

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRARIAS**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MECANISMO DE DISPERSÃO  
DE CÁPSULAS PARA O CONTROLE BIOLÓGICO USANDO  
AERONAVE PILOTADA REMOTAMENTE**

**FABIO DA SILVA FERREIRA**

**DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2024**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MECANISMO DE DISPERSÃO DE  
CÁPSULAS PARA O CONTROLE BIOLÓGICO USANDO AERONAVE  
PILOTADA REMOTAMENTE**

Fabio da Silva Ferreira

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Márcio Alves de Souza

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Agrícola.

Dourados  
Mato Grosso do Sul  
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

F382d Ferreira, Fabio Da Silva

Desenvolvimento de um mecanismo de dispersão de cápsulas para o controle biológico usando aeronave pilotada remotamente [recurso eletrônico] / Fabio Da Silva Ferreira. -- 2024.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Cristiano Márcio Alves de Souza.

TCC (Graduação em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Parasitóide. 2. Mecanismo. 3. RPA. 4. Controle biológico. 5. Inimigos naturais. I. Souza, Cristiano Márcio Alves De. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

# **DESENVOLVIMENTO DE UM MECANISMO DE DISPERSÃO DE CÁPSULAS PARA O CONTROLE BIOLÓGICO USANDO AERONAVE PILOTADA REMOTAMENTE**

Por

Fabio da Silva Ferreira

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para obtenção do  
título de ENGENHEIRO AGRÍCOLA

Aprovado em: 08 de março de 2024.

Documento assinado digitalmente  
 **CRISTIANO MARCIO ALVES DE SOUZA**  
Data: 11/03/2024 14:32:21-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Cristiano Márcio Alves de Souza**  
Orientador – UFGD/FCA

Documento assinado digitalmente  
 **ROBERTO CARLOS ORLANDO**  
Data: 11/03/2024 18:26:05-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Roberto Carlos Orlando**  
Membro da banca – UFGD/FCA

Documento assinado digitalmente  
 **FERNANDO MATEUS PANIAGUA MENDIETA**  
Data: 11/03/2024 14:41:00-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Me. Fernando Mateus Paniagua Mendieta**  
Membro da banca – UFGD/FCA/PGAGRO

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Valdelice da Silva Ferreira e Titor Ferreira Neto, por sempre me apoiarem e incentivarem nos meus estudos. Sem eles e a estrutura familiar, não seria possível alcançar este feito, pois são o pilar que une a nossa família.

À minha esposa, Aline Stefane Araújo Silva, e minha filha, Fernanda Araújo Ferreira, por estarem ao meu lado, incentivando e compreendendo as dificuldades desta jornada. A presença delas traz alegria e motivação a cada momento, mesmo nos períodos mais desafiadores.

Aos meus irmãos, Leandro, Leonilson e Leonardo que são grandes referências profissionais, foram muito importantes nessa caminhada, sou muito grato pelo apoio e participação nesse processo.

Ao orientador Prof. Dr. Cristiano Márcio Alves de Souza que desde de quando iniciei meus estudos na UFGD, sempre me apoiou e incentivou o meu envolvimento nos projetos na universidade, sendo uma grande referência profissional de Engenheiro Agrícola.

À banca avaliadora, composta pelo Prof. Dr. Roberto Carlos Orlando, Me. Fernando Mateus Paniagua Mendieta e Prof. Dr. Natanael Takeo Yamamoto, por dedicarem seu tempo e oferecerem valiosas contribuições para o aprimoramento deste trabalho.

À Profa Dra Vanderleia Schoeninger que foi minha orientadora de PIBIC, coordenadora do Projeto Armazenamento Seguro (PAS), que me apoio durante todo o período de universidade, elevando meu nível profissional, além de ter um olhar humano e termos criado um laço de amizade.

À Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) por me proporcionar essa oportunidade e oferecer estrutura para aprendizagem, aos professores, técnicos, portaria da FCA.

Ao Centro Acadêmico de Engenharia Agrícola (CAEAgri), Projeto Armazenamento Seguro (PAS), PET Engenharia Agrícola, DCE e JEEAGRI, entidades que pude participar e contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal e profissional. À Rayza, Pamela, Luana, Gabriely, Gustavo, Edinho, Luiz Henrique, Shirley Zandona, Gabriel, Felipe, Gabriel Viola, Guilherme José, e Andrey pela amizade e pelos momentos marcantes no decorrer do curso.

FERREIRA, Fabio da Silva. **Desenvolvimento de um mecanismo de dispersão de cápsulas para o controle biológico usando aeronave pilotada remotamente**. 2024. 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2024.

## RESUMO

O controle biológico é uma estratégia fundamental na gestão de pragas agrícolas, utilizando inimigos naturais para combater organismos indesejados. Na distribuição desses inimigos naturais, surgem as Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) que podem aumentar a eficácia na aplicação do agente de controle biológico e reduzir os custos, principalmente, em áreas maiores quando comparado com a distribuição manual. Sendo essencial garantir que os inimigos naturais distribuídos por RPAs se mantenham íntegros durante o transporte e distribuição. Isso requer o desenvolvimento de mecanismos tanto de hardware quanto de software capazes de realizar uma distribuição precisa em diversas condições climáticas. Nesse cenário, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver e testar um mecanismo para a dispersão de cápsulas de controle biológico por meio de um RPA. Para o desenvolvimento do mecanismo de dispersão de cápsulas para o controle biológico, envolveu como fases, os projetos informacional (clarear a tarefa), conceitual, preliminar e detalhado. Para o desenho do projeto do mecanismo foi utilizado o software Solidworks®, posteriormente, foi feita a construção do protótipo. O teste laboratorial foi realizado no Laboratório de Projetos de Máquinas da UFGD, avaliou a capacidade de acionamento do motor elétrico do mecanismo de dispersão das cápsulas de controle biológico. O protótipo foi eficaz ao executar um giro completo de 360° e liberar uma cápsula. Mostrou-se como uma opção promissora, dada sua capacidade de liberar as cápsulas facilmente e sua concepção relativamente simples.

**Palavras-chave:** Parasitóide. Mecanismo. RPA. Controle biológico. Inimigos naturais.

FERREIRA, Fabio da Silva. **Development of a capsule dispersion mechanism for biological control using remotely piloted aircraft**. 2024. 28 f. Course Completion Work (Bachelor's Degree in Agricultural Engineering) – Faculty of Agricultural Sciences, Federal University of Grande Dourados, Dourados, 2024.

## ABSTRACT

Biological control is a fundamental strategy in the management of agricultural pests, using natural enemies to combat unwanted organisms. In the distribution of these natural enemies, Remotely Piloted Aircraft (RPA) emerge, which can increase the effectiveness of applying the biological control agent and reduce costs, especially in larger areas when compared to manual distribution. It is essential to ensure that natural enemies distributed by RPAs remain intact during transport and distribution. This requires the development of both hardware and software mechanisms capable of performing accurate distribution under various climatic conditions. In this scenario, the present work aims to develop a mechanism for the dispersion of biological control capsules through an RPA. For the development of the capsule dispersion mechanism for biological control, the phases included informational (clarify the task), conceptual, preliminary, and detailed projects. Solidworks® software was used to design the mechanism project, and the prototype was subsequently built. The laboratory test was carried out at the Machine Design Laboratory at UFGD, evaluating the ability to drive the electric motor of the dispersion mechanism of the biological control capsules. The prototype was effective in performing a complete 360° turn and releasing a capsule. It proved to be a promising option, given its ability to release capsules easily and its relatively simple design.

**Keywords:** Parasitoid. Mechanism. RPA. Biological control. Natural enemies.

## SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 Controle Biológico na Agricultura .....	3
2.2 Tecnologia de Aeronaves Pilotadas Remotamente (RPA) .....	5
3 DESENVOLVIMENTO.....	10
3.1 Projeto Informacional.....	10
3.2 Projeto Conceitual .....	10
3.3 Projeto Preliminar .....	12
3.3.1 Microcontrolador ESP32 .....	13
3.3.2 Módulo driver ULN2003 .....	13
3.3.3 Motor de passo .....	14
3.3.4 Montagem do sistema ESP32 interligando ao motor de passo.....	15
3.4 Construção da Peça .....	16
3.5 Projeto Detalhado .....	17
3.6 Teste de Laboratório .....	17
4 RESULTADOS .....	18
5 CONCLUSÕES .....	25
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	26

## 1 INTRODUÇÃO

As aeronaves não tripuladas, conhecidas como drones, possui duas categorias: Aeronave Pilotado Remotamente (RPA) e drones autônomos. O primeiro trata-se de veículos aéreos sob controle remoto, e o segundo são veículos aéreos não tripulados controlados por computadores de bordo que não necessitam de intervenção do piloto em voo. Os RPAs foram desenvolvidos e utilizados em uma ampla variedade de atividades, na agricultura, por exemplo, os drones têm sido usados para realizar tarefas como pulverização, monitoramento de culturas, agricultura de precisão, etc (HUANG, 2023; REJEB et al., 2022).

Os drones na agricultura de precisão assumiram um papel mais físico, como aplicação aérea de fluidos, sólidos e agentes de controle biológico (GOODRICH et al., 2023). Sendo bem atrativo devido ao seu alto grau de manobrabilidade, curtos períodos de configuração, podendo ser usados em pequenas propriedades (LO et al., 2021).

