



Inovação na alimentação de animais de estimação: Desenvolvimento de um sistema automatizado para pets

Matheus Costa Pereira ^[1], Lyncoln Almeida de Rezende ^[2], Paulo Sérgio Ferreira ^[3] e Pedro José Papandrea ^[4]

^[1] Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá/MG; matheusc_pereira@hotmail.com

^[2] Centro Universitário UNA (UNA), Pouso Alegre/MG; lyncolnrezende@gmail.com

^[3] Centro Universitário UNA (UNA), Pouso Alegre/MG; os.sergiof@gmail.com

^[4] Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), Varginha/MG; pedro.papandrea@unifal-mg.edu.br

Recebido: 29/09/2023;

Aceito: 22/12/2023;

Publicado: 26/12/2023.

Resumo: Este projeto tem como objetivo desenvolver um alimentador automatizado para animais de estimação, utilizando tecnologias como Arduino, impressão 3D, simulação computacional e realidade mista. O protótipo é projetado para atender animais domésticos e permite ao usuário programá-lo de acordo com suas necessidades, além disso, ele é portátil e possui diversas funcionalidades. O alimentador é leve, fácil de transportar e limpar. Ele possui um sistema acionado por Arduino que adiciona ração em intervalos regulares e a despeja na tigela do animal. Além disso, o usuário tem controle total sobre as funções do alimentador, podendo ajustá-las conforme necessário. O projeto inclui componentes como um galão para armazenamento da ração, um tubo com engrenagem de rosca sem fim, um pote com sensor, além do Arduino e um sistema eletromecânico para movimentação.

Palavras-chave: Alimentador; Pets; Inovação; Simulação.

Abstract: This project aims to develop an automated feeder for pets, using technologies such as Arduino, 3D printing, computational simulation, and mixed reality. The prototype is ideal for domestic animals and allows the user to program it according to their needs. Portable and with various functionalities, the feeder is lightweight, easy to transport, and clean. It features an Arduino-controlled system that adds food at regular intervals and dispenses it into the pet's bowl. Additionally, the user has control over the feeder's functions as needed. The project includes components such as a storage tank for food, a screw-threaded tube system, a sensor-equipped bowl, along with Arduino and an electromechanical movement system.

Key-words: Feeder; Pets; Innovation; Simulation.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste projeto é abranger as áreas de sistemas ciberfísicos (CPS) que é um sistema capaz de integrar de forma eficiente componentes físicos e cibernéticos por meio do uso de tecnologias avançadas de sensores, computação e redes [1]. Neste trabalho é usada a inovação tecnológica e a manufatura assistida por computador.

O emprego de tecnologias como Arduino e a impressão 3D, aliadas a uma abordagem sustentável que utiliza materiais recicláveis, tornando o projeto acessível e tecnologicamente avançado. Inúmeros projetos que tratam de sustentabilidade integrada na engenharia são descritos por [2].

O protótipo consiste em um alimentador automatizado para animais de estimação, podendo ser adaptado para cães, gatos e outros animais domésticos. Foi desenvolvido um sistema para alimentar animais domésticos com o uso de Arduino, uma proposta de alimentador com o uso de programação também foi proposta por [3]. Entretanto, neste projeto, é oferecida a capacidade do usuário programá-lo de acordo com suas necessidades e preferências.

Portátil e com diversas funcionalidades, o alimentador é ideal para qualquer lar com um animal de estimação, proporcionando uma alimentação eficiente e rápida, além de ser fácil de transportar e ter um peso reduzido.

Com o propósito de facilitar a alimentação dos animais de estimação, especialmente durante viagens, o alimentador automatizado pode ser programado para fornecer alimentos nos horários desejados. Sua estrutura simples facilita a limpeza e o abastecimento, trazendo praticidade e inovação.

Ao combinar tecnologias de ponta com recursos fáceis de usar, este alimentador automatizado garante conveniência e tranquilidade para os donos de animais de estimação, tornando o processo de alimentação simples e eficiente. O alimentador automatizado tem a finalidade de oferecer uma alternativa moderna ao método tradicional de alimentação manual de animais de estimação é descrito por [4].

A proposta de alimentadores com recursos de controle remoto via internet foi apresentada nos trabalhos de [5], [6] e [7]. No entanto, o artigo em análise apresenta funcionalidades adicionais que não estão presentes nos estudos mencionados.

O protótipo consiste em um sistema acionado por Arduino que adiciona ração para o animal de estimação em intervalos regulares e despeja-a por alguns segundos. Se o alimentador estiver nas configurações iniciais de fábrica, a ração só será depositada caso o pote esteja completamente vazio. As funções mencionadas acima são programáveis, permitindo que cada uma seja adaptada para um animal de estimação específico e ajustada de acordo com o crescimento do animal. Além disso, o produto é leve, fácil de transportar e limpar. A parte física do alimentador será composta por:

- Galão para armazenamento da ração;
- Sistema composto por um tubo com engrenagem de rosca sem fim para conduzir a ração;
- Pote com sensor para detecção e despejo da ração;
- Arduino e painel de controle e programação;
- Sistema eletromecânico para movimentação.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto teve início com uma fase de planejamento que envolveu uma análise de mercado para compreender as demandas dos proprietários de animais de estimação e identificar produtos similares no mercado. Foram realizadas pesquisas para determinar a viabilidade de um alimentador automatizado adaptável a diversos tipos de animais de estimação.

Inicialmente, realizou-se uma análise de mercado e um benchmarking para conhecer o setor no qual a pesquisa seria desenvolvida. Também foi feita uma engenharia reversa dos componentes atualmente disponíveis no mercado.

