

Manufatura aditiva aplicada na fabricação de dispositivos assistivos para animais

Submissão: 13/10/2025

Aceite: 31/05/2026

Luiz Eduardo Santana de Souza¹, Bruno Pinheiro Advíncula², Amália Turner Giannico³, Karin Graf⁴, Maria Fernanda Pioli Torres⁵, José Aguiomar Foggiatto⁶, Maria Lúcia Leite Ribeiro Okimoto⁷, Sérgio Fernando Lajarin^{8*}

¹Universidade Federal do Paraná, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 – Jd. das Américas, Curitiba/PR, ORCID: 0009-0001-3405-8329

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná, R. Deputado Heitor A. Furtado, 5000 - CIC, Curitiba/PR, ORCID: 0009-0002-2918-3085

³Universidade Tecnológica Federal do Paraná, R. Deputado Heitor A. Furtado, 5000 - CIC, Curitiba/PR, ORCID: 0000-0001-9145-2763

⁴Universidade Federal do Paraná, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 – Jd. das Américas, Curitiba/PR, ORCID: 0000-0002-2477-8824

⁵Universidade Federal do Paraná, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 – Jd. das Américas, Curitiba/PR, ORCID: 0000-0001-9955-6647

⁶Universidade Tecnológica Federal do Paraná, R. Deputado Heitor A. Furtado, 5000 - CIC, Curitiba/PR, ORCID: 0000-0001-5393-3654

⁷Universidade Federal do Paraná, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 – Jd. das Américas, Curitiba/PR, ORCID: 0000-0002-1968-1964

⁸Universidade Federal do Paraná, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 – Jd. das Américas, Curitiba/PR, ORCID: 0000-0003-1205-2548

Autor para correspondência: Sérgio Fernando Lajarin – espanhol@ufpr.br

Resumo: A Manufatura Aditiva (MA) evoluiu da prototipagem para a manufatura de produtos finais complexos e de alto valor agregado. Diversos setores têm incorporado a MA em seus processos de desenvolvimento e fabricação, com destaque para a área da saúde que tem empregado amplamente na produção de instrumentos cirúrgicos, modelos anatômicos, próteses, órteses e implantes. No entanto, a sua aplicação na medicina veterinária ainda é recente e pouco explorada. Animais com deformações congênitas ou traumáticas frequentemente não utilizam dispositivos ortopédicos devida escassez de evidências científicas sobre sua eficácia, além do alto custo e da complexidade de sua fabricação. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver soluções assistivas personalizadas para dois animais com necessidades específicas, utilizando tecnologias de projeto e de fabricação de baixo custo. O primeiro caso envolveu uma cadela sem raça definida que sofreu amputação total do membro pélvico esquerdo. A região amputada foi digitalizada para a obtenção da anatomia e para o posterior desenvolvimento e fabricação de uma prótese articulada utilizando MA. O segundo caso envolveu um marreco com úlcera de córnea em um dos olhos, que necessitava de proteção contra traumas e de instilação de colírios para tratamento. Para este animal, foi realizada, no projeto e na fabricação, por MA, uma digitalização indireta e a fabricação de um capacete de proteção para o olho direito. Em ambos os casos, foi possível demonstrar a versatilidade da MA na criação de dispositivos personalizados que promovem a qualidade de vida e viabilizam tratamentos para diferentes espécies animais.

Palavras-chaves: Manufatura aditiva, impressão 3D, medicina veterinária, prótese, saúde veterinária.

1. Introdução

Por mais de um século, os produtos industriais se limitavam às capacidades de fabricação dos processos tradicionais de usinagem, conformação, moldagem, entre outros. A manufatura aditiva (AM, do inglês *Additive Manufacturing*) muda fundamentalmente isso e viabiliza a criação de objetos sob demanda, complexos, *free-forms* e com diversas características antes impensadas (Fischer et al., 2004). A AM é a maior novidade na área da manufatura nas últimas três décadas (Thompson et al., 2016; Sossou et al., 2018). Seu diferencial é o método de fabricação por adição sucessiva de camadas de material, com base em informações de um modelo 3D computacional (Volpato, 2017).