O controle biológico tem como componente essencial o uso de inimigos naturais, que são organismos considerados benéficos que causam a morte ou danos a outro organismo que são considerados pragas, tendo como principal objetivo nos programas de controle biológico na silvicultura e na agricultura, a redução de impactos das pragas abaixo dos limites aceitáveis (KENIS et al., 2019). Os organismos de controle biológico incluem, mas não estão limitados a, parasitóides, predadores, nematóides entomopatogênicos, fungos, bactérias e vírus (VAN LENTEREN et al., 2018).

Na distribuição de inimigos naturais, os drones podem aumentar a eficácia na aplicação do agente de controle biológico e reduzir os custos, principalmente, em áreas maiores quando comparado com a distribuição manual (IOST FILHO et al., 2020). Fornecem também a vantagem adicional de aplicar esses produtos facilmente onde o terreno é difícil para pessoas e/ou máquinas alcançarem (LUCK et al., 2021).

O desenvolvimento de mecanismos de dispersores montados em drones concentrou-se principalmente em dois tipos de inimigos naturais, que são os ácaros predadores (*P. persimilis*) e vespas parasitóides, como o parasitóide de ovos *Trichogramma spp.* (*Hymenoptera: Trichogrammatidae*). É essencial garantir que os inimigos naturais distribuídos por drones se mantenham íntegros durante o transporte e distribuição. Isso requer o desenvolvimento de mecanismos tanto de hardware quanto de software capazes de realizar uma distribuição precisa em diversas condições climáticas, com especial atenção para o vento, um fator determinante nesse processo (IOST FILHO et al., 2020).

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um mecanismo de dispersão de cápsulas para o controle biológico usando aeronave remotamente pilotada.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Controle Biológico na Agricultura

Um componente de custo considerável na produção agrícola é o manejo de doenças de plantas, para lidar com as doenças nos ecossistemas agrícolas incluem a criação de variedades resistentes das espécies agrícolas, a higiene para evitar a propagação de solo ou sementes contaminados e fungicidas para matar fungos potencialmente infectantes. As preocupações crescentes sobre os efeitos dos fungicidas no ambiente e os resíduos nos alimentos, resultaram no cancelamento do registro de vários fungicidas, com isso, houve aumento de interesse no controle biológico. O controle biológico envolve a supressão de doenças ao aplicar o agente de controle biológico, que geralmente é um fungo, bactéria ou vírus, ou uma combinação destes, diretamente na planta ou no solo. Atuando na prevenção da infecção da planta pelo patógeno ou na inibição do estabelecimento do patógeno na planta. Em razão de serem altamente específicos para um patógeno, acabam não sendo ofensivos as espécies não-alvo (O'BRIEN, 2017).

O controle biológico pode desencadear uma nova tendência, uma vez que há chances de lucros mais elevados na produção de alimentos com menos ou nenhum inseticida químico, especialmente nos orgânicos. Embora a liberação de adultos parasitoides dentro de cápsulas equipadas com fonte de alimento possa ser mais cara, ela oferece vantagens sobre a liberação de pupas desprotegidas em massa, especialmente em condições tropicais. Essas vantagens incluem maior vida útil, maior sobrevivência e parasitismo após a liberação. A adoção do Manejo Integrado de Pragas (MIP), enfatizando o controle biológico aumentativo, plantas transgênicas e outras ferramentas ecologicamente corretas para o controle de pragas, é urgentemente necessária como estratégia para uma economia mais sustentável na produção de alimentos. Todas essas ferramentas e recomendações de manejo de pragas estão atualmente disponíveis e incorporam aspectos ambientais, econômicos e benefícios sociais (BUENO et al., 2023).

A utilização de agentes de controle biológico, como os fungos do gênero *Trichoderma*, é uma contribuição direta para a criação de um ambiente mais sustentável. Isso se traduz em menor dependência de agrotóxicos, manejo mais racional dos recursos naturais e a capacidade de agir como antagonistas contra fitopatógenos de grande relevância. A necessidade de isolar cepas nativas de *Trichoderma* na região Centro-Oeste e no Tocantins está ligada ao sucesso na adaptação a esse ambiente, pesquisas sobre o potencial e a

descoberta de novos organismos desse gênero podem impactar positivamente a economia do Centro-Oeste e do Tocantins, onde a agricultura é uma das principais fontes econômicas. Por exemplo, para aumentar a produção de soja, os agricultores têm duas opções: melhorar fatores limitantes (como nutrição do solo, água e controle de pragas) ou expandir a área de plantio, muitas vezes resultando no desmatamento de áreas nativas de Cerrado. O uso do agente de controle biológico *Trichoderma*, juntamente com estudos, pode aumentar a produtividade e mitigar os impactos negativos da atividade agrícola (NASCIMENTO et al., 2022). O controle biológico no país tem uma longa história, desde o final da década de 1970, com alguns programas que se basearam na criação massal, sendo que grande parte do sucesso, ocorreu principalmente devido a boa gestão das pesquisas (projetos inter e multidisciplinares) e pelo domínio da criação massal de insetos em escala industrial, avaliando sempre a qualidade dos agentes produzidos. A cultura da cana-de-açúcar tem se destacado no uso de controle biológico, sendo aproximadamente 3,5 milhões de ha que são tratados com *C. flavipes* (parasitóide de larvas) e cerca de 2 milhões de ha são tratados com *T. galloi* (parasitóide de ovos), ambos agentes para controle de *D. saccharalis*, a broca da cana-de-açúcar. O fungo *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) (Hypocreales: Clavicipitaceae) é utilizado em cerca de 2 milhões de hectares para controlar a cigarrinha, *Mahanarva fimbriolata* (Stål) (Hemiptera: Cercopidae) (PARRA e COELHO, 2019).

Os sistemas de produção no Brasil permitem 2 a 3 colheitas anuais em certas regiões, ao comparar o uso de Controle Biológico (CB) em países como a Holanda ou Espanha, onde atinge 80-90% dos locais de plantio, é importante considerar que nesses lugares trata-se do controle em casas-de-vegetação. O país enfrenta desafios logísticos devido à vasta extensão territorial, questões legais específicas para agroquímicos, amostragem para liberação de agentes de controle biológico, técnicas de liberação em grandes áreas, gestão de áreas com transgênicos, disponibilidade de agentes de controle biológico para os agricultores, técnicas de criação massal de insetos com automação, formulação para microrganismos, entre outros. As grandes empresas de controle biológico escolheram o Brasil devido ao seu potencial no controle de pragas e à oportunidade de integração com a Agricultura 4.0. Na cultura de cana-de-açúcar, por exemplo, 2,2 milhões de hectares foram tratados com *T. galloi*, sendo que 91% dessas liberações foram realizadas por RPAs (PARRA, 2019). As vespas são criadas em laboratórios e soltas em plantações infestadas de brocas. Para manter a população da praga abaixo do limite do dano econômico, é fundamental buscar estratégias para liberação de parasitóides na fase adulta (*Cotesia flavipes*), baseando na teoria do controle ótimo (BEZERRA et al., 2021).

A liberação de adultos dentro de cápsulas em vez de pupas a granel aumenta a probabilidade de acasalamento e com isso ocorre o aumento do parasitismo. O *Trichogramma spp.* e *T. remus* são parasitoides de ovos que atacam as mesmas massas de ovos, mas *Trichogramma spp. oviposita* apenas na camada superior das massas de ovos da Lagarta do Funil do Milho, enquanto *T. remus* pode parasitar as camadas inferiores (BUENO et al., 2023).

Myint et al, (2023) em sua pesquisa indicaram que altas densidades de parasitoides de ovos conseguiram suprimir eficazmente as infestações larvais da broca asiática do milho, proporcionando uma redução de danos às plantas de 20% a 30% e aumentando o peso dos grãos em 20% a 30% em comparação com outras duas densidades. De duas a três liberações de *Trichogramma* diminuíram consideravelmente os danos às plantas em 30% a 60% em comparação a uma liberação e em relação às parcelas controle de 50% a 90%. Além disso, houve um aumento no peso seco dos grãos em 30% em comparação com as parcelas de controle na liberação única e mais de 50% em comparação com as parcelas de controle nas liberações múltiplas.

A indústria do setor tem buscado a liberações com densidades de parasitoides mais baixas para reduzir custos e, conseqüentemente, aumentar a adoção da tecnologia pelos agricultores. A análise de custos e benefícios deve ser aprimorada em pesquisas futuras para fornecer informações aos produtores e à indústria de controle biológico para uma melhor decisão em relação as liberações de parasitoides de ovos (BUENO et al., 2023).

A oferta de agentes de controle biológico ainda não atende à demanda dos agricultores, o interesse crescente não é acompanhado pela quantidade adequada de empresas no mercado. Grandes empresas adquirem startups, indicando uma possível expansão na disponibilidade de agentes de controle. Para cobrir os 35 milhões de hectares de soja no Brasil, a produção automatizada de parasitoides é necessária. O país possui uma vasta diversidade de agentes potenciais, como parasitoides, predadores e microrganismos. Produtores estão optando cada vez mais por produtos biológicos em detrimento dos agroquímicos (PARRA e COELHO, 2019).