A etapa de desenvolvimento mecânico iniciou-se com a análise de alimentadores automatizados já existentes no mercado. Essa abordagem de engenharia reversa permitiu compreender o funcionamento desses produtos, identificar componentes-chave e considerar melhorias para o novo projeto. O projeto incluiu a criação de componentes essenciais, como o galão para armazenamento de ração, um sistema composto por um tubo com engrenagem de rosca sem fim para transportar a ração, um pote com sensor para detecção e despejo da ração, além de uma estrutura para suportar todos esses elementos. O software Fusion 360 foi utilizado para modelagem e otimização dessas peças.

O estudo de análise de elementos finitos (FEA) foi empregado para estudar a resistência e a distribuição de tensões em componentes críticos do alimentador automatizado. Esse processo auxiliou na determinação da robustez do projeto e na identificação de possíveis áreas de melhoria. O sistema eletrônico do alimentador automatizado foi desenvolvido com base no Arduino, um microcontrolador versátil.

A prototipagem e fabricação da parte estrutural do alimentador foi realizada por meio da manufatura aditiva. O material utilizado foi o *polylactic acid* (PLA), que é biodegradável e derivado da cana-de-açúcar. O software Ultimate Cura foi utilizado para o fatiamento e configuração da impressora 3D, resultando em seis partes impressas que foram posteriormente montadas para formar o protótipo.

Além da impressão 3D, foi considerada a possibilidade de produzir o alimentador por meio de usinagem CNC. Foi projetada uma base para acomodar os componentes e feita a programação para usinagem das peças em um material adequado.

Para garantir a precisão das peças usinadas, foi utilizada uma abordagem de engenharia reversa digital com o auxílio de um braço scanner robótico Hexagon e o software Polyworks Inspector. Isso permitiu comparar as dimensões das peças físicas com as do modelo digital, garantindo uma correspondência precisa.

Com o objetivo de avaliar a aceitação do produto no mercado, foi conduzida uma pesquisa de campo. Um questionário foi elaborado e distribuído online por meio do Google Forms. Os participantes foram pessoas que possuem animais de estimação, que auxiliarem a conferir a viabilidade do projeto.

4. ORÇAMENTO DO PROTÓTIPO

Foram registrados todos os materiais necessários para a construção do projeto e seus respectivos gastos. Foram adquiridos componentes relacionados à área da mecânica, eletrônica, impressão e motor. Ressalta-se que

o orçamento é com base no ano de 2022, e os maiores gastos foram em relação a eletrônica e impressão, representando respectivamente 34,98% e 32,3% em relação ao gasto total.

Uma análise multiobjetivo buscando compreender a parte orçamentaria de um projeto de engenharia de produto de inúmeras áreas é dada por [8]. Na Tabela 1, é apresentado o orçamento estimado para o desenvolvimento da pesquisa e sua implementação.

TABELA 1. Orçamento dos materiais (autoria própria).

Item	Área	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
Arduíno Mega 2560 R3	Eletrônica	1	210,92	210,92
Display LCD TFT	Eletrônica	1	108,24	108,24
Sensor Touch TTP 223B	Eletrônica	1	7,80	7,80
Sensor de distância Ultrassônico HC-SR04	Eletrônica	1	18,86	18,86
Botão liga/desliga	Eletrônica	1	6,00	6,00
Led alto brilho azul	Eletrônica	5	1,10	5,50
Jumper fêmea	Eletrônica	1	9,60	9,60
Jumper macho	Eletrônica	1	10,03	10,03
Galão de água	Armazenamento	1	18,00	18,00
Mini moto redutor 12v 13RPM	Motor	1	106,68	106,68
Mini fonte 12V 5A	Motor	1	26,40	26,40
Bateria 12v 7A	Motor	1	81,60	81,60
Componentes mecânicos gerais	Mecânica	1	120,00	120,00
Filamento ABS para impressão 3D	Impressão	1	108,00	108,00
Impressão 3D	Impressão	4	60,00	240,00
Spray e massa	Impressão	5	20,00	100,00
	Design	37	1,00	37,00
	Alimentação	10	5,00	50,00
TOTAL (R\$)				1.076,66

5. CONCEITO DE FUNCIONAMENTO

O procedimento mecânico foi desenvolvido separadamente do encaixe, uma vez que será testado durante a impressão. Além disso, foi utilizado o processo de engenharia reversa com outros motores para a construção do atual. Busca-se realizar uma engenharia reversa sustentável que é dada por algo que não possui grande dependência de dispositivos sofisticados [9].

Na Figura 1, estão apresentados os principais componentes de programação, os itens eletromecânicos, a correia, a polia, a fonte, o motor que já possui um sistema de transmissão, juntamente a outros componentes responsáveis para desenvolver o comedouro automatizado.



FIGURA 1. Componentes gerais (autoria própria)

6. DESENHO CAD E SIMULAÇÃO FEA

A prototipagem realizada pelo *Computer Aided Design* (CAD) envolve a criação de formas bidimensionais simples, que são conectadas ou combinadas para criar sólidos tridimensionais. Essa abordagem permite a visualização e o desenvolvimento do projeto de forma precisa.

No desenvolvimento do projeto, uma base foi criada para sustentar o galão de armazenamento da ração e acomodar os componentes necessários, como a rosca sem fim, os motores e os componentes elétricos. O passo da rosca foi baseado no tamanho das rações convencionais, com o intuito de que não haja o enroscado da ração.

Para otimizar o uso de material na impressão 3D, foi aplicado o efeito casca na peça. Além disso, foram criados chanfros para melhorar a ergonomia e rebaixos para direcionar a ração de forma mais eficiente.

A primeira versão da base foi projetada sem levar em consideração as restrições da impressora 3D, o que exigiu ajustes para garantir a adequação. Portanto, a rosca, bem como as especificações do motor e dos componentes foram modificados para atender às necessidades do projeto. A rosca sem fim desempenha um papel crucial no projeto, é a responsável em transportar a ração do galão para o recipiente final onde será servida ao animal. Essa peça é fundamental para o funcionamento adequado do sistema. A rosca sem fim está conectada a um motor, que é programado para ser acionado conforme necessário.

