

JOÃO GABRIEL RUPPENTHAL

EFICIÊNCIA NA DEPOSIÇÃO DE GOTAS COM USO DE DRONE
PULVERIZADOR EM DIFERENTES ALTURAS DE VOO E TAXAS DE
APLICAÇÃO NA CULTURA DO MILHO (*ZEA MAYS*)

CASCVEL
PARANÁ – BRASIL
JULHO – 2024

JOÃO GABRIEL RUPPENTHAL

**EFICIÊNCIA NA DEPOSIÇÃO DE GOTAS COM USO DE DRONE
PULVERIZADOR EM DIFERENTES ALTURAS DE VOO E TAXAS DE
APLICAÇÃO NA CULTURA DO MILHO (*ZEA MAYS*)**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos

Coorientador: Prof. Dr. Neumárcio Vilanova da Costa

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
JULHO – 2024

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Ruppenthal, João Gabriel

Eficiência na deposição de gotas com uso de drone pulverizador em diferentes alturas de voo e taxas de aplicação na cultura do milho (*Zea mays*) / João Gabriel Ruppenthal; orientador Reginaldo Ferreira Santos; coorientador Neumárcio Vilanova Costa. -- Cascavel, 2024.
37 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2024.

1. Drone. 2. Deposição de Gotas. 3. Taxa de aplicação. 4. Altura de aplicação. I. Santos, Reginaldo Ferreira, orient. II. Costa, Neumárcio Vilanova, coorient. III. Título.

JOÃO GABRIEL RUPPENTHAL

Eficiência na deposição de gotas com uso de drone pulverizador em diferentes alturas de voo e taxas de aplicação na cultura do milho (*Zea mays*)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Biomassa e culturas energéticas, APROVADO pela seguinte banca examinadora:



Orientador - Reginaldo Ferreira Santos

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Documento assinado digitalmente

LUCIENE KAZUE TOKURA

Data: 20/06/2024 13:24:13-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Luciene Kazue Tokura

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Documento assinado digitalmente

FELIX AUGUSTO PAZUCH

Data: 20/06/2024 12:04:52-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Félix Augusto Pazuch

Cascavel, 20 de junho de 2024.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, sem Ele nada disso seria possível.

Aos meus pais, por todo suporte que sempre foi dado, em toda trajetória acadêmica.

À minha noiva e futura esposa, pelo suporte e compreensão no período de desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus amigos, por todos os conselhos e apoio nos momentos difíceis.

Ao meu orientador por todo auxílio, disposição e ensinamentos no decorrer da pesquisa.

Ao meu coorientador por toda disponibilidade e por tornar o trabalho possível de ser realizado.

Ao GEMOP e seus colaboradores, por todo auxílio prestado no desenvolvimento dos experimentos.

Ao LABTES, por toda disponibilidade e infraestrutura fornecida durante esse tempo de pós-graduação.

À CAPES, pelos recursos disponibilizados para realização da pesquisa.

À ADS e sua rede de colaboradores, pelo equipamento fornecido e tempo disponibilizado para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao amigo Márcio Sganzerla pelo empréstimo do equipamento utilizado na coleta dos dados.

Ao amigo Félix Pazuch pelo auxílio e orientação primordiais para a conclusão do trabalho.

À professora Luciene Tokura, por todo auxílio na etapa final do trabalho.

A todos que influenciaram direta ou indiretamente o desenvolvimento deste trabalho, muito obrigado!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de pulverizadores terrestres: (a) costal; (b) tratorizado; (c) de arrasto; (d) autopropelido.....	04
Figura 2: Tipos de pulverizadores aéreos: (a) avião; (b) helicóptero e; (c) Drone.....	05
Figura 3: Disposição e a localização das amostras dos PHS nas folhas de milho....	09
Figura 4: Mapa de pulverização no controle remoto do drone DJI Agras T40.....	10
Figura 5: Aspecto da cultura de milho em 28/04/2023.....	11
Figura 6: Drone de pulverização DJI modelo Agras T40.....	11
Figura 7: Dropscope e aplicativo para leitura de papel hidrossensível.....	12
Figura 8: PHS da marca WSPaper, utilizados no trabalho.....	13
Figura 9: Disposição e localização das amostras dos PHS nas folhas de milho.....	14
Figura 10: Exemplo de PHS com áreas de influência externa.....	15
Figura 11: Área coberta em função do tratamento para diferentes posições dos PHS.....	17
Figura 12: Densidade de gotas em função do tratamento para diferentes posições dos PHS.....	19
Figura 13: Densidade de gotas em função do tratamento para diferentes posições dos PHS.....	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros de voo analisados em diferentes trabalhos.....	07
Tabela 2: Dados da cultura do milho no momento das aplicações.....	10
Tabela 3: Principais características Drone DJI Agras T40.....	12
Tabela 4: Parâmetros da regulagem do equipamento utilizados em cada tratamento.....	13
Tabela 5: Dados do clima durante os tratamentos no dia 28/04/2023.....	14
Tabela 6: Posições do PHS na planta de milho.....	15
Tabela 7: Análise Anova Multifatorial para Folha do Ápice.....	21
Tabela 8: Análise Anova Multifatorial para Folha do Cartucho.....	22
Tabela 9: Análise Anova Multifatorial para Folha do Baixeiro.....	22
Tabela 10: Teste de Tukey para dados de folha do ápice.....	23
Tabela 11: Teste de Tukey para dados de folha do cartucho.....	24
Tabela 12: Teste de Tukey para dados de folha do baixeiro.....	24

RUPPENTHAL, João Gabriel. Unioeste, junho 2024. **Eficiência na deposição de gotas com uso de drone pulverizador em diferentes alturas de voo e taxas de aplicação na cultura do milho (*Zea mays*)**. Orientador: Reginaldo Ferreira Santos. Coorientador: Neumárcio Vilanova da Costa.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da deposição de gotas proporcionada por drone pulverizador em diferentes posições na planta, altura de voo e taxa de aplicação em litros por hectare na cultura do milho (*Zea mays*). O experimento foi conduzido em uma área experimental em Marechal Cândido Rondon, utilizando um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 3 x 3 x 3, com seis repetições. O primeiro fator correspondeu a três alturas de voo: 4m, 5m e 6m; o segundo fator correspondeu a três volumes de aplicação: 10 L.ha⁻¹, 12 L.ha⁻¹ e 15.L ha⁻¹; e o terceiro fator correspondeu a três posições dos PHS: terço inferior, folha do cartucho, folha do ápice. A área coberta foi maior no tratamento 7 (3,42%), já o valor mais baixo foi no tratamento 3 (0,87%). O DMV tende a ser maior quanto maior a taxa de aplicação. Em geral, maior quantidade de água significa maior área coberta nos três terços da planta. Taxas de aplicação mais elevadas promovem maior DMV, minimizando a ação de fatores externos no véu de aplicação e, conseqüentemente, minimizando perdas.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001”

PALAVRAS-CHAVE: Drone de pulverização. Deposição de gotas. Cobertura.

RUPPENTHAL, João Gabriel. Unioeste, July 2024. **Efficiency of droplet deposition with spraying drone at different flight altitudes and application rates in maize (*Zea mays*) cultivation.** Reginaldo Ferreira Santos.

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the efficiency of droplet deposition provided by a spraying drone at different positions on the plant, flight height, and application rate in liters per hectare in maize (*Zea mays*) cultivation. A completely randomized design (CRD) was used in a 3 x 3 x 3 factorial scheme, with six replications. The