transcutaneous Amputation Prosthesis (ITAP) for Limb Salvage in 4 Dogs. **Veterinary Surgery**, v. 40, n. 8, p. 909–925, 2011.

FOSTER, Gustavo. Impressão 3D na medicina: o que já existe e o que pode vir por aí. **Zero Hora**, 2019. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/saude/vida/noticia/2019/07/impressao-3d-na>>

medicina-o-que-ja-existe-e-o-que-pode-vir-por-ai-cjxopjti603kq01pkdqx6q4s7.html>. Acesso em: 13 Nov. 2021.

GORDON-EVANS, W. J. et al. Characterization of spatiotemporal gait characteristics in clinically normal dogs and dogs with spinal cord disease. **American Journal of Veterinary Research**, v. 70, n. 12, p. 1444–1449, 2009.

GRANT, C. A. et al. Use of 3D Printing in Complex Spinal Surgery: Historical Perspectives, Current Usage, and Future Directions. **Techniques in Orthopaedics**, v. 31, n. 3, p. 172–180, 2016.

GROSS, J.; FETTO, J.; ROSEN, E. **Musculoskeletal examination**. 4. ed. Oxford: Wiley Blackwell, 2016. 423 p.

HAYASHI, K.; MANLEY, P. A.; MUIR, P. Cranial cruciate ligament pathophysiology in dogs with cruciate disease: A review. **Journal of the American Animal Hospital Association**, v. 40, n. 5, p. 385–390, 2004.

HABIB, Sagar. What is TPU Material | How is TPU Plastic Made | TPU Filament Properties & Applications | Typer of TPU Films. **Plastic Ranger**, 2021. Disponível em: <<https://plasticranger.com/what-is-tpu-material/>> Acesso em: 1 Nov. 2021.

HABIB, Sagar. What is PLA Plastic (Polylactide) | A Simple and Definitive Guide. **Plastic Ranger**, 2022. Disponível em: <<https://plasticranger.com/what-is-pla-plastic/>> Acesso em: 1 Nov. 2021.

Howard, D. M. Artificial legs for a dog. **J. Am. Vet. Med. Assoc.**, v. 139, p. 564, 1960.

JARVIS, S. L.; WORLEY, D. R.; ET AL. Trotting After Amputation of a Thoracic Limb. **Ajvr**, v. 74, n. 9, p. 1155–1163, 2013.

JAVAID, M.; HALEEM, A. Additive manufacturing applications in orthopaedics: A review. **Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma**, v. 9, n. 3, p. 202–206, 2018.

KERWIN, S. C.; TAYLOR, A. R. Assessment of Orthopedic Versus Neurologic Causes of Gait Change in Dogs and Cats. **Veterinary Clinics of North America - Small Animal Practice**, v. 51, n. 2, p. 253–261, 2021.

KIRPENSTEIJN, J. et al. Ground reaction force analysis of large breed dogs when walking after the amputation of a limb. **Veterinary Record**, v. 146, n. 6, p. 155–159, 2000.

KUŞ, A. Implementation of 3D optical scanning technology for automotive applications. **Sensors**, v. 9, n. 3, p. 1967–1979, 2009.

KWOK, T. H. et al. Mass customization: Reuse of digital slicing for additive manufacturing. **Journal of Computing and Information Science in Engineering**, v. 17, n. 2, p. 1–8, 2017.

LOVO, J. F. P.; FORTULAN, C. A. Estudo de propriedades mecânicas e anisotropia em peças fabricadas por manufatura aditiva tipo FDM. **I Simpósio do Programa de**

Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da EESC-USP (SiPGEM/EESC-USP), n. 1, p. 2–8, 2016.

MARCELLIN-LITTLE, D. J. et al. Logistics of companion animal rehabilitation. **Veterinary Clinics of North America - Small Animal Practice**, v. 35, n. 6, p. 1473–1484, 2005.

MARCELLIN-LITTLE, D. J. et al. Orthoses and Exoprostheses for Companion Animals. **Veterinary Clinics of North America - Small Animal Practice**, v. 45, n. 1, p. 167–183, 2015.

MARKATOS, K. et al. Hallmarks of amputation surgery. **International Orthopaedics**, v. 43, n. 2, p. 493–499, 2019.

MATOZINHOS, I. P. et al. Artigo Original Impressão 3D: Inovações No Campo Da Medicina. **Revista Interdisciplinar Ciências Médicas**, v. 55, n. 31, p. 143–162, 2017.

MELCHELS, F. P. W.; FEIJEN, J.; GRIJPMAN, D. W. A review on stereolithography and its applications in biomedical engineering. **Biomaterials**, v. 31, n. 24, p. 6121–6130, 2010.