A Figura 2 representa o projeto desenvolvido no software Fusion 360, mostrando a base em sua forma completa. Ao longo do projeto, foram realizadas alterações para melhor adequação, considerando as características da impressão 3D. Nela é possível visualizar os componentes e algumas vistas.

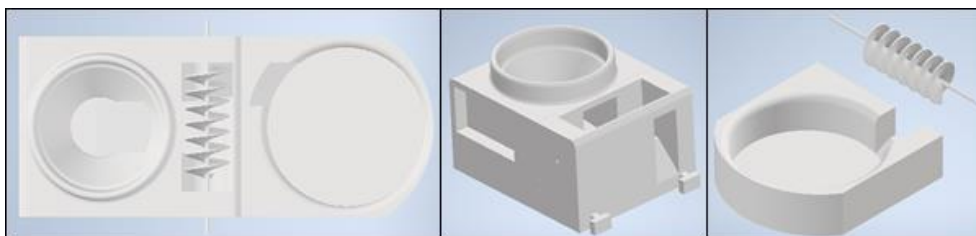


FIGURA 2. Componentes e vistas (autoria própria).

O software Ansys foi o responsável pelo método de elementos finitos (FEM) responsável pelo estudo dos Elementos Finitos divide o modelo de geometria complexa em várias geometrias menores com formas conhecidas, como hexaedros ou tetraedros. Este método utiliza malhas não estruturadas para aproximar as soluções de várias equações diferenciais parciais [10]. O modelo matemático é responsável por resolver cada um desses elementos individualmente inicialmente e, em seguida, combinar todos eles para obter o resultado desejado. A determinação da influência dos carregamentos é baseada principalmente na determinação da matriz de rigidez do componente que é dimensionada pela deformação [11].

Ao obter a rigidez do componente e conhecer as propriedades físicas do material utilizado, pode-se determinar facilmente os deslocamentos e as tensões geradas utilizando a Lei de Hooke ou a teoria Biot [12]. De acordo com a lei, a tensão gerada por um carregamento é igual ao produto do módulo de elasticidade pelo deslocamento.

Ao analisar um elemento da malha, primeiro identifica-se o deslocamento unitário gerado pelo carregamento, e o módulo de elasticidade é um valor conhecido, determinado pelo material escolhido. Ao multiplicar esses dois valores, obtém-se a tensão gerada no elemento.

Atualmente, os projetos de estruturas que utilizam o FEA alcançam alta precisão em simulações e desenvolvimento de projetos. A simulação foi realizada com o objetivo de compreender as tensões e interferências que influenciam o projeto. Foi utilizado um ponto de massa de 50 kg, um valor maior do que o necessário, levando em consideração um fator de segurança para os cálculos utilizando o FEA.

Realizou-se uma análise estática utilizando o material *Plastic ABS*, que consta na biblioteca de materiais disponível no software Ansys. Para otimizar a qualidade das malhas, procedeu-se a um estudo de elementos, aplicando *Element Sizing* conforme apropriado. O modelo em questão compreende um total de 6.364 nós e 3.341 elementos. As condições de contorno incluíram um apoio fixo no suporte e a aplicação de uma carga correspondente ao peso exercido pelo recipiente de ração na parte superior do sistema.

Os resultados da simulação são apresentados a seguir, tal como mostrado o *Equivalent Stress*, também conhecido como tensão de von-Mises, que indica que o material começa a se deformar quando essa tensão atinge o limite de resistência, ela é utilizada para medir a falha do material [13]. O valor máximo encontrado foi de $5,41 \cdot 10^5$ Pa, tal como demonstrado na Figura 3.

Na Figura 3, também é apresentada a *Total Deformation*, que representa a deformação geral nos três eixos (x, y, z). O valor máximo encontrado foi de $7,58 \cdot 10^{-5}$ m. A análise da fadiga também será realizada no capítulo de cálculos, e o resultado foi obtido por meio da ferramenta de análise de fadiga. O resultado encontrado foi de 54.974 ciclos. Isso indica que podem ocorrer essa quantidade de casos extremos nos quais o eixo fique completamente travado, enquanto o motor ainda exerce força até que ocorra a sua ruptura por fadiga.

Com o uso do FEA é possível compreender a previsão de falha de fadiga com a análise de cisalhamento [14]. Esses resultados citados anteriormente estão ilustrados na Figura 3, juntamente com as malhas geradas.

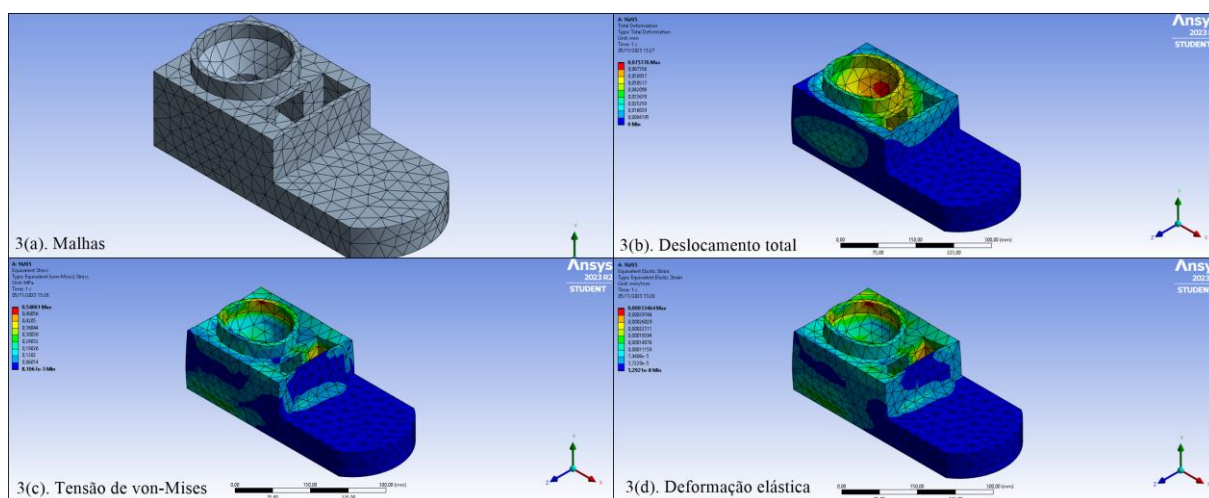


FIGURA 3. Geração da malha e resultados provenientes das simulações (autoria própria).