## **2.2 Tecnologia de Aeronaves Pilotadas Remotamente (RPA)**

No começo do século 16, surgiu pela primeira vez a palavra “drone” para indicar um zangão da abelha, no qual possui como propósito: fertilizar uma abelha rainha durante um voo de acasalamento, seguido pela sua morte. Esse conceito foi aplicado para cunhar as aeronaves sem piloto usadas para prática de tiro ao alvo na Segunda Guerra Mundial em uma missão

com um único propósito que envolve a destruição da aeronave. As aeronaves militares não tripuladas eram usadas na década de 1990 para distribuir de forma remota as munições em zonas de conflito no mundo, referenciados como drones. A palavra drone ao longo do tempo teve expansão de significado, sendo usada para descrever aeronaves não tripuladas militares e civis, desde multicópteros de brinquedo controlados remotamente até sofisticadas aeronaves não tripuladas usadas em uma ampla gama de aplicações comerciais, incluindo fotografia aérea, levantamento topográfico, inspeção de infraestrutura, resposta a emergências, entrega de pacotes e agricultura (MERWE et al., 2020).

As Aeronaves Pilotadas Remotamente (RPA) são categorizadas em três principais tipos: asa fixa, helicóptero e multicóptero. Aeronaves de asa fixa possuem asas estacionárias em forma de aerofólio, criando sustentação com a velocidade. Helicópteros têm um conjunto único de pás giratórias para sustentação e empuxo. Já os multicópteros, com vários conjuntos de pás giratórias, normalmente de 4 a 8, oferecem sustentação e controle de movimentos para as RPAs (HAFEEZ et al., 2022). Os de rotor único são caros de produzir e precisam de treinamento especializado, são mecanicamente difíceis e suscetíveis a obstáculos como vibrações, já os multicópteros são mais populares devido ao seu pouso vertical ou manobrabilidade rápida, baixo custo e tamanho compacto (MOHSAN et al., 2023).

Na última década, a adoção de RPAs na agricultura teve vários avanços, sendo um componente de tecnologia limpa, sustentável e de precisão, com grande potencial de garantir a segurança alimentar, tendo como benefícios: monitoramento de terras e culturas, imagens de alta qualidade, análise em tempo real, relação custo-eficácia, etc. Os RPAs de asas fixas e rotativas são equipados com câmeras multiespectrais e sensores conforme a necessidade dos agricultores, sendo o mais comum, os RPAs de asas rotativas, por ter melhor manobrabilidade, capacidade de pouso e decolagem vertical. As suas aplicações incluem monitoramento de culturas, vigilância de doenças, irrigação e fertilização, análise de solo, manejo de ervas daninhas, colheita de culturas, seguro de culturas, polinização mecânica, plantação de culturas e árvores, juntamente com seus numerosos usos na silvicultura e pecuária, permitindo assim a sustentabilidade e ganhos econômicos (AHMAD et al., 2020).

O uso de RPAs tem sido adotado na maioria dos setores das economias de países desenvolvidos e em desenvolvimento, possuem atualmente uma infinidade de aplicações na agricultura, sendo usados para obter imagens em tempo real e dados de sensores de campos agrícolas, possibilitando aos agricultores a capacidade de tomar decisões informadas sobre os insumos agrícolas (AYAMGA et al., 2021). São sistemas de aeronaves emergentes, de alto rendimento, destinados ao monitoramento e gerenciamento do campo. Estas aeronaves

navegam pelo território para explorar, inspecionar e intervir ativamente, operando tanto de forma autônoma quanto semiautônoma. Seu principal fundamento é o sensoriamento remoto, proporcionando a capacidade de capturar a variabilidade espaço-temporal do campo com maior precisão, flexibilidade, autonomia e realismo do que seria possível com plataformas orbitais de aquisição de dados e equipamentos ao nível do solo. Essas aeronaves utilizam módulos de pulverização inteligentes de última geração, lançando líquidos em áreas específicas conforme necessário. Isso possibilita o controle preciso de insetos, tanto ao nível da planta (caule e folha) quanto ao nível do solo, agilizando os fluxos de trabalho e reduzindo o esforço dos trabalhadores do campo (BARBOSA JÚNIOR et al., 2022).

Os drones são utilizados na agricultura principalmente para o mapeamento de campos e monitoramento de culturas. Eles desempenham um papel crucial ao monitorar a saúde das plantações, permitindo a tomada de ações corretivas para evitar a deterioração das culturas. Na agricultura de precisão, para aplicações com drones, é fundamental levar em consideração a carga útil, que representa o peso que um drone pode carregar, sendo os componentes são selecionados após o cálculo da carga útil. A estrutura do drone é projetada de acordo com o número de braços e cargas úteis. (HAFEEZ et al., 2022). O RPA com maior capacidade de carga útil pode transportar mais peso, reduzindo a frequência de voo e, assim, encurtando o tempo necessário para concluir as tarefas (TRAPPEY et al., 2023). O peso, tamanho e condições atmosféricas, como chuva ou vento, impactam significativamente a durabilidade da bateria, estreitamente vinculada ao tempo de voo. Sistemas GNSS e piloto automático desempenham papéis essenciais nesse aspecto. Os RPAs de pequeno porte têm voos de 20 a 30 minutos, os maiores podem permanecer no ar por várias horas (MOHSAN et al., 2023).

Os controladores de voo, também conhecidos como sistemas de piloto automático, são componentes essenciais, sendo projetados para facilitar o controle autônomo de voo, abrangendo tarefas como planejamento de missão, geração de *waypoints* e estabilização de altitude. Para desempenhar essas funções de maneira eficiente, os controladores de voo requerem suporte simultâneo de software e hardware. O hardware inclui módulos de controle de potência, comunicação, GNSS, sensores, unidades de medição inercial e computadores de bordo. Enquanto isso, o software compreende algoritmos para processamento de sinais, controle de atitude, planejamento de trajetória e alocação de tarefas (MOHSAN et al., 2023).

Ao longo tempo ocorreu aprimoramento dos controladores dos drones deixando de ser um microcontrolador básico, sendo usados Arduino Uno® e Raspberry Pi® habilitados para

IA. Os sistemas têm deixado de ser semicontrolados para sistemas totalmente automatizados devido a pesquisa avançada em sistemas embarcados, transmissão e análise de dados. Em decorrência da criação de um sistema amigável ao agricultor, tornou-se possível a implementação do aprendizado de máquina. Os grandes desafios a serem trabalhados são o custo da tecnologia, a vida útil limitada da bateria dos drones, a obstrução da visão, a treinamento do utilizador final sobre a tecnologia e as deficiências no processamento de imagens e na análise de dados (HAFEEZ et al., 2022). Torna-se fundamental projetar RPAs mais leves, porém mais eficientes em termos de energia, para melhorar a resistência e a autonomia. Outra é adaptar os modelos de engenharia atuais para liberar itens, seja para controle biológico de pragas, amadurecimento ou remoção de ervas daninhas (BARBOSA JÚNIOR et al., 2022).

Ayamga et al.(2021) salientam que são necessárias regulamentações habilitadoras no mundo para utilizar todo o potencial da tecnologia do RPA. Os usuários e potenciais usuários podem ser informados sobre as regulamentações existentes que podem ajudar a restringir o uso não autorizado. São necessários mais estudos sobre a integração dos drones nos sistemas de transporte e cadeias de abastecimento existentes, incluindo o alargamento da carga útil e da duração dos voos, e considerando os fundamentos culturais nos quais os drones podem ser facilmente aceitos e adotados para utilização nos países em desenvolvimento.

A entrega de *Trichogramma* por drones multirotores é uma ideia dominante no controle de pragas; no entanto, é urgentemente necessária uma melhor compreensão da viabilidade e precisão deste sistema (JI et al., 2022). Atualmente, empresas chinesas desenvolveram RPAs voltados para a proteção de plantas, os quais podem ser utilizados para a liberação controlada de *Trichogramma* visando o controle de brocas de milho. Mostraram-se eficazes no combate a pulgões do milho, especialmente os pulgões da borla, bem como em lidar com doenças foliares do milho, como ferrugem, *Curvularia lunata Boedijn*, ferrugem das folhas do sul do milho, *Cercospora sojina*, mancha do milho, entre outras pragas e doenças, além de regular o crescimento das plantas de milho (WANG et al., 2022).

Os RPAs proporcionam facilidade na distribuição no campo dos ovos de hospedeiros parasitados, contendo pupas do parasitoide. Esse método permite que as pupas do parasitoide sejam espalhadas uniformemente no campo, dentro de cápsulas protetoras, ou que os ovos dos hospedeiros parasitados sejam distribuídos separadamente, o que reduz ainda mais os custos (BUENO et al., 2022). Com avanços tecnológicos, a adoção de RPAs torna-se mais acessível. No entanto, é necessário aprofundar pesquisas para garantir uma transição econômica, sustentável e suave. Novos algoritmos de IA e aprendizado de máquina podem contribuir para

mapeamento de aplicações, mas falta simulação e interpretação de dados captados pelos RPAs. A otimização eficaz dos sensores e a simplificação da interface são cruciais para tornar os RPAs mais econômicos e eficientes. Estudos sobre RPAs autônomos estão em fase inicial, proporcionando maior autonomia ao agricultor (AHMAD et al., 2020). Reduzir a predação e o parasitismo em todas as fases da vida e em todos os habitats é uma consideração essencial no desenvolvimento de estratégias para a liberação de agentes (MCTAVISH et al., 2024).