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**, v. 29, n. 1, p. 10–19, 2014.

MICH, P. M.; KAUFMANN, M. Veterinary Orthotics and Prosthetics. **Canine Sports Medicine and Rehabilitation: Second Edition**, p. 265–293, 2018.

NISHIMURA, P. L. G. et al. Prototipagem Rápida: Um Comparativo Entre Uma Tecnologia Aditiva E Uma Subtrativa. n. December, p. 4481–4491, 2016.

PASCUAL-GARRIDO, C. et al. Canine hip dysplasia: A natural animal model for human developmental dysplasia of the hip. **Journal of Orthopaedic Research**, v. 36, n. 7, p. 1807–1817, 2018.

Post-processing in 3D printing. **Beamer**, 2019. Disponível em: <<https://www.beamer.com/post-processing-3d-printing/>>. Acesso em 10 nov. 2021.

Rafts, Skirts and Brims. **Simplify3D**, 2022. Disponível em: <<https://www.simplify3d.com/support/articles/rafts-skirts-and-brims/>>. Acesso em 5 jun. 2022.

REDWOOD, B.; FILEMON, S.; GARRET, B. **THE 3D PRINTING HANDBOOK – Technologies, Design and Applications**. 1. ed. Amsterdam: Coers & Roest, 2017.

ROCHA, FÁBIO PERÓN COELHO DA SILVA, D. DA; BENEDETTE, MARCELO FRANCISCHINELLI SANTOS, DENISE ALMEIDA NOGUEIRA DOS COSTA, E. A. DE A. Displasia coxofemoral em cães. **Revista de Educação Continuada em Medicina Veterinária e Zootecnia do CRMV-SP**, v. 12, n. 2, p. 52–53, 2014.

ROSENTHAL, A. M. Normal and abnormal gait patterns. **IMJ. Illinois medical journal**, v. 136, n. 1, p. 50–54, 1969.

ROSSETO, L. P. et al. Alternativas no tratamento de osteoartrite. **Investigação Medicina Veterinária**, v. 17, n. 3, p. 6–12, 2018.

ROTH, Annie. Uma pata a menos? Sem problemas. Animais com membros amputados podem viver bem. **National Geographic**, 2018. Disponível em: <<https://www.nationalgeographicbrasil.com/animais/2018/10/uma-pata-menos-sem-problemas-animais-com-membros-amputados-podem-viver-bem>>. Acesso em: 14 Nov. 2021.

SIERRA, I. DE S.; OKIMOTO, M. L. Proposta de Protocolo de Análise da Malha escaneada (MAP). **Design e Tecnologia**, v. 11, n. 22, p. 83–92, 2021.

SPINELLA, G.; ARCAMONE, G.; VALENTINI, S. Cranial cruciate ligament rupture in dogs: Review on biomechanics, etiopathogenetic factors and rehabilitation. **Veterinary Sciences**, v. 8, n. 9, 2021.

ST JEAN, G. Amputation and prosthesis. **The Veterinary clinics of North America. Food animal practice**, v. 12, n. 1, p. 249–261, 1996.

TOBIAS, Karen M.; JOHNSTON, Spencer A. **Veterinary Surgery: Small Animal**. 1 ed. St. Louis: Elsevier, 2012.

TÓTH, T.; ŽIVČÁK, J. A comparison of the outputs of 3D scanners. **Procedia Engineering**, v. 69, p. 393–401, 2014.

WANG, J. et al. Research of TPU materials for 3D printing aiming at non-pneumatic tires by FDM method. **Polymers**, v. 12, n. 11, p. 1–19, 2020.

WASSER, Leah A.. The Basics of LiDAR - Light Detection and Ranging - Remote Sensing. **Neon**, 2020. Disponível em: <<https://www.neonscience.org/resources/learning-hub/tutorials/lidar-basics> >. Acesso em: 10 Nov. 2021.

WENDLAND, T. M.; SEGUIN, B.; DUERR, F. M. Retrospective multi-center analysis of canine socket prostheses for partial limbs. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 6, n. APR, 2019.

XIAO, J.; GAO, Y. The manufacture of 3D printing of medical grade TPU. **Progress in Additive Manufacturing**, v. 2, n. 3, p. 117–123, 2017.

ZEIN, I. et al. Fused deposition modeling of novel scaffold architectures for tissue engineering applications. **Biomaterials**, v. 23, n. 4, p. 1169–1185, 2002.