7. MICROSOFT HOLOLENS

Com o objetivo de proporcionar benefícios tanto para as empresas quanto para a saúde das pessoas, a Microsoft lançou o HoloLens, uma ferramenta de realidade mista que permite aos usuários visualizar objetos ou conteúdos digitais que não estão fisicamente presentes no ambiente.

O Microsoft HoloLens é um dispositivo inteligente semelhante a óculos que combina elementos da realidade física com o ambiente digital, permitindo interações e proporcionando uma experiência imersiva. Essa tecnologia representa uma tendência significativa no mundo da tecnologia. O uso do HoloLens em diversas aplicações, demonstrando seus resultados prático, como visto em [15].

Ao adotar essa ferramenta em seu ambiente de trabalho, a Mercedes conseguiu melhorar o ritmo de trabalho de seus técnicos em cerca de 40%. Além disso, em hospitais, médicos utilizam o HoloLens para treinamento, visualizando procedimentos e identificando a melhor abordagem com menor risco para os pacientes.

Essa nova concepção tecnológica baseia-se na realidade aumentada, que encontra aplicação em diversas áreas, desde entretenimento até pesquisas e descobertas científicas [16]. Com o HoloLens, engenheiros de todo o mundo conseguem economizar milhares de dólares mensalmente que seriam gastos em protótipos físicos. Além disso, é possível colaborar com equipes de diferentes países e ter a mesma experiência visual.

Portanto, no projeto em questão, o HoloLens foi incorporado para permitir uma pré-visualização e proporcionar uma melhor compreensão de como o produto ficaria esteticamente e sua usabilidade, mesmo antes de sua finalização física.

Esse dispositivo enriquece significativamente a interação com a realidade virtual, oferecendo ações de alta precisão, excelente qualidade de resolução e foco na inovação mista. Na Figura 4, é possível observar o alimentador posicionado em uma sala convencional.

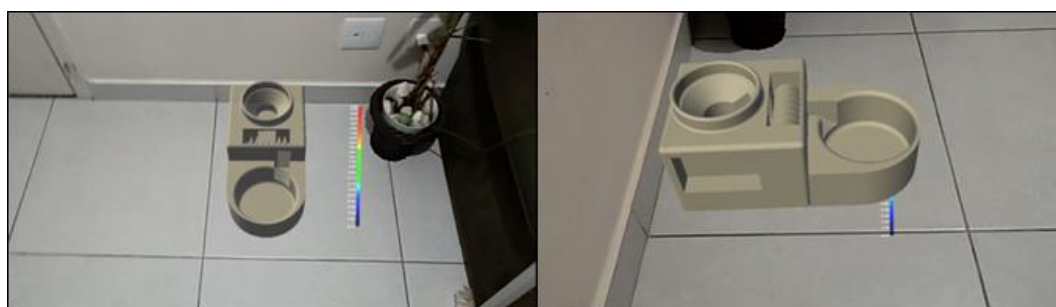


FIGURA 4. Representação do alimentador com o Microsoft HoloLens (autoria própria).

8. IMPRESSÃO 3D E AJUSTES

A construção de objetos por meio da sobreposição de camadas não é uma ideia nova. Observa-se que esse princípio nas pirâmides do antigo Egito, que foram construídas manualmente utilizando a sobreposição de blocos. Diferentes técnicas de impressão 3D, vantagens e desvantagens, além de evolução deste método é dada por [17].

A impressão 3D, também conhecida como fabricação aditiva, é um processo que produz objetos adicionando material em camadas transversais e contínuas. No caso deste projeto, será utilizado o material PLA que é derivado da cana-de-açúcar e é biodegradável. A impressão 3D envolve o uso de diversos recursos tecnológicos.

Embora seja mais cara em comparação com a fabricação em larga escala por métodos convencionais, como o sopro, a impressão 3D é de extrema importância para a cadeia produtiva de muitos objetos utilizados no dia a dia das pessoas. Ela permite reduzir significativamente o tempo necessário para criar protótipos, além de economizar materiais e permitir um alto nível de detalhamento na peça.

Ao combinar o conhecimento de CAD e realidade aumentada, é possível alcançar uma precisão muito maior na prototipagem física do produto. Portanto, a impressão 3D se torna uma ferramenta altamente eficaz para a criação de qualquer tipo de produto.

Por esses motivos, foi escolhido o método de impressão 3D para a construção do protótipo. Embora não seja financeiramente viável produzir o produto exatamente da mesma forma que o protótipo, em larga escala ele pode ser reproduzido.

O processo de modelagem começa com a criação de um modelo virtual utilizando softwares CAD. Esse modelo virtual é então transferido para a impressora 3D, que realiza a impressão do objeto camada por camada.

Ao receber o modelo virtual, o software da impressora divide o objeto em camadas, determinando a espessura e a quantidade de material depositado em cada camada. Essa etapa do fatiamento é crucial para definir a qualidade final do objeto. Além disso, durante o fatiamento, são feitas especificações, como o tempo total de impressão, a quantidade de material utilizada e possíveis ajustes na peça.