Atualmente, a norma ISO/ASTM 52900:2021 classifica a AM em sete categorias, diferenciadas pela forma como os materiais são processados. Enquanto algumas categorias e tecnologias ainda são restritas a grandes corporações e centros de pesquisa, outras, devido à sua simplicidade operacional, ao custo acessível e à ampla disponibilidade de material, são mais difundidas. Destacam-se, entre essas, a fabricação por extrusão de material em forma de filamento fundido (FFF). Esse processo utiliza materiais poliméricos em forma de filamentos, que são aquecidos e extrudados por meio de um bico metálico.

Diversos setores têm empregado a MA na prototipagem e no desenvolvimento de produtos, na fabricação de ferramentais e também na produção final. Na fabricação de produtos finais, destaca-se a área da saúde, que demanda produtos e soluções alinhados às potencialidades da MA, como elevado grau de personalização, concepção rápida e fabricação de geometrias complexas, entre outras. As principais aplicações da MA na área da saúde incluem a fabricação de tecidos e órgãos (Frankowski et al. 2023), a elaboração de modelos anatômicos (Santos et al. 2025), o desenvolvimento de próteses e implantes personalizados (Mendoza-DeCal et al., 2023), soluções farmacêuticas, especialmente em formas de administração de medicamentos (Dimitrov et al., 2023, etc). O emprego da MA na área da saúde ainda é recente, mas Culmone, Smit e Breedveld (2019) apontam que, apesar dos desafios ainda existentes em uma área tão nova, a MA representa uma grande oportunidade para melhorar o acesso à assistência médica em países em desenvolvimento, além de ser um avanço significativo rumo a uma medicina específica para o paciente. Kumar et al. (2021) indicam um crescimento expressivo de mais de 18 vezes nas publicações científicas que envolvem o emprego da MA na área médica entre 2011 e 2020.

Na medicina veterinária, as aplicações da MA são ainda mais recentes e há poucos relatos na literatura. Mesmo as órteses e próteses convencionais utilizadas na medicina veterinária ainda apresentam diversas limitações, como a adaptação às necessidades específicas de cada animal e o elevado custo dos dispositivos (Arauz et al., 2021). Lee (2021) menciona que essas dificuldades são exacerbadas pela escassez de experiência profissional na área, pela limitada disponibilidade de dispositivos personalizados e pela falta de resultados científicos consistentes sobre a eficácia dos tratamentos em pacientes veterinários. A aplicação da MA, embora

promissora, enfrenta obstáculos na pesquisa e no desenvolvimento de soluções específicas para a medicina veterinária e demanda mais estudos e avanços tecnológicos (Chopra, 2023).

Outra dificuldade observada na fabricação de órteses e próteses por MA é na etapa de modelagem do produto, que exige considerar aspectos de DFAM (*Design for Additive Manufacturing*) e de ergonomia para garantir a eficiência do produto. DFAM é um conjunto de regras e boas práticas que considera fatores como a tecnologia de MA a ser empregada, a geometria da peça, os materiais e o custo durante a modelagem, de modo a resultar em peças geometricamente otimizadas (Fischer et al., 2004). Por outro lado, a ergonomia na modelagem dos produtos deve considerar a interação do produto com o animal, visando garantir a eficiência, melhorar o uso, a adaptação e o bem-estar do animal. Wang (2024) explorou a aplicação da ergonomia no projeto de próteses caninas fabricadas por MA para melhorar a mobilidade de animais de estimação com deficiência e reduzir lesões secundárias decorrentes de próteses mal projetadas. Os projetos tradicionais de membros protéticos geralmente carecem de adaptabilidade, mas a ergonomia pode melhorar significativamente o conforto e a funcionalidade das próteses por meio de design personalizado e tecnologia eletrônica.

Diante disso, este trabalho tem o objetivo de contribuir para o avanço no desenvolvimento de soluções assistivas na medicina veterinária, desenvolvendo soluções personalizadas para dois animais, de espécies distintas, com necessidades especiais, utilizando DFAM e ergonomia na modelagem, tecnologias modernas de projeto, digitalização 3D e fabricação por MA de baixo custo.