### 3 DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento do mecanismo de dispersão de cápsulas para o controle biológico, envolveu como fases, os projetos informacional (clarear a tarefa), conceitual, preliminar e detalhado. Para o desenho do projeto do mecanismo foi utilizado o software Solidworks®, posteriormente, foi feita a construção do protótipo no Laboratório de Projetos de Máquinas (Lapromaq) da FCA da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Para o projeto foi utilizada como referencia a cápsula utilizada pela empresa Sistêmica Kovê, possui 46 mm de diâmetro, peso de 3,6 gramas, sendo o material de amido (Figura 1).

**Figura 1.** Cápsula sendo pesada em balança digital de precisão



Fonte: Autor (2023)

#### 3.1 Projeto Informacional

Nessa etapa foi feito o levantamento de pesquisas na internet, científica e tecnológica buscando ter acesso ao estado da arte que se encontra o tema.

#### 3.2 Projeto Conceitual

O sistema tem como objetivo atender aos requisitos da tarefa, mapeando todas as funções necessárias para componentes específicos e estabelecendo uma arquitetura compreensiva para a implementação das funcionalidades. Durante a avaliação da funcionalidade, as relações entre funções e componentes são compreendidas, garantindo a inclusão apenas dos componentes necessários e a exclusão dos desnecessários (Yang et al., 2023). Foi elaborado uma lista de requisitos a serem considerados no projeto do mecanismo para dispersão de cápsulas de controle biológico usando Aeronaves Pilotada Remotamente (RPA) (Figura 2).

Na etapa conceitual, levou-se em consideração analogias para melhor compreensão e processo criativo, foi feita a analogia do globo do jogo do bingo que saca somente uma bola por vez de forma precisa. Além disso, também foi levado em consideração nesse processo criativo, o funcionamento de elevadores canecas de unidades armazenadoras e os ventiladores centrífugos para a idealização da melhor forma de funcionamento do mecanismo. Foi adotada a Casa de Qualidade (QFD) como uma metodologia, tem como objetivo a integração do consumidor nas diversas fases dos processos de transferência dos desejos dos clientes para os processos, por meio de critérios predefinidos que representam as preferências e percepções dos clientes. Entretanto, o valor que cada cliente ou decisor atribui a um critério específico é subjetivo e de dificuldade na expressão na precisão através de dados nítidos, girando em torno de vários fatores e suas inter-relações (AYDIN et al., 2023; ZHENG et al., 2023).

**Figura 2.** Lista de requisitos dos projetos mecanismo para dispersão de cápsulas de controle biológico usando aeronave pilotada remotamente (RPA).

<b>Lista de Requisitos-Especificação</b>	
<b>Mecanismo para Dispersão de Cápsulas de Controle Biológico usando Aeronave Pilotada Remotamente (RPA)</b>	
<b>Desejável Indispensável</b>	<b>Requisitos de Projeto</b>
<b>I</b>	1- BAIXO CUSTO DE AQUISIÇÃO Preço máximo compatível com similares do mercado
<b>I</b>	2- DESEMPENHO DE ALTA CONFIABILIDADE
<b>I</b>	3- SISTEMAS OTIMIZADOS Mínimo consumo de energia possível
<b>D</b>	4-MECÂNICA SIMPLES Sistemas simples, de fácil reparo se preciso
<b>I</b>	5-PESO Mínimo possível de peso para aumentar o tempo de autonomia de voo
<b>I</b>	6-FACILIDADE DE AJUSTE Rapidez e facilidade das regulagens e carregamento do equipamento
<b>I</b>	7-CONSUMO DE POTÊNCIA Possibilidade de ser carregado por um RPA
<b>D</b>	8-MATERIAIS COMUNS Utilização de materiais normalizados facilmente encontrados no mercado
<b>I</b>	9-VIDA ÚTIL Boa relação custo-benefício com vida útil
<b>D</b>	10-PEÇAS NORMALIZADAS Uso de componentes normalizados
<b>I</b>	11- PROCESSOS CONVENCIONAIS DE FABRICAÇÃO Facilitar fabricação e manutenção
<b>D</b>	12- DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO Segurança no uso

<b>I</b>	13- CENTRO DE GRAVIDADE Posição que não prejudique o RPA no voo
<b>D</b>	14- ADVERTÊNCIAS ESCRITAS Evitar uso incorreto e acidentes
<b>D</b>	15- ASPECTOS ESTÉTICOS Promover empatia do cliente
<b>I</b>	16- AUTONOMIA DE TRABALHO Tamanho satisfatório da área coberta com uma carga

Fonte: Autor (2024)

No processo de aplicação do QFD, consistiu em estabelecer os graus de interligação entre os requisitos do projeto e as demandas dos clientes, classificando-os como relacionamentos fortes, médios ou fracos entre si, além de avaliar a correlação entre os requisitos do projeto. Estes foram atribuídos valores de 1, 3 e 9, representando, respectivamente, relações fracas, médias e fortes. Após esclarecer adequadamente a tarefa e garantir que as partes envolvidas concordassem com a viabilidade técnica e econômica dos requisitos identificados.

### 3.3 Projeto Preliminar

Foi projetado um mecanismo de liberação levando em consideração a mecânica, a eletrônica e o software, para ser montado em um RPA e permitindo a liberação aérea das cápsulas. As partes principais do mecanismo de liberação são (i) uma unidade de armazenamento composta por um recipiente que mantenha as cápsulas adequadas, (ii) um mecanismo com a capacidade de ejetar uma cápsula por vez do recipiente de armazenamento para o exterior, e (iii) um microcontrolador a bordo programado para acionamento do mecanismo.

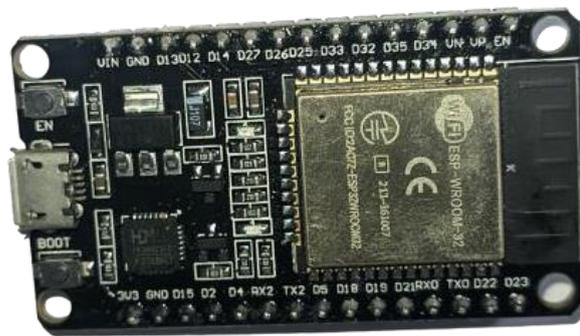
A unidade de armazenamento ou recipiente foi projetada para manter as cápsulas protegidas, contendo uma porta para permitir o carregamento do mecanismo de liberação diversas vezes em campo, sem a necessidade de desmontagem e remoção de nenhuma peça.

O mecanismo de soltura consiste em um cilindro giratório com uma parte vazada conectado a um motor de passo. O motor de passo controla a rotação do cilindro com uma parte vazada com alta precisão e alto torque. Uma volta completa do cilindro deve liberar uma cápsula e retornar ao estado de abastecimento da próxima cápsula. A estrutura ao redor do cilindro e do mecanismo de soltura é construída para minimização do fluxo de ar da parte externa para dentro do recipiente. Além disso, a ligação entre o cilindro e a estrutura é projetada de forma que seja fácil remover o cilindro para limpeza.

### 3.3.1 Microcontrolador ESP32

A ESP32, foi desenvolvida pela Espressif Systems, é uma placa de desenvolvimento que integra um microcontrolador de baixo consumo de energia, com 38 pinos, baseado na arquitetura Xtensa LX6, e um módulo Wi-Fi/Bluetooth de alto desempenho. Possui versatilidade e eficiência, a ESP32 oferece uma ampla gama de recursos, incluindo GPIOs, interfaces de comunicação como UART, I2C e SPI, e capacidade de processamento adequada para aplicações IoT (Figura 3).

**Figura 3.** Microcontrolador ESP32



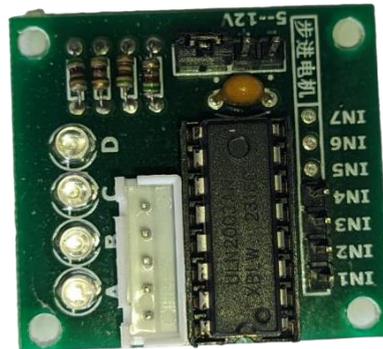
Fonte: Autor (2024)

### 3.3.2 Módulo driver ULN2003

Um driver de motor de passo é dedicado ao único motor de passo. O driver fornece sinais de controle apropriados e tensão de alimentação ao motor de passo associado, de modo que o motor de passo gire na direção apropriada (sentido horário ou anti-horário) e no número de etapas solicitadas pelo microcontrolador.

O único chip no módulo é o ULN2003. Esse chip possui um conjunto de sete drivers de transistores Darlington que permitem o acionamento de cargas indutivas. Todas as saídas tem o coletor aberto e diodos de supressão (Clamp). Os transistores suportam tensões de até 50V e correntes de até 500 mA. Todas as entradas IN1, IN2, IN3 e IN4 são compatíveis com sinais TTL e CMOS, com limite de 12V (Figura 4). O pino comum tem que ser conectado na tensão de alimentação do motor. Nesse caso é conectado no 5V.