Foram impressas seis partes que posteriormente foram unidas, totalizando aproximadamente 80 horas de impressão. A Figura 5 ilustra o processo de fatiamento realizado com o auxílio do software Ultimate Cura, que foi utilizado para toda a impressão 3D.

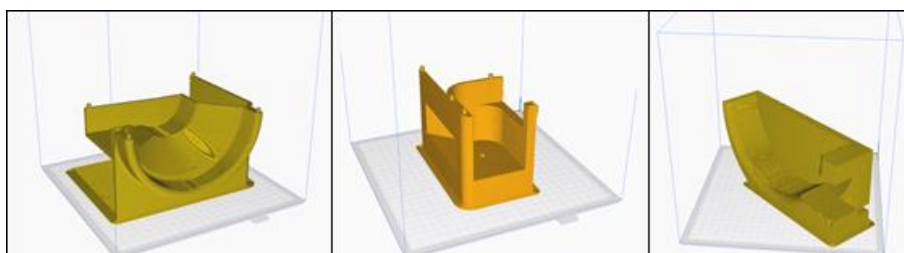


FIGURA 5. Fatiamento 3D (autoria própria).

Ressalta-se que a que a montagem não se resume apenas a imprimir as peças e encaixá-las. Embora haja encaixes em algumas áreas, como no compartimento de armazenamento da ração, outras partes precisaram ser coladas e retrabalhadas para garantir a integridade do alimentador. Além disso, foi aplicada uma camada de pintura em todo o alimentador para torná-lo visualmente homogêneo e esteticamente agradável. Na Figura 6 é demonstrada a meia impressão, seguida da impressão completa.



FIGURA 6. Meia impressão e impressão completa da base

Devido a um erro no cálculo da distância da rosca sem fim, foi necessário fazer um ajuste na altura do alimentador. Para solucionar esse problema, foi impresso um apoio adicional que evita que a ração caia para fora do compartimento e desvie do seu caminho durante o acionamento. O ajuste pode ser visualizado na Figura 7, onde fica evidente a inclusão desse apoio para garantir o correto funcionamento do alimentador.



FIGURA 7. Alteração da rosca (autoria própria).

Outro erro ocorreu durante a projeção da rosca, devido às dimensões da impressora utilizada e a modificações feitas no desenho original. Como resultado, a rosca produzida teve que ser cortada para se ajustar perfeitamente. No projeto inicial, não estava cotada a compra de uma tela de *light-emitting diode* (LED), com isso, tornou-se preciso a impressão de um suporte que encaixasse a tela, não fosse prejudicial a ergonomia do usuário e não causasse acidentes e trombadas de animais ou humanos.

Devido à alteração do motor, tornou-se necessário imprimir um compartimento específico para acomodar o motor de passo selecionado posteriormente. Essa modificação resultou em um aumento significativo na quantidade de material utilizado devido aos ajustes necessários.

Entretanto, devido ao apoio impresso adicionado posteriormente, o encaixe do galão foi comprometido, o que exigiu um novo corte para garantir o perfeito funcionamento do produto, de acordo com o planejado inicialmente.

Além disso, um corte foi feito na parte superior do galão para evitar a necessidade de retirar completamente o produto do alimentador sempre que fosse necessário reabastecê-lo. Isso tornou o preenchimento do compartimento de armazenamento mais conveniente.

9. ENGENHARIA REVERSA

A engenharia reversa desempenha um papel importante no compartilhamento de tecnologia em diversos setores da indústria. Embora possa parecer controversa para alguns, ela contribui para o avanço tecnológico em todo o mundo. Por meio da engenharia reversa, tecnologias que seriam muito caras se tornam mais acessíveis, pois os concorrentes estudam e desenvolvem alternativas semelhantes a um preço mais atrativo, gerando uma competição para produzir produtos melhores e mais baratos para os consumidores finais.

Neste projeto, a engenharia reversa foi utilizada para compreender o funcionamento de um alimentador existente no mercado e do motor utilizado. Com base nos conhecimentos de engenharia e nas necessidades do mercado pet, busca-se desenvolver o melhor alimentador possível.

Com o uso do software Polyworks Inspector, é possível realizar o escaneamento de peças finalizadas para identificar pequenas variações de superfície, montagens ou folgas. O programa gera um arquivo em CAD com medidas precisas com base no escaneamento realizado, permitindo verificar todos os detalhes necessários. Essa ferramenta também facilita o processo de engenharia reversa, pois elimina a necessidade de modelar toda a peça novamente no CAD, uma vez que o próprio programa pode realizar essa função.

Para garantir a correta leitura de posições e distâncias, foi utilizado o braço scanner robótico Hexagon em conjunto com o software Polyworks Inspector, tal como foi feito em [18]. O braço robótico realiza movimentos uniformes ao redor da peça para capturar todos os detalhes durante o escaneamento. Após análises das dimensões do motor físico e do modelo gerado pelo escaneamento, constatou-se uma semelhança praticamente perfeita entre as peças, validando o uso da ferramenta.

Com o avanço das tecnologias e a crescente preocupação das indústrias em garantir a qualidade de seus produtos, o uso apenas de projetos em CAD e testes físicos, embora sejam ferramentas úteis, nem sempre é suficiente. Para aprimorar a experiência do usuário e buscar maior qualidade, utilizou-se o software Polyworks Inspector. A combinação do software Polyworks Inspector com o braço scanner robótico foi utilizada para inspeção dimensional e controle de qualidade, permitindo a verificação e conformidade em relação às especificações do projeto, tal uso é expresso na Figura 8.



FIGURA 8. Utilização do braço scanner Hexagon (autoria própria).