2. Desenvolvimento

Com o objetivo de desenvolver soluções assistivas para dois animais com necessidades especiais, foram empregados conceitos de DFAM e de ergonomia para projetos personalizados, de rápida concepção e focados na fabricação de baixo custo por MA. Na sequência, os dois casos são descritos, cada um com suas peculiaridades.

2.1. Caso 1 – Prótese articulada

O primeiro projeto foi desenvolvido para uma cadela sem raça definida que sofreu amputação total do membro pélvico esquerdo. A cadela se adaptou a locomover-se sem uma das patas, de modo a compensar a falta do membro; porém, essa adaptação causa maior distribuição de peso sobre a pata traseira direita, que fica sobrecarregada, além de torcionar a coluna vertebral do animal, o que acarreta frequentes lesões.

A primeira etapa do projeto envolveu a digitalização direta para obtenção da anatomia do animal. O animal foi colocado em uma posição confortável, em pé, com apoio da tutora, para que permanecesse parado enquanto uma digitalização de 360° era realizada. A digitalização foi realizada por meio do aplicativo *Kiri Engine*, instalado em um smartphone modelo iPhone 14, versão iOS 18.1.1, resultando em uma superfície poligonal exportada na extensão STL (do inglês *Stereolithography*).

A superfície digitalizada foi editada no programa gratuito Meshmixer (Autodesk, EUA), no qual foi projetada uma interface para a fixação da prótese à anatomia da região pélvica do animal (Fig. 1).

A interface segue a anatomia do animal e possui aberturas circulares para reduzir o peso, o contato e permitir a ventilação. A ausência de coto torna a fixação da prótese mais difícil, e a solução adotada foi adicionar uma ancoragem na perna direita existente, ambas ligadas ao peitoral, para auxiliar na fixação da prótese/cão. Com base na digitalização do animal, foi projetada uma prótese articulada, modelada a partir da anatomia da região amputada, utilizando um sistema CAD 3D (do inglês *Computer-Aided Design*), empregando o DFAM, de modo a facilitar a fabricação por MA. A prótese desenvolvida conta com uma articulação que permite ao cão sentar ou deitar sem a retirada da própria prótese, proporcionando uma melhor adaptação às necessidades cotidianas do animal. As partes foram montadas com elementos de fixação, e a articulação foi projetada com parafuso na função de eixo e mola de torção para o retorno à posição vertical, assim que o cão volta a se erguer.

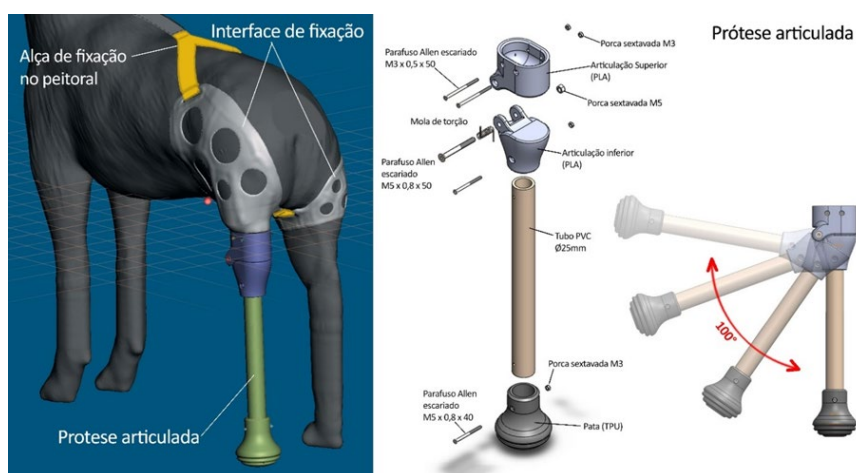


Figura 1 – Projeto da prótese articulada com a interface de fixação na anatomia digitalizada do animal.