**Figura 4.** Módulo Driver ULN2003.



Fonte: Autor (2024)

### 3.3.3 Motor de passo

O motor de passo foi muito útil no projeto em que fatores como ângulo de rotação, velocidade, posição e sincronismo precisam ser controlados com precisão. O 28BYJ-48 é um motor de passo unipolar que opera em 5V e foi usado no projeto. Este motor pode ser posicionado com precisão (um passo de cada vez), é confiável e fornece um bom torque, mesmo quando parado (Figura 5).

**Figura 5.** Motor de passo 28BYJ-48



Fonte: Autor (2024)

O motor de passo 28BYJ-48 possui redução de 1/64 o que significa que é possível dar uma volta completa com 2048 passos. Outras especificações encontram-se na Tabela 1.



deve ser conectado aos GNDs do ESP32 e à fonte de alimentação externa. O Pino VDD: fornece energia para o motor, sendo conectado a fonte de alimentação externa.

**Tabela 2.** Esquema de Conexão do Circuito do ESP32 e Motor de Passo com módulo ULN2003

ULN2003	ESP32
IN 1	D26
IN 2	D25
IN 3	D33
IN 4	D32
+	FORNTE DE 5V EXTERNA
-	GND E FORNTE DE 5V EXTERNA

Fonte: Autor (2024)

### 3.4 Construção da Peça

Para a construção da peça giratória, foi utilizado Polietileno de Alta Densidade (PEAD), foi cortado em tamanhos de 10 a 20 mm com auxílio de uma tesoura (Figura 7a), posteriormente, pesou-se aproximadamente 300 gramas para a primeira parte da peça. O material plástico picado foi colocado em uma panela e aquecido em temperatura média do fogão, acima do ponto de fusão (110 a 140°C) do PEAD (Figura 7b), sendo misturado com uma espátula (KULKARNI et al., 2022). Foram adotados os procedimentos de segurança na fabricação, sendo utilizado máscara, óculos de proteção e luva.

O plástico na forma de pasta, foi despejado em uma lata de achocolado (molde) que foi passado óleo previamente ao redor e foi colocado um papelão no formato da parte vazada para sair no formato (Figura 7c). Em seguida, a pasta plástica derretida foi devidamente compactada no molde durante o enchimento para preencher os espaços vazios (Figura 7d). Após o esfriamento, a peça foi retirada do molde.

**Figura 7.** a) Polietileno de Alta Densidade (PEAD) picado em recipiente; b) Plástico picado colocado em uma panela e aquecido em temperatura média do fogão; c) molde com papelão no formato da parte vazada; d) compactação do plástico derretido no molde.

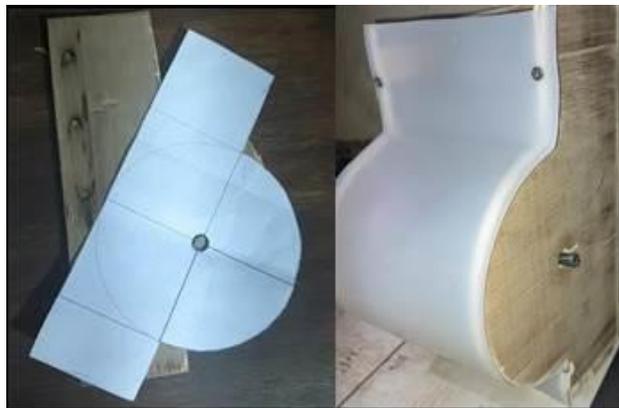


Fonte: Autor (2024)

Para a parte superior e inferior da peça foi pesado aproximadamente 80 gramas, sendo feito o mesmo processo, com a inserção da primeira parte para ocorrer a fusão com as demais. Foi realizada colagem de plástico ao redor para deixar mais uniforme e esteticamente melhor visualmente. Nas peças de suporte para a inserção do motor de passo. Além disso, foi feito o pino com tampa de garrafa e com o PEAD derretido para fundir, para servir de encaixe do motor de passo.

As peças de suporte para a peça giratória foram fabricadas de madeirite, sendo usado moldes impressos para fazer os cortes nos formatos adequados, exceto a parte superior que foi utilizado PEAD (Figura 8).

**Figura 8.** Moldes e partes da construção da peça de suporte a peça giratória.



Fonte: Autor (2024).

### 3.5 Projeto Detalhado

No Projeto detalhado foi realizado o desenho cotado com detalhamento das peças e as suas especificações, sendo utilizado o software Solidworks®, etapa de consolidação do projeto preliminar.

### 3.6 Teste de Laboratório

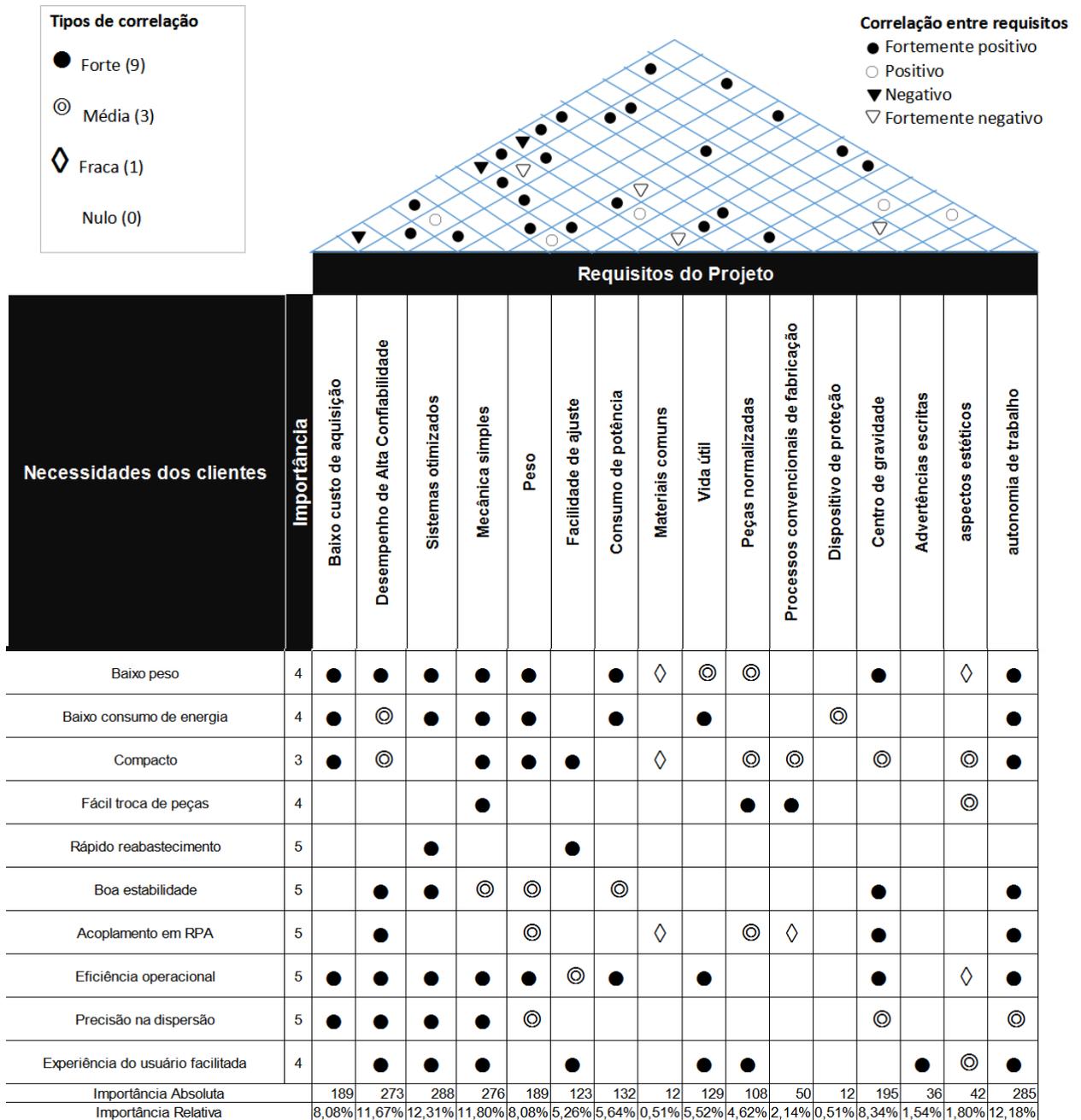
O teste laboratorial foi realizado no Laboratório de Projetos de Máquinas (Lapromaq) da UFGD, por meio de teste eletromecânico para avaliar a capacidade de acionamento do motor elétrico do mecanismo de dispersão das cápsulas de controle biológico, no qual envolveu a aplicação de sinais elétricos ao motor para acionar o mecanismo e observar como ele executa a tarefa ao dispersar 10 cápsulas. Foi utilizado o software Arduino®, que se baseia na linguagem de programação o C++.

Esse teste é crucial para garantir que o sistema funcione sem problemas, permitindo que as cápsulas sejam liberadas de maneira eficaz durante a operação do RPA.

### 4 RESULTADOS

Na casa de qualidade do projeto (Figura 9), destacaram-se os requisitos de sistemas otimizados, representando 12,31% da avaliação total, e autonomia de trabalho, com 12,18%. Esse processo de análise e priorização dos requisitos, evidenciou a importância atribuída à eficiência operacional e à capacidade de desempenho autônomo do sistema em questão.