10. MONTAGEM E TESTES

Para iniciar a montagem, foi necessário fixar a rosca sem fim no alimentador, encaixar no motor, que foi definido baseado em avaliações de produtos similares já existentes, o Arduino e os demais componentes. Os testes foram realizados antes da etapa de pintura, e a prioridade foi garantir a correta fixação das peças para iniciar os testes de funcionamento. Na Figura 9, é possível observar o encaixe da rosca.

Com a utilização de adesivo plástico, que foi descrito como massa no orçamento, foi possível concluir com êxito a junção dos seis componentes impressos. No entanto, foi necessário realizar um extenso retrabalho para remover rebarbas e corrigir outras falhas apresentadas. Na Figura 9, observa-se o Arduino e outras partes já fixadas, evidenciando a complexidade de toda a montagem e a fase de testes do projeto.

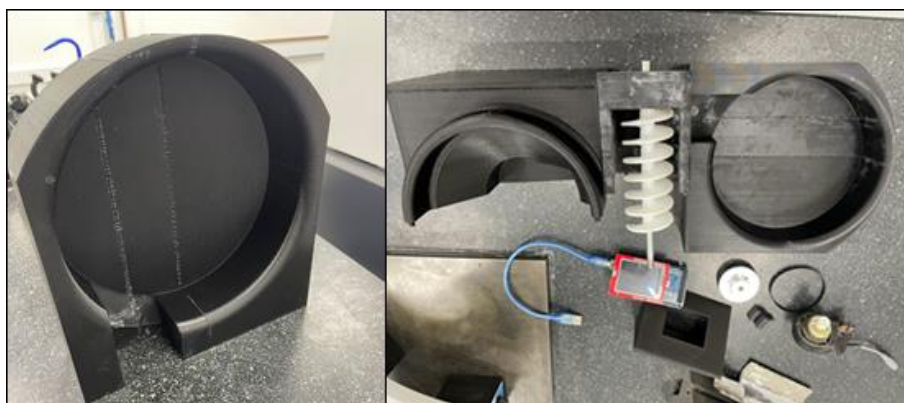


FIGURA 9. União do pote de ração e montagem intermediária (autoria própria).

Na Figura 10, é exibida a primeira etapa de pintura, na qual é utilizado o primer para preparar a superfície antes da aplicação da tinta. O primer ajuda a garantir que a tinta não descasque e facilita o processo de pintura. Na Figura 10 também é apresentado o produto completo e montado, porém sem a pintura final. Nesse estágio, o produto está pronto para passar pelas etapas de testes. É importante ressaltar que a pintura final tem como objetivo proporcionar um excelente design para o consumidor.



FIGURA 10. Utilização do primer e alimentador montado (autoria própria).

Os principais testes foram realizados em relação ao funcionamento do Arduino, tanto no simulador online quanto no ambiente real. Durante os testes reais, foram identificados alguns obstáculos que dificultaram a entrega do produto, tal como o dimensionamento máximo da impressora, a compra de material de diferentes fornecedores e o emprego do sensor da forma projetada. Além disso, foi verificado despejo da ração em diversas superfícies para garantir que não causassem problemas em seu despejo, evitando possíveis falhas e contratempos. A etapa de testes também teve como objetivo identificar erros e obstáculos que poderiam afetar a experiência do usuário, sejam elas mecânicas ou elétricas.

Diversas simulações e exemplos foram realizados para avaliar o produto e verificar se estava apto para ser reproduzido em escala. A Figura 11 mostra os testes realizados com o motor e o Arduino já encaixados em sua posição de trabalho, entretanto, sem a tampa inferior.

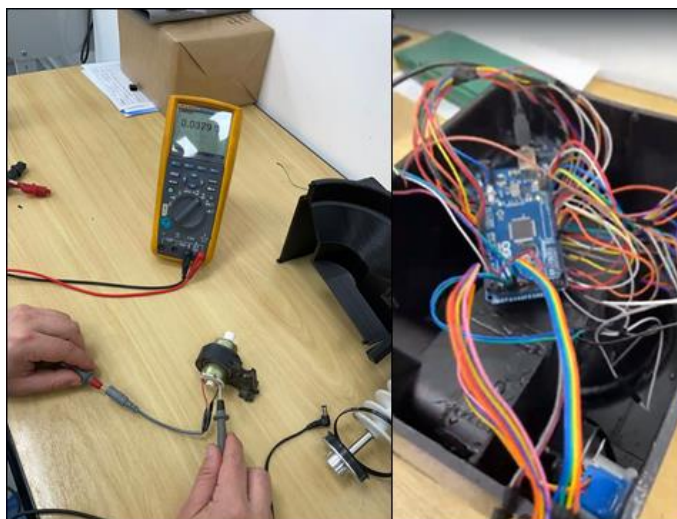


FIGURA 11. Teste do motor de indução e posicionamento do Arduino (autoria própria).

Após realizar pesquisas com base em alimentadores já existentes, foi decidido que o projeto seria controlado por um Arduino, com a implementação de sensores para auxiliar no acionamento e no início de outras funções. Para o movimento da ração, foi utilizada uma rosca sem fim acionada por um motor de passo de 5V, com transmissão por polia correia. O motor foi selecionado de acordo com o progresso do projeto.

O projeto pode ser utilizado de duas maneiras: utilizando os botões e a tela de LED, onde serão representadas as funções necessárias para acionamento e programação; ou através do aplicativo, utilizando o módulo *wireless* do Arduino, permitindo o acesso remoto e possibilitando a alimentação à distância.

É importante destacar que o recipiente de ração pode ser facilmente removido do alimentador para facilitar a limpeza. A fonte de alimentação deve ser conectada à tomada e o funcionamento se inicia rapidamente. Para testar o funcionamento, é possível realizar o acionamento manualmente através da tela, botão ou aplicativo, observando assim a circulação da ração por todo o sistema.