Para a prototipação da maioria das peças, foi utilizado o processo de MA com o princípio FFF. A interface de fixação e a pata foram fabricadas com filamento flexível de TPU (termoplástico de poliuretano) para melhorar a adaptação e o conforto das peças ao corpo do cão; as demais peças foram fabricadas com filamento de PETG (polietileno tereftalato glicol) para aumentar a resistência mecânica do componente. O PETG é um polímero amplamente disponível, de baixo custo e de fácil processamento. Foi utilizada, na impressão 3D, uma máquina CR10 V2 da Creality, com volume de impressão de 300 x 300 x 400 mm (CxLxA), que possui mesa aquecida e estrutura aberta. O planejamento do processo de impressão foi realizado no programa *Open Source Ultimaker Cura 5.0*. Os principais parâmetros de impressão utilizados estão apresentados na Tabela 1. A haste principal da prótese foi fabricada com tubo de PVC de 25 mm de diâmetro. Na montagem da prótese, utilizou-se uma mola de torção para a articulação do joelho, além de elementos de fixação, como parafusos e porcas. Para a fixação da prótese ao peitoral, foram costuradas alças com velcro ajustáveis. Após a prototipagem das peças e montagem da prótese, ela foi testada no animal em um atendimento intermediado pela tutora do animal, pela veterinária do projeto e pela equipe de desenvolvimento.

Parâmetro	Valores	
	TPU	PETG
Altura da camada	0,2 mm	0,2 mm
Temperatura de impressão	230°C	232°C
Temperatura da 1ª camada	235°C	237°C
Temperatura da mesa de impressão	60°C	80°C
Veloc. de extrusão na 1ª camada	10 mm/s	20 mm/s
Veloc. de extrusão geral	20 mm/s	40 mm/s
Contornos sólidos na parede	4	4
Camadas sólidas inferior	4	4
Camadas sólidas superior	4	4
% de preenchimento interno	20%	20%
Geometria de preenchimento	Linear cruzada	Linear cruzada
Distância de retração	1mm	5 mm
Velocidade de retração	10 mm/s	50 mm/s

Tabela 1 – Principais parâmetros do processo de fabricação por MA em TPU e em PLA.

2.2. Caso 2 – Capacete de proteção

O segundo caso trata-se de um projeto de dispositivo para um marreco com úlcera de córnea no olho direito, cuja necessidade era a proteção do olho contra traumas, bem como impedir que a ave raspasse o olho em superfícies ásperas durante crises de dor ou prurido. Em virtude deste problema, o animal já havia perdido a visão do olho esquerdo. O dispositivo também precisava permitir a instilação regular de colírios para tratamento.

Para este animal, a digitalização direta por escaneamento foi descartada devido à dificuldade em mantê-lo estático até o final do processo. A anestesia também foi descartada por haver riscos à vida do animal. Para contornar este problema, foram tiradas fotos e realizadas medições da cabeça do marreco. Essas informações foram utilizadas para esculpir, em massa, plastilina, uma réplica da cabeça, região de interesse. Essa réplica foi digitalizada para o desenvolvimento do projeto e para a fabricação, por MA, de um capacete de proteção para o olho direito (Figura 2a).

A escultura da cabeça da ave foi digitalizada em um escâner de base giratória da *Matter and Form* (Canadá). A precisão da digitalização deste equipamento é de $\pm 0,1$ mm, e o volume de escaneamento é de 25 cm (altura) x 18 cm (diâmetro). Um arquivo na extensão STL foi gerado e exportado para o programa Meshmixer, para edição da superfície resultante. No próprio programa, foi projetado um capacete para proteção do olho direito, com os seguintes requisitos: leveza, ergonomia, conforto, facilidade de montagem e de fabricação por MA.

Na figura 2b, pode-se ver o projeto do capacete modelado sobre a superfície digitalizada. Para facilitar a montagem e a fixação, foi criada uma abertura na parte de trás, com furos para fixar com cordão ou fita. Áreas vazadas foram criadas para aumentar o conforto, reduzindo material, peso e área de contato.

Na região do olho doente, foi projetada uma calota de proteção com furos circunferenciais para garantir a visibilidade e um furo central para a administração de remédios. O capacete foi fabricado em TPU flexível para que a prótese se acomodasse melhor à cabeça, e os parâmetros de impressão foram os mesmos utilizados no projeto anterior e estão listados na Tabela 1.