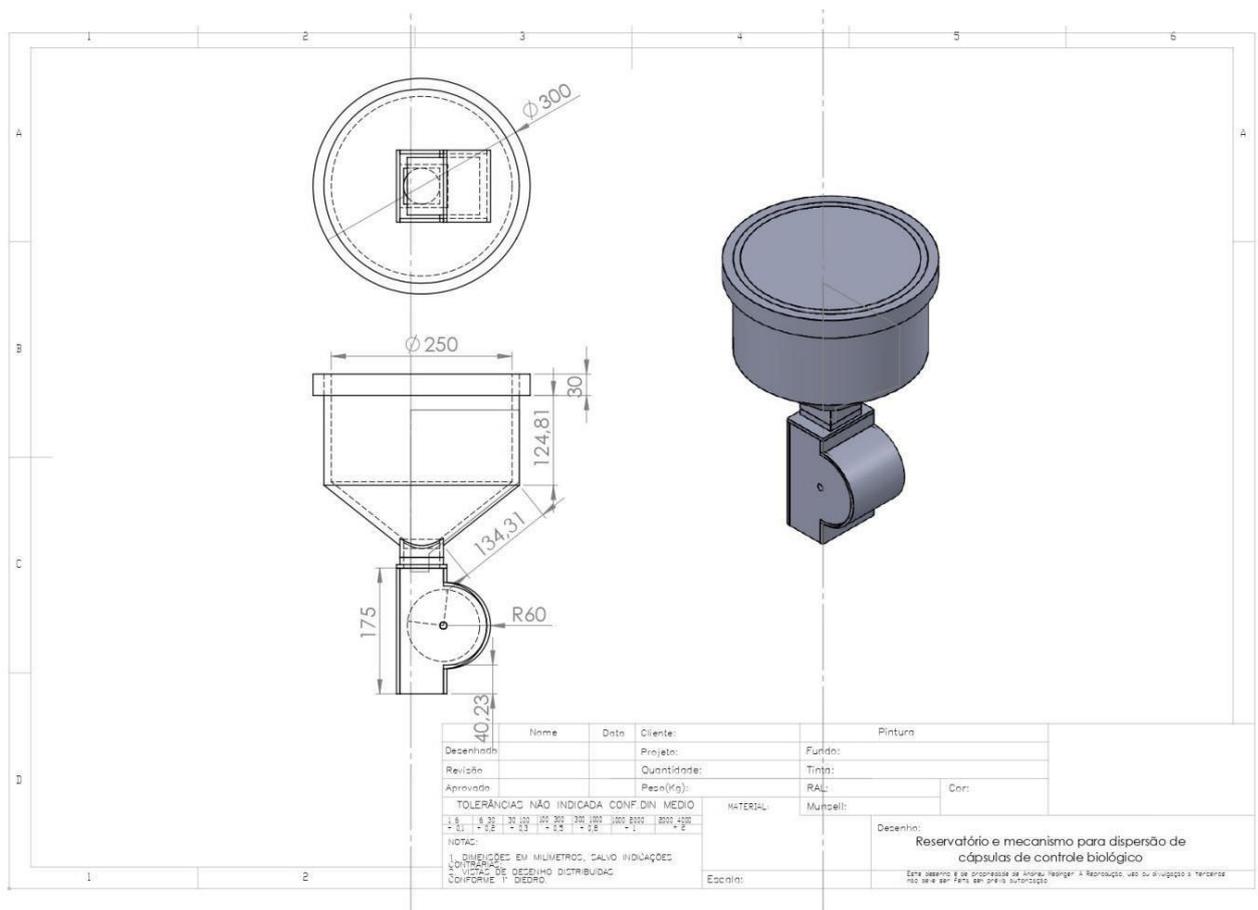
**Figura 9.** Casa da Qualidade (QFD) para um Mecanismo para Dispersão de Cápsulas de Controle Biológico usando Aeronave Pilotada Remotamente (RPA).



Fonte: Autor (2024)

No decorrer do processo de desenvolvimento do projeto, foram feitos os ajustes necessários. Conseqüentemente, chegou-se ao Projeto detalhado, onde foi realizado o desenho cotado com detalhamento das peças e suas especificações. A primeira peça possui as dimensões do mecanismo para dispersão de cápsulas para soltura de controle biológico, utilizando aeronave pilotada remotamente (RPA) e do reservatório (Figura 10).

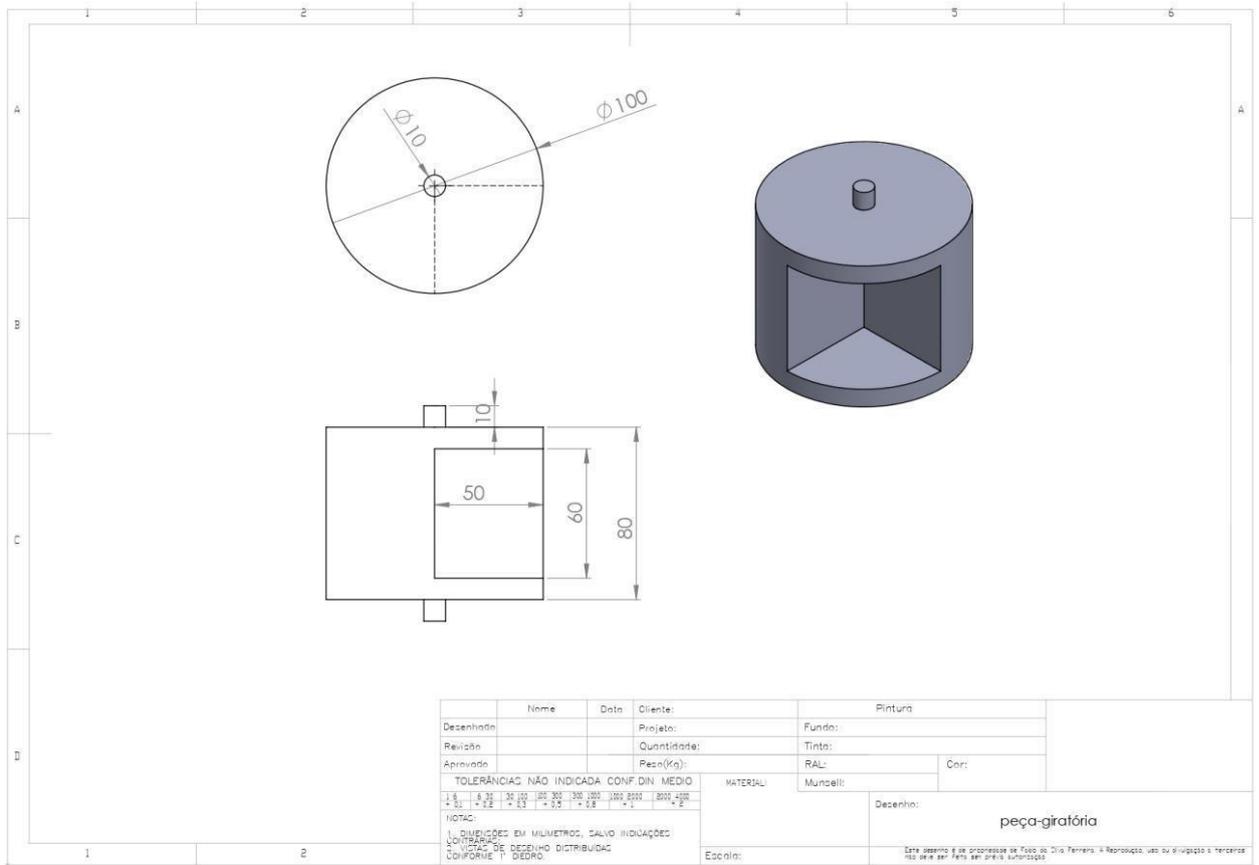
**Figura 10.** Projeto de mecanismo para dispersão de cápsulas para soltura de controle biológico usando aeronave pilotada remotamente (RPA).



Fonte: Autor (2024)

Para uma melhor visualização foi feito o detalhamento da peça giratória (Figura 11) que é responsável por abrigar uma cápsula e com um giro de 360° realizar a ejeção da capsula. No processo de fabricação do protótipo foi obtida uma peça similar e foi útil para o funcionamento do protótipo (Figura 12). Foi feito o detalhamento da parte responsável pela dispersão (Figura 13).