11. PESQUISA DE CAMPO

Para avaliar a aceitação do produto, foi realizada uma pesquisa utilizando o Google Forms, direcionada a pessoas que possuem animais de estimação. O objetivo era verificar se a produção em larga escala do produto seria viável. Há desafios práticos enfrentados ao realizar pesquisas de campo longitudinais, além de ser necessária a ética e gestão dos pesquisadores [19].

A pesquisa obteve mais de 300 respostas, e a aprovação foi unânime, com a maioria dos entrevistados possuindo cachorros. Além disso, a faixa de preço mais escolhida pelos consumidores foi de até R\$ 250,00. É importante ressaltar que praticamente todos os participantes afirmaram que apoiariam o projeto social. A minoria que não aprovou mencionou questões de segurança como motivo, mas essas preocupações já foram estudadas e planejadas previamente. Na Figura 12 é possível visualizar a pesquisa de campo.

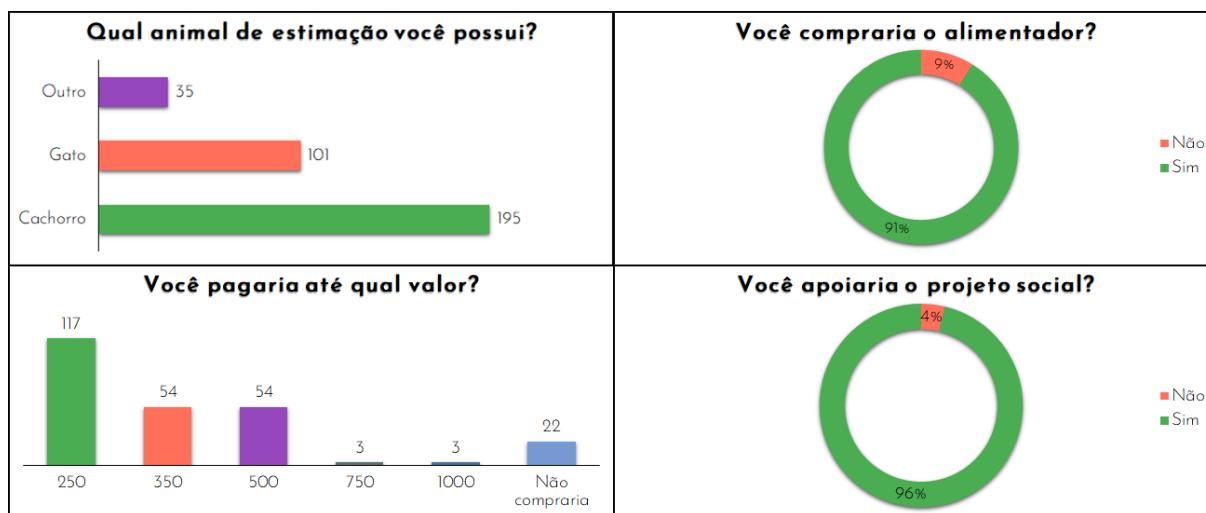


FIGURA 12. Pesquisa de campo (autoria própria).

12. APLICATIVO

Com o objetivo de proporcionar maior facilidade aos usuários do Alimentador Automatizado, está sendo desenvolvido um aplicativo que auxiliará na alimentação remota do animal de estimação. Na Figura 13, é possível visualizar o layout completo do aplicativo, projetado de forma intuitiva e fácil de usar, evitando confusões durante sua utilização pelo consumidor.

O aplicativo terá algumas funcionalidades tais como, o uso de sensor que permite ativar ou desativar o sensor de presença, que detecta a proximidade do animal em relação ao alimentador. O comando de voz que possibilita gravar comandos de voz para facilitar a alimentação, mesmo quando o usuário estiver distante do produto e/ou do animal. A ração automática que permite ativar ou desativar a alimentação automática em períodos programados. O tempo que possibilita configurar o intervalo de tempo entre as alimentações do animal; A quantidade que permite configurar a quantidade ideal de ração para o animal. Por fim, a ração manual que libera a quantidade de ração configurada quando o botão é ativado.

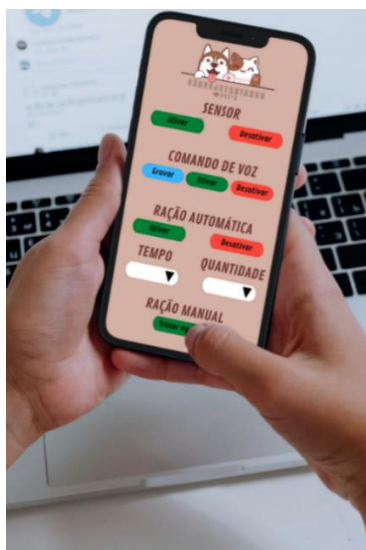


FIGURA 13. Layout do aplicativo (autoria própria).

13. RESULTADOS

Ao longo deste estudo, foram observados resultados significativos relacionados ao nosso alimentador automatizado para animais de estimação. O sistema de distribuição de ração demonstrou uma precisão excepcional na quantidade de ração dispensada, com uma variação média de menos de 5% em relação à quantidade programada. Essa precisão garante que os animais recebam a quantidade adequada de alimento, validando o funcionamento correto do sistema.

O aplicativo móvel desenvolvido para controlar o alimentador automatizado por meio de conexão sem fio permitiu aos usuários programar horários de alimentação, monitorar o nível de ração no reservatório e acionar alimentações extras remotamente. Os testes realizados com sucesso destacam a eficácia dessa solução. Após o período de testes, que incluiu a dispensação de inúmeras porções de ração, o sistema mecânico demonstrou ser durável e resistente ao desgaste. A análise FEA realizada anteriormente contribuiu para a robustez do design.

Além disso, foi conduzida uma pesquisa de campo com o objetivo de avaliar a aceitação do alimentador automatizado pelos proprietários de animais de estimação. Esses insights orientam nossos esforços para tornar o produto mais acessível e adequado às necessidades do mercado.