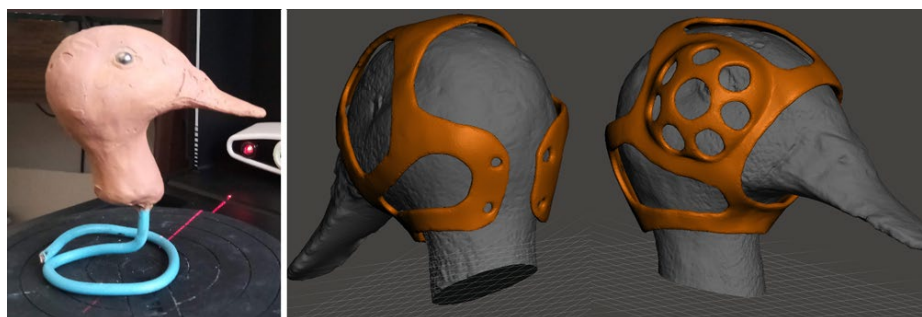


Figura 2 – Em (a), a digitalização 3D da escultura; em (b), o projeto do capacete sobre a superfície digitalizada.

2.3. Testes nos animais e avaliação

Ambos os dispositivos foram inicialmente montados nos animais, com a presença dos tutores e das médicas veterinárias do projeto, que orientaram os ajustes. Após um mês de uso, foi solicitado aos tutores o preenchimento de uma ficha de avaliação da satisfação com o dispositivo assistivo desenvolvido. Essa ficha foi adaptada da ficha de avaliação proposta por Demers, Weiss e Ska (2002), utilizada na avaliação de pessoas usuárias de soluções de Tecnologia Assistiva. O questionário contém doze perguntas sobre o grau de satisfação com o dispositivo utilizado. As respostas são dadas em uma escala de 1 a 5, em que: 1 - Insatisfeito, 2 - Pouco satisfeito, 3 - Mais ou menos satisfeito, 4 - Bastante satisfeito e 5 - Totalmente satisfeito. No final, essas notas são computadas e resultam em uma pontuação máxima. Além disso, foi solicitado aos tutores que, ao final, informassem os três itens de maior satisfação. Foram considerados aprovados os dispositivos que obtiverem nota final igual ou superior a quatro.

Avaliação da satisfação do cuidador/veterinário com o dispositivo assistivo instalado no animal com deficiência.

- O objetivo do questionário abaixo é avaliar o grau de satisfação com o dispositivo tecnológico assistivo e os serviços relacionados que um animal com deficiência está usando.

Dispositivo instalado: _____
Data da avaliação: _____
Qual espécie / raça do animal: _____
Idade do animal: _____
Qual a deficiência e causa: _____
Quanto tempo está usando o dispositivo: _____
Em média quantas horas diárias o animal usa o dispositivo? _____
O animal fez fisioterapia: _____
Observações extras: _____

• Para cada um dos itens, avalie sua satisfação usando a seguinte escala de 1 a 5:

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

- Por favor não deixe nenhuma pergunta sem resposta.
- Assinale entre as 12 perguntas as 3 mais importantes pra você.
- Obrigado por dedicar seu tempo e participar desta pesquisa. Esta pesquisa é totalmente anônima.

Nº	Qual é o seu grau de satisfação com o dispositivo assistivo:	Nota	3 mais import.
1	As dimensões (tamanho, altura, comprimento, largura)		
2	O peso		
3	A facilidade de ajustar (fixar, afivelar)		
4	A estabilidade e a segurança		
5	A durabilidade (acabamento, revestimento, rigidez, resistência, etc)		
6	A facilidade de uso		
7	O conforto		
8	A eficácia (o quanto o recurso atende às necessidades)		
9	O processo desenvolvimento e entrega (procedimentos, tempo de espera)		
10	Reparos e a assistência técnica (manutenção) prestados		
11	A qualidade dos serviços prestados (inform., atenção) recebida para o uso		
12	Os serviços de acompanhamento (serviços de suporte contínuos) recebidos		

Figura 3 – Ficha de registro do animal e de avaliação da satisfação com o produto assistivo.