**Figura 11.** Desenho cotado da peça giratória.



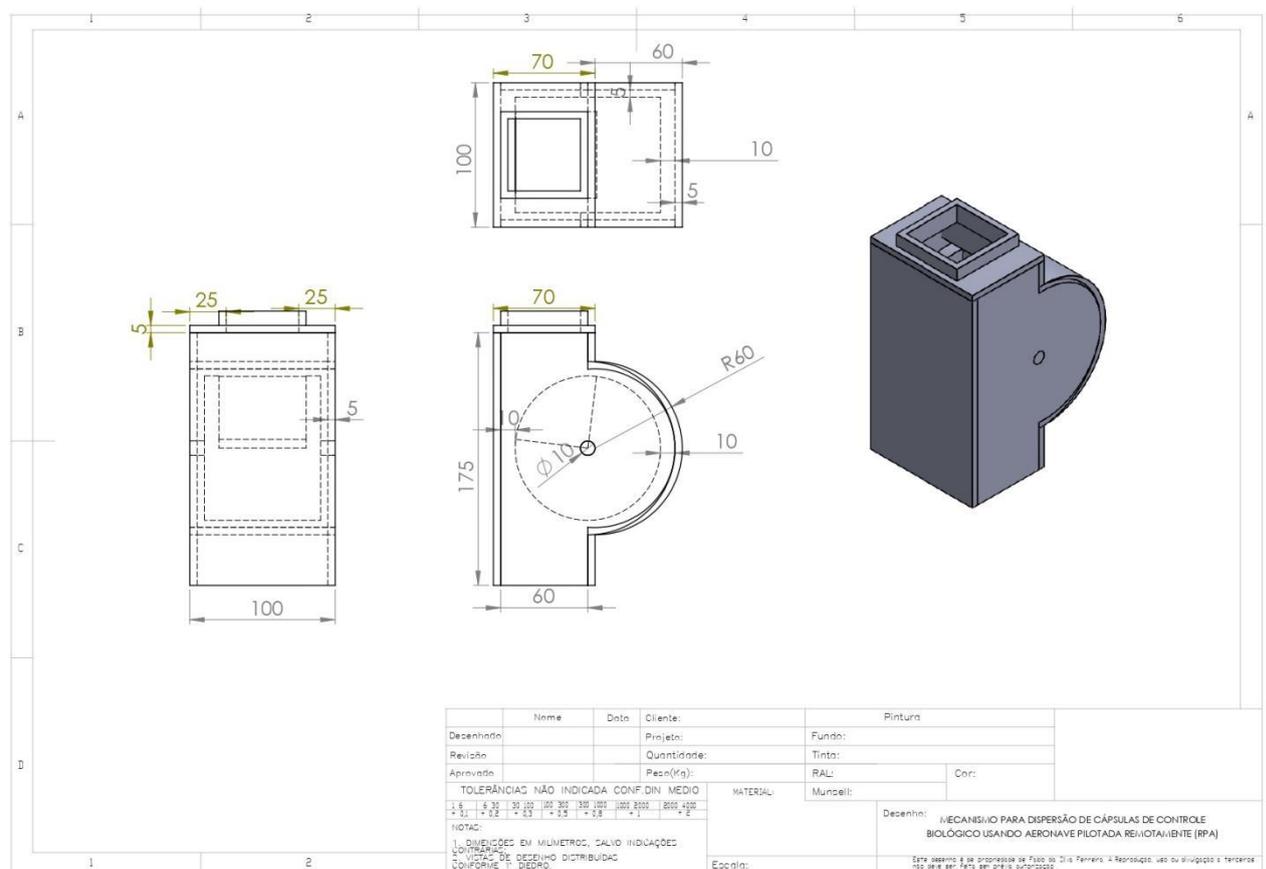
Fonte: Autor (2024).

**Figura 12.** Fabricação da peça giratória do protótipo.



Fonte: Autor (2023)

**Figura 13.** Detalhamento da peça responsável pela dispersão de cápsulas para controle biológico.

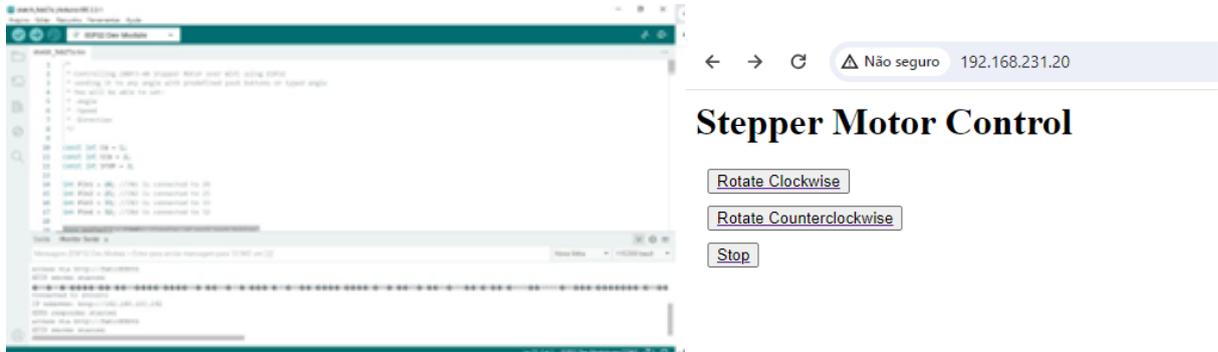


Fonte: Autor (2023).

Em relação ao reservatório do mecanismo de dispersão de cápsulas para controle biológico, responsável por armazenar as cápsulas, possui a capacidade de armazenamento de 50 cápsulas, mostrou-se adequada para a quantidade necessária de cápsulas, garantindo uma operação eficiente e contínua.

O teste de acionamento de motor de passo foi realizado por meio de codificação no Arduino® e a criação de link para acessar pelo navegador para enviar o comando para o giro de 360° (Figura 14), conseqüentemente cumprir com o objetivo inicial de soltura de cápsula e o reabastecimento com a próxima, sendo a tarefa realizada em 4 segundos.

**Figura 14.** Codificação do código no Arduino® e link para acionamento do motor de passo em giro de 360°.



Fonte: Autor (2024)

MO et al., (2022), consideraram que a melhoria da eficiência do projeto é fundamental, considerar a melhoria da velocidade e a melhoria da precisão da solução do projeto, bem como no aprimoramento da automação do projeto e na menor complexidade do algoritmo. No trecho a seguir, é apresentado o código utilizado para controlar o motor de passo no sistema desenvolvido neste trabalho. O código foi adaptado para um microcontrolador ESP32 e permite o controle da direção de rotação do motor:

**Algoritmo 1.** Linhas de comandos do algoritmo desenvolvido.

```
#include <AccelStepper.h>
#include <WiFi.h>
#include <AsyncTCP.h>
#include <ESPAsyncWebServer.h>

const char* ssid = "FabioSuzano";
const char* password = "10203040";

AsyncWebServer server(80);

const int stepsPerRevolution = 2048;

#define IN1 26
#define IN2 25
#define IN3 33
#define IN4 32

AccelStepper stepper(AccelStepper::HALF4WIRE, IN1, IN3, IN2, IN4);

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  WiFi.begin(ssid, password);

  // Wait for connection
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.println("Connecting to WiFi..");
  }

  Serial.println(WiFi.localIP());

  server.on("/", HTTP_GET, [] (AsyncWebServerRequest *request) {
    String content = "<html><head>\n
    <style>button { display: block; margin: 10px; }</style>\n
    <script>\n
    function goBack() {\n
      window.history.back();\n
    }\n
  }");
  });
}
```

```

        </script>\
        </head><body>\
        <h1>Stepper Motor Control</h1>\
        <a href="/rotate?direction=clockwise\"
onclick="goBack()"><button>Rotate Clockwise</button></a>\
        <a href="/rotate?direction=counterclockwise\"
onclick="goBack()"><button>Rotate Counterclockwise</button></a>\
        <a href="/stop\" onclick="goBack()"><button>Stop</button></a>\
        </body></html>";
    request->send(200, "text/html", content);
});

server.on("/rotate", HTTP_GET, [] (AsyncWebServerRequest *request) {
    if (request->hasParam("direction")) {
        String direction = request->getParam("direction")->value();
        if (direction == "clockwise") {
            stepper.moveTo(stepsPerRevolution);
            request->send(200, "text/plain", "Rotating clockwise");
        } else if (direction == "counterclockwise") {
            stepper.moveTo(-stepsPerRevolution);
            request->send(200, "text/plain", "Rotating counterclockwise");
        } else {
            request->send(400, "text/plain", "Invalid direction");
        }
    } else {
        request->send(400, "text/plain", "Missing direction parameter");
    }
});

server.on("/stop", HTTP_GET, [] (AsyncWebServerRequest *request) {
    stepper.stop();
    request->send(200, "text/plain", "Motor stopped");
});

server.begin();

stepper.setMaxSpeed(1000);
stepper.setAcceleration(500);
}

void loop() {
    stepper.run();
}

```

---

O protótipo desenvolvido demonstrou eficácia ao realizar o giro de 360° e cumpriu sua missão de ejetar apenas uma cápsula, como ilustrado na Figura 15. Durante todo o processo de teste, foram soltas 10 cápsulas, não foram identificadas falhas de execução, o que confirma a funcionalidade do movimento proposto. Contudo, é relevante ressaltar a necessidade de aprimoramentos construtivos, especialmente para mitigar o atrito durante o giro. Tais melhorias são cruciais para a otimização do desempenho do mecanismo, garantindo sua eficácia e confiabilidade.

**Figura 15.** Demonstração do funcionamento do mecanismo para dispersão de cápsulas de controle biológico usando aeronave pilotada remotamente (RPA).



Fonte: Autor (2024)

É necessário a realização de estudos futuros para a validação a campo. Em seu experimento, JI et al. (2022) avaliaram o sistema de entrega de *Trichogramma* por meio de aeronave pilotada remotamente, sendo levado em consideração fatores como altura, velocidade e intervalo de lançamento. Na análise de otimização revelou que a altura de lançamento teve o maior efeito na precisão, seguida pelo intervalo de lançamento e pela velocidade de lançamento de comprimidos de *Trichogramma*. A combinação ideal de parâmetros obtida foi uma altura de lançamento de 147,95 cm, velocidade de lançamento de 3,7745 m/s e intervalo de lançamento de 2,98 s.