ANEXO A - Questionário QUEST modificado

Anexo**Avaliação da satisfação do usuário com a Tecnologia Assistiva de Quebec B-Quest (2.0)**

Recurso tecnológico: _____

Nome do usuário: _____

Data da avaliação: _____

O objetivo do questionário QUEST é avaliar o grau de satisfação com seu recurso de tecnologia assistiva e os serviços relacionados que você usou. O questionário consiste de 12 itens de satisfação.

- Para cada um dos 12 itens, avalie sua satisfação com o recurso de tecnologia assistiva e os serviços relacionados que experimentou, usando a seguinte escala de 1 a 5:

1	2	3	4	5
Insatisfeito	Pouco satisfeito	Mais ou menos satisfeito	Bastante satisfeito	Totalmente satisfeito

- Circule ou marque o número que melhor descreve seu grau de satisfação com cada um dos 12 itens.
- Não deixe nenhuma pergunta sem resposta.
- Em caso de algum item com o qual você não tenha ficado "totalmente satisfeito", comente na seção **comentários**.

Obrigado por completar o questionário QUEST.

1	2	3	4	5
Insatisfeito	Pouco satisfeito	Mais ou menos satisfeito	Bastante satisfeito	Totalmente satisfeito

RECURSO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA
Qual é o seu grau de satisfação com:

1. as dimensões (tamanho, altura, comprimento, largura) do seu recurso de tecnologia assistiva? Comentários:			1	2	3	4	5
2. o peso do seu recurso de tecnologia assistiva? Comentários:			1	2	3	4	5
3. a facilidade de ajustar (fixar, afivelar) as partes do seu recurso de tecnologia assistiva? Comentários:			1	2	3	4	5
4. a estabilidade e a segurança do seu recurso de tecnologia assistiva? Comentários:			1	2	3	4	5
5. a durabilidade (força e resistência ao desgaste) do seu recurso de tecnologia assistiva? Comentários:			1	2	3	4	5
6. a facilidade de uso do seu recurso de tecnologia assistiva? Comentários:			1	2	3	4	5
7. o conforto do seu recurso de tecnologia assistiva? Comentários:			1	2	3	4	5

	1	2	3	4	5			
Insatisfeito	Pouco satisfeito	Mais ou menos satisfeito	Bastante satisfeito	Totalmente satisfeito				
RECURSO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA Qual é o seu grau de satisfação com: (continuação)								
8. a eficácia do seu recurso de tecnologia assistiva (o quanto seu recurso atende às suas necessidades)? Comentários:				1	2	3	4	5
SERVIÇOS Qual é o seu grau de satisfação com:								
9. o processo de entrega (procedimentos, tempo de espera) pelo qual você obteve o seu recurso de tecnologia assistiva? Comentários:				1	2	3	4	5
10. os reparos e a assistência técnica (manutenção) prestados para o seu recurso de tecnologia assistiva? Comentários:				1	2	3	4	5
11. a qualidade dos serviços profissionais (informações, atenção) que você recebeu pelo uso do seu recurso de tecnologia assistiva? Comentários:				1	2	3	4	5
12. os serviços de acompanhamento (serviços de suporte contínuos) recebidos para o seu recurso de tecnologia assistiva? Comentários:				1	2	3	4	5

- A seguir, consta uma lista com os mesmos 12 itens de satisfação. ESCOLHA OS 3 ITENS que você considera os mais importantes. Assinale um X nas 3 opções de sua escolha.

- | | |
|---|--|
| 1) Dimensões <input type="checkbox"/> | 7) Conforto <input type="checkbox"/> |
| 2) Peso <input type="checkbox"/> | 8) Eficácia <input type="checkbox"/> |
| 3) Ajustes <input type="checkbox"/> | 9) Entrega <input type="checkbox"/> |
| 4) Segurança <input type="checkbox"/> | 10) Reparos/assistência técnica <input type="checkbox"/> |
| 5) Durabilidade <input type="checkbox"/> | 11) Serviços profissionais <input type="checkbox"/> |
| 6) Facilidade de uso <input type="checkbox"/> | 12) Serviços de acompanhamento <input type="checkbox"/> |

B - QUEST**Folha de pontuação**

Esta página destina-se à pontuação de suas respostas.

NÃO ESCREVA NESTA PÁGINA

- Número de respostas inválidas _____

• Pontuação subtotal de **Recurso** _____
Nos itens de 1 a 8, acrescente a pontuação das respostas válidas e divida essa soma pelo número de itens válidos nesta escala.

- Pontuação subtotal de **Serviços** _____

Nos itens de 9 a 12, acrescente a pontuação das respostas válidas e divida essa soma pelo número de itens válidos nesta escala.