Para futuros desenvolvimentos, sugere-se a inclusão de uma câmera para monitoramento visual dos animais e a expansão deste alimentador automatizado para animais aquáticos, como peixes. Os resultados obtidos indicam que o alimentador automatizado para animais de estimação apresenta um desempenho técnico satisfatório e é bem recebido pelos proprietários de animais. A alta taxa de interesse demonstrada pelos participantes da pesquisa sugere um potencial mercado para o produto. Com base nesses resultados, a próxima etapa do projeto envolverá o aprimoramento do design com base nas sugestões dos usuários e a preparação para a produção em larga escala.

14. CONCLUSÃO

Inicialmente, o objetivo do produto era de atender cachorros e gatos de diferentes portes e raças. No entanto, devido à capacidade de configuração e adaptabilidade do alimentador, existem várias variações e possibilidades para sua comercialização, tanto para uso doméstico quanto para fins comerciais.

Utilizando o conceito básico do alimentador para cachorros, é possível criar opções de montagem com tigelas de diferentes tamanhos para atender animais de diversos portes, ampliando sua abrangência no mercado. Além disso, observa-se uma crescente demanda por produtos para animais diferentes, como coelhos, tartarugas e aves. Portanto, ao oferecer versões do produto em tamanhos diferentes, é possível alcançar um público maior.

Como resultado, espera-se que esse produto inovador atenda às necessidades dos proprietários de animais de estimação, proporcionando praticidade, eficiência e conveniência no processo de alimentação. Com a possibilidade de expansão para outras espécies e tamanhos, o alimentador automatizado tem um promissor horizonte de mercado, contribuindo para o bem-estar dos animais e a satisfação dos usuários.

Além disso, o sucesso na construção, programação, montagem, retrabalho e testes do produto final é evidenciado na Figura 14, validando a replicação do protótipo inicial produzido. Isso confirma a viabilidade e eficácia do alimentador automatizado para animais de estimação, bem como seu potencial para ser comercializado em larga escala.



FIGURA 14. Alimentador automatizado finalizado (autoria própria).

REFERÊNCIAS

- [1] ALGULIYEV, Rasim; IMAMVERDIYEV, Yadigar; SUKHOSTAT, Lyudmila. Cyber-physical systems and their security issues. **Computers in Industry**, v. 100, p. 212-223, 2018.
- [2] PEREIRA, Tony. Sustainability: An integral engineering design approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 5, p. 1133-1137, 2009.
- [3] BABU, B. Ravi; KUMAR, P. Pavan; KUPPUSAMY, P. G. Arduino Mega based PET feeding automation. **IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering**, v. 14, n. 4, p. 13-16, 2019.
- [4] KOLEY, Soumallya et al. Smart pet feeder. **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2021. p. 012018.
- [5] KARYONO, Kanisius et al. Smart dog feeder design using wireless communication, MQTT and Android client. **2016 International Conference on Computer, Control, Informatics and its Applications (IC3INA)**. IEEE, 2016. p. 191-196.
- [6] IBRAHIM, M.; ZAKARIA, H.; XIAN, EE Wei. Pet food autofeeder by using Arduino. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2019. p. 012069.
- [7] JUNG, Ji-Yong et al. NuriPet: A smart pet feeding machine for SNS. **2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)**. IEEE, 2016. p. 117-118.
- [8] KEEFER, Donald L.; KIRKWOOD, Craig W. A multiobjective decision analysis: Budget planning for product engineering. **Journal of the Operational Research Society**, v. 29, p. 435-442, 1978.
- [9] SAIGA, Katsuhiro et al. A Sustainable Reverse Engineering Process. **Procedia CIRP**, v. 98, p. 517-522, 2021.
- [10] ANDERSON, Robert et al. MFEM: A modular finite element methods library. **Computers & Mathematics with Applications**, v. 81, p. 42-74, 2021.
- [11] MARINKOVIC, Dragan; ZEHN, Manfred. Survey of finite element method-based real-time simulations. **Applied Sciences**, v. 9, n. 14, p. 2775, 2019.
- [12] BABAEI, Masoud; ASEMI, Kamran; KIARASI, Faraz. Static response and free-vibration analysis of a functionally graded annular elliptical sector plate made of saturated porous material based on 3D finite element method. **Mechanics Based Design of Structures and Machines**, v. 51, n. 3, p. 1272-1296, 2023.
- [13] BUDYNAS, R.G; NISBETT, J.K. **Mechanical Engineering Design**, 10th ed.; McGraw-Hill Education: New York, NY, USA, 2015.
- [14] XU, Xiaoqing; ZHOU, Xuhong; LIU, Yuqing. Fatigue life prediction of rubber-sleeved stud shear connectors under shear load based on finite element simulation. **Engineering Structures**, v. 227, p. 111449, 2021.
- [15] PARK, Sebeom; BOKIJONOV, Shokhrukh; CHOI, Yosoon. Review of microsoft hololens applications over the past five years. **Applied sciences**, v. 11, n. 16, p. 7259, 2021.
- [16] KIRNER, Cláudio; SISCOUTO, Robson. **Fundamentos da Realidade Aumentada**. Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações. Petrópolis: Editora SBC, 2007.
- [17] QUAN, Haoyuan et al. Photo-curing 3D printing technique and its challenges. **Bioactive materials**, v. 5, n. 1, p. 110-115, 2020.
- [18] STEFAN, Kender; JANETTE, Brezinová. Reverse engineering in automotive design component. **Industry 4.0**, v. 7, n. 2, p. 62-65, 2022.
- [19] PETTIGREW, Andrew M. Longitudinal field research on change: Theory and practice. **Organization science**, v. 1, n. 3, p. 267-292, 1990.