O protótipo do mecanismo foi elaborado para fins demonstrativos, sendo utilizados apenas alguns dos equipamentos do projeto real e com a finalidade de validação do funcionamento, sendo uma alternativa a ser implementada pela facilidade e simplicidade de funcionamento, permitiu avaliar a viabilidade do conceito e identificar possíveis melhorias para a implementação futura.

## **5 CONCLUSÕES**

O mecanismo para dispersão de cápsulas de controle biológico utilizando aeronave pilotada remotamente (RPA) demonstrou ser uma alternativa viável e interessante, devido à sua facilidade de ejeção das cápsulas e à relativa simplicidade em sua concepção. Representando uma promissora opção no mercado de controle biológico.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, A. et al. Remotely piloted aircraft (RPA) in agriculture: A pursuit of sustainability. **Agronomy**, v. 11, n. 1, p. 7, 2020. DOI: [10.3390/agronomy11010007](https://doi.org/10.3390/agronomy11010007)
- AYAMGA, M.; AKABA, S.; NYAABA, A. A. Multifaceted applicability of drones: A review. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 167, p. 120677, 2021. DOI: [10.1016/j.techfore.2021.120677](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120677)
- AYDIN, N. et al. A linear programming-based QFD methodology under fuzzy environment to develop sustainable policies in apparel retailing industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 387, p. 135887, 2023. DOI: [10.1016/j.jclepro.2023.135887](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135887)
- BARBOSA JÚNIOR, M. R. et al. UAVs to monitor and manage sugarcane: integrative review. **Agronomy**, v. 12, n. 3, p. 661, 2022. DOI: [10.3390/agronomy12030661](https://doi.org/10.3390/agronomy12030661)
- BEZERRA, J. IM et al. Biological control of the chaotic sugarcane borer-parasitoid agroecosystem. **Ecological Modelling**, v. 450, p. 109564, 2021. DOI: [10.1016/j.ecolmodel.2021.109564](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109564)
- BUENO, A. de F. et al. Challenges and opportunities of using egg parasitoids in FAW augmentative biological control in Brazil. **Biological Control**, v. 186, p. 105344, 2023. DOI: [10.1016/j.biocontrol.2023.105344](https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105344)
- GOODRICH, P.; BETANCOURT, O.; ARIAS, A. C.; ZOHDI, T. Placement and drone flight path mapping of agricultural soil sensors using machine learning. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 205, p. 107591, 2023. DOI: [10.1016/j.compag.2022.107591](https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107591)
- HAFEEZ, A. et al. Implementation of drone technology for farm monitoring & pesticide spraying: A review. **Information processing in Agriculture**, 2022. DOI: [10.1016/j.inpa.2022.02.002](https://doi.org/10.1016/j.inpa.2022.02.002)
- HUANG, M. Research on modelling accuracy and test validation for biomimetic flapping-wing drone. **Biomimetic Intelligence and Robotics**, v. 3, n. 1, p. 100086, 2023. DOI: [10.1016/j.birob.2022.100086](https://doi.org/10.1016/j.birob.2022.100086)
- IOST FILHO, F. H.; HELDENS, W. B.; KONG, Z.; DE LANGE, E. S. Drones: innovative technology for use in precision pest management. **Journal of economic entomology**, v. 113, n. 1, p. 1-25, 2020. DOI: [10.1093/jee/toz268](https://doi.org/10.1093/jee/toz268)
- JL, S. et al. Performance Test and Parameter Optimization of Trichogramma Delivery System. **Micromachines**, v. 13, n. 11, p. 1996, 2022. DOI: [10.3390/mi13111996](https://doi.org/10.3390/mi13111996)
- KENIS, M.; HURLEY, B. P.; COLOMBARI, F.; LAWSON, S.; SUN, J.; WILCKEN, C.; WEEKS, R.; SATHYAPALA, S. Guide to the classical biological control of insect pests in planted and natural forests. **FAO Forestry Paper**, n. 182, 2019.
- KULKARNI, P. et al. Recycling of waste HDPE and PP plastic in preparation of plastic brick and its mechanical properties. **Cleaner Materials**, p. 100113, 2022. DOI:

[10.1016/j.clema.2022.100113](https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100113)

LO, P. L.; ROGERS, D. J.; WALKER, J. T.; ABBOTT, B. H.; VANDERVOET, T. F.; KOKENY, A.; SUCKLING, D. M. Comparing deliveries of sterile codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) by two types of unmanned aerial systems and from the ground. **Journal of Economic Entomology**, v. 114, n. 5, p. 1917-1926, 2021. DOI: [10.1093/jee/toab052](https://doi.org/10.1093/jee/toab052)

LUCK, B. D.; CHASEN, E. M.; WILLIAMS, P. J.; STEFFAN, S. A. Drones that deliver: pheromone-based mating disruption deployed via uncrewed aerial vehicles in us cranberries. **Journal of Economic Entomology**, v. 114, n. 5, p. 1910-1916, 2021. DOI: [10.1093/jee/toab068](https://doi.org/10.1093/jee/toab068)

MCTAVISH, M. J. et al. Field tests of egg and larval release methods of biological control agents (*Archanara neurica*, *Lenisa geminipuncta*) for introduced *Phragmites australis australis* (Cav.) trin. Ex Steud. **Biological Control**, v. 188, p. 105414, 2024. DOI: [10.1016/j.biocontrol.2023.105414](https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105414)

MERWE, D.; BURCHFIELD, D. R.; WITT, T. D.; PRICE, K. P.; SHARDA, A. Chapter One- Drones in agriculture. In: **Advances in Agronomy**, v. 162, p. 1-30, 2020. DOI: [10.1016/bs.agron.2020.03.001](https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.03.001)

MYINT, Y. Y. et al. Field evaluation of *Trichogramma* strains collected from Myanmar for biological control of Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée)(Lepidoptera: Crambidae) and sustainable maize production. **Crop Protection**, v. 171, p. 106284, 2023. DOI: [10.1016/j.cropro.2023.106284](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106284)

MO, Z. et al. Knowledge and engineering parameter mapping technology supporting product conceptual design. **Procedia CIRP**, v. 109, p. 368-374, 2022. DOI: [10.1016/j.procir.2022.05.264](https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.264)

MOHSAN, S. A. H. et al. Unmanned aerial vehicles (UAVs): Practical aspects, applications, open challenges, security issues, and future trends. **Intelligent Service Robotics**, v. 16, n. 1, p. 109-137, 2023. DOI: [10.1007/s11370-022-00452-4](https://doi.org/10.1007/s11370-022-00452-4)

NASCIMENTO, V. C. et al. *Trichoderma*: Biological control efficiency and perspectives for the Brazilian Midwest states and Tocantins. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, 2022. DOI: [10.1590/1519-6984.260161](https://doi.org/10.1590/1519-6984.260161)

O'BRIEN, P. A. Biological control of plant diseases. **Australasian Plant Pathology**, v. 46, p. 293-304, 2017. DOI: [10.1007/s13313-017-0481-4](https://doi.org/10.1007/s13313-017-0481-4)

PARRA, J. R. P. Controle biológico na agricultura brasileira. **Entomological Communications**, v. 1, p. 2675-1305, 2019.

PARRA, J. R. P.; COELHO, A. Applied biological control in Brazil: from laboratory assays to field application. **Journal of Insect Science**, v. 19, n. 2, p. 5, 2019. DOI: [10.1093/jisesa/iey112](https://doi.org/10.1093/jisesa/iey112)

REJEB, A.; ABDOLLAHI, A.; REJEB, K.; TREIBLMAIER, H. Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. **Computers and electronics in agriculture**, v. 198, p. 107017, 2022. DOI: [10.1016/j.compag.2022.107017](https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107017)

TRAPPEY, A. JC et al. A comprehensive analysis of global patent landscape for recent R&D in agricultural drone technologies. **World Patent Information**, v. 74, p. 102216, 2023. DOI: [10.1016/j.wpi.2023.102216](https://doi.org/10.1016/j.wpi.2023.102216)

VAN LENTEREN, J. C.; BOLCKMANS, K.; KÖHL, J.; RAVENSBERG, W. J.; URBANEJA, A. Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. **BioControl**, v. 63, p. 39-59, 2018. DOI: [10.1007/s10526-017-9801-4](https://doi.org/10.1007/s10526-017-9801-4)

WANG, L. et al. Progress in agricultural unmanned aerial vehicles (UAVs) applied in China and prospects for Poland. **Agriculture**, v. 12, n. 3, p. 397, 2022. DOI: [10.3390/agriculture12030397](https://doi.org/10.3390/agriculture12030397)

YANG, M.; SUN, H.; GENG, S. On the quantitative resilience assessment of complex engineered systems. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 174, p. 941-950, 2023. DOI: [10.1016/j.psep.2023.05.019](https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.05.019)

ZHENG, L.; HE, Z.; HE, S. Detecting and prioritizing product defects using social media data and the two-phased QFD method. **Computers & Industrial Engineering**, v. 177, p. 109031, 2023. DOI: [10.1016/j.cie.2023.109031](https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109031)