3. Resultados e discussões

A digitalização direta da cadela (caso 1) por meio do aplicativo *Kiri Engine* (Shenzhen, China), instalado em um iPhone 14, gerou uma malha poligonal incompleta e com muitas falhas, conforme pode ser visto na Fig. 4. Foi necessária a correção extensa da malha e a modelagem complementar no programa Meshmixer (www.meshmixer.org/), usando como referência fotos e medidas do animal. O uso de um escâner específico para a digitalização de superfícies orgânicas poderia gerar um melhor resultado e reduzir o processo de modelagem. Somente com a superfície completamente reconstruída foi possível projetar a interface de fixação. Apesar da necessidade de uma grande reconstrução da superfície digitalizada, o resultado final da interface se ajustou bem ao animal, conforme pode ser visto na Fig. 5.

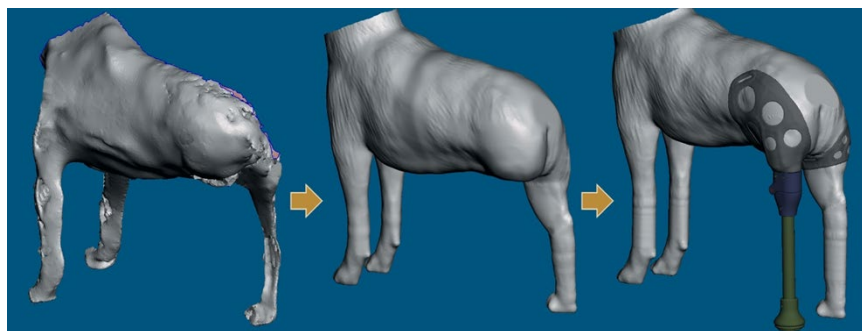


Figura 4 – Resultado da digitalização e da edição da superfície anatômica para o projeto da interface de fixação.



Figura 5 – Prótese fabricada por MA: (a) detalhe da articulação, (b) montagem e fixação e (c) treinamento de uso da prótese.

A digitalização indireta da cabeça do marreco, no caso 2, por meio do escaneamento da réplica em massa de modelar, foi uma estratégia bem-sucedida, pois gerou uma superfície poligonal de boa qualidade, sem aberturas na malha e com reprodução dos detalhes necessários. A alta qualidade da digitalização garantiu um projeto de capacete que se adequou perfeitamente ao animal, protegendo a região de interesse. O sucesso dessa estratégia dependeu da habilidade na modelagem manual da réplica, seguindo as medições do animal.

A fabricação por meio da MA por FFF, em ambos os casos, permitiu a obtenção de produtos com geometrias complexas, em material flexível, de baixo custo e com concepção rápida. A fabricação da prótese do caso 1 (cadela) levou quarenta e duas horas de impressão e custou R\$ 80,00 com filamentos, sendo trinta e cinco horas de impressão com TPU (450g, R\$ 67,00) e sete horas de impressão com PETG (106g, R\$ 13,00).

No caso 2, do marreco, a fabricação do capacete levou duas horas e consumiu em torno de 20 g de material, a um custo aproximado de R\$ 3,00.

No caso 1, após a fabricação e a montagem da prótese, esta foi montada no animal. A cadela, extremamente dócil e calma, deixou que a prótese fosse instalada facilmente. Em um primeiro momento, ela não entendeu o que estava acontecendo, mantendo o peso distribuído entre suas três patas. O primeiro passo para a adaptação da prótese foi forçar, gentilmente, a cadela a apoiar parte do seu peso sobre a prótese. Isso foi alcançado ao erguer levemente a pata traseira direita do chão. A cadela rapidamente entendeu que poderia apoiar-se na prótese. Em seguida, a cadela foi incentivada a começar a caminhar. No início a cadela tendeu a andar como habitualmente, em três patas, mas com a utilização de um tecido passando por baixo do abdômen para que a posição normal de caminhar de um cão com quatro patas fosse alcançada e dificultando assim o apoio apenas em três patas, a cadela começou a utilizar a prótese como a quarta pata para caminhar, ver Fig. 5c. Em seguida, a cadela foi incentivada a se sentar e em seguida a deitar para a avaliação da funcionalidade da articulação. A articulação funcionou como previsto e a cadela conseguiu sentar e deitar com a prótese facilmente. O processo de adaptação depende fortemente do interesse e da dedicação dos tutores, que precisam dedicar tempo e paciência para que a cadela se acostume à prótese e crie a confiança necessária para caminhar com ela.

A colocação do capacete no marreco do Caso 2 foi realizada de maneira simples, sem dificuldades e com fácil ajuste (Fig. 6). Inicialmente, o animal demonstrou leve desconforto, mas se adaptou rapidamente, uma vez que a órtese foi projetada com tamanho adequado e material leve. O capacete facilitou a instilação dos colírios para o tratamento da úlcera de córnea, contribuindo efetivamente para a recuperação. Durante o uso, o marreco tentou esfregar o olho afetado com os pés, mas a órtese desempenhou seu papel protetor, evitando danos adicionais à área afetada.



Figura 6 – Prótese fabricada por MA: (a) detalhe da articulação, (b) montagem e fixação e (c) treinamento de uso da prótese.

Os conceitos de DFAM e de cuidados ergonômicos no projeto se mostraram eficazes nas soluções desenvolvidas. Apesar da geometria complexa, os produtos foram facilmente fabricados por MA com pouca ou nenhuma necessidade de estruturas de suporte. Os produtos se adaptaram perfeitamente à anatomia dos animais e não causaram nenhum desconforto visível. Wang (2024) menciona que, no futuro, a ergonomia tem um vasto potencial de aplicação no design de produtos para animais. Com o avanço da tecnologia, as técnicas ergonômicas permitirão uma simulação mais precisa da biomecânica natural dos animais, fornecendo próteses e órteses que se alinham melhor às suas estruturas fisiológicas, aumentando, assim, o conforto e a mobilidade. Além disso, o desenvolvimento de sistemas de monitoramento inteligentes permitirá uma análise de dados em tempo real mais eficaz durante o processo de recuperação de animais de estimação com próteses, ajudando a otimizar ainda mais o design e os ajustes necessários.

3.1. Resultado da avaliação de satisfação com o produto desenvolvido

Ambos os dispositivos foram inicialmente montados nos animais, com a presença dos tutores e das médicas veterinárias do projeto.

A avaliação de satisfação dos tutores com os dispositivos desenvolvidos foi realizada por meio do questionário adaptado, ilustrado na Figura 3. Os tutores atribuíram notas de 1 a 5 e realçaram os três itens de maior importância; ver célula colorida de cinza na Tabela 2. No caso 1, os tutores ficaram satisfeitos com o peso, a facilidade de ajuste e as dimensões da prótese. Porém, apontam necessidades de melhoria no ajuste, na estabilidade e na segurança.

No caso 2, os tutores ficaram bastante satisfeitos com a eficácia, a facilidade de uso e de ajuste, e totalmente satisfeitos com os demais itens. No geral, a avaliação médica foi de 4,45, o que indica que se enquadra como bastante satisfeito com o produto desenvolvido.

Qual é o seu grau de satisfação com:	Caso 1	Caso 2	Média
As dimensões (tamanho, altura, comprimento, largura)	4	5	4,5
O peso	5	5	5
A facilidade de ajustar (fixar, afivelar)	5	4	4,5
A estabilidade e a segurança	3	5	4
A durabilidade (acabamento, revestimento, rigidez, resistência, etc)	4	5	4,5
A facilidade de uso	4	4	4
O conforto	3	5	4
A eficácia (o quanto o recurso atende às necessidades)	3	4	3,5
O processo desenvolvimento e entrega (procedimentos, tempo de espera)	4	5	4,5
Reparos e a assistência técnica (manutenção) prestados	5	5	5
A qualidade dos serviços prestados (inform., atenção) recebida para o uso	5	5	5
Os serviços de acompanhamento (serviços de suporte contínuos) recebidos	5	5	5
Avaliação média de cada dispositivo	4,17	4,75	4,45

Tabela 2 – Avaliação de satisfação dos responsáveis, utilizando os dispositivos desenvolvidos.

4. Conclusão

Com o objetivo de desenvolver soluções assistivas personalizadas para dois animais, observou-se que o emprego de tecnologias de projeto modernas, digitalização 3D e fabricação de baixo custo por MA permite produzir soluções que melhoram a condição de vida dos animais. No caso 1 da cadela amputada, a MA mostrou-se eficiente na confecção de uma prótese personalizada, leve, ergonômica, funcional e de baixo custo. A prótese produzida mostrou-se eficiente não apenas na funcionalidade, mas também possibilitou um bom ajuste no corpo do animal, permitindo que ele passasse a caminhar como um cão de quatro patas. São necessárias algumas melhorias para aumentar o conforto, a estabilidade e a segurança do dispositivo. No caso 2 do marreco com

úlceras no olho direito, a MA, usando um material flexível, permitiu a fabricação de um capacete com geometria complexa, leve, ergonômico e que cumpriu a função de proteção, de garantir a visão e de administrar medicação quando necessária.

5. Referências

- Arauz PG, Chiriboga P, García M, Kao I, Díaz EA, New technologies applied to canine limb prostheses: A review, *Veterinary World*, 14(10): 2793-2802, 2021.
- Chopra TA, Study on applications of Prosthetic limbs in Animals and use of 3D Printing, *A Journal for New Zealand Herpetology*, 12(02), 556-560, 2023.
- Culmone C, Smit G, Breedveld P, Additive manufacturing of medical instruments: A state-of-the-art review. *Additive Manufacturing*, 27, 461-473, 2019.. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.03.015>.
- Frankowski J, Kurzątkowska M, Sobczak M, & Piotrowska U, Utilization of 3D bioprinting technology in creating human tissue and organoid models for preclinical drug research – State-of-the-art. *International Journal of Pharmaceutics*, 646, 123313, 2023.
- Demers L, Weiss R, Ska B, 2022. The Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology (QUEST 2.0): An overview and recent progress. *J Tech Disab*.14:101-105.
- Dimitrov M, Georgieva D, Ilieva S, Petkova V, The era of digital pharmacy. 3D printing - realities and perspectives. *Pharmacia*, 70(4), 1083-1092, 2023.
- Fischer LAS, Foggatto JA, Marcondes PVP, Lajarin SF, Design for Additive Manufacturing (DFAM) applied in the manufacture of Master Sample for the automotive industry. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 239(1-2), 96–103, 2024.
- ISO/ASTM 52900:2021: Additive manufacturing — General principles — Fundamentals and vocabulary. 2. ed. Genebra: ISO/ASTM International, 2021.
- Kumar R, Kumar M, Chohan JS, The role of additive manufacturing for biomedical applications: A critical review. *Journal of Manufacturing Processes*, 64, 828–850, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.02.022>.
- Lee S, Wendland TM, RAO S, MAGEE C, Orthotic Device Use in Canine Patients: Owner Perception of Quality of Life for Owners and Patients. *Front. Vet. Sci.* 8:709364, 2021. doi: 10.3389/fvets.2021.709364.
- Mendoza-DeCal R, Peso-Fernandez S, Rodriguez-Quiros J, Orthotics and prosthetics by 3D-printing: Accelerating its fabrication flow. *Research in Veterinary Science*, 162, 104960, 2023.
- Santos BBG, Casoni FTN, Weber SH, Brancher JA, Torres MFP, Farias ELP, Perception of Veterinary Medicine Students Regarding the Use of a 3D Model of the Canine Brain in Learning Neuroanatomy: a Pilot Study. *Archives of Veterinary Science*, Curitiba, v. 30, n. 2, 2025.
- Sossou G, Demoly F, Montavon G, Gomes S, An additive manufacturing-oriented design approach to mechanical assemblies. *J. of Comp. Des. and Eng.*, 5, pp. 3–18, 2018.
- Thompson MK, Moroni G, Vaneker T, Fadel G, Campbell RI, Gibson I, Martina F, Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints, *CIRP Annals*, 2016. 65:2, pp. 737-60.
- Volpato N, et al., *Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D*, 2017. 1ª ed. São Paulo: Edgar Blucher Ltda. ISBN: 9788521211518.
- Wang R, Exploration of the application of ergonomics in 3Dprintingdogprostheses, *Literature and Art Development and Innovation*, 1:8, 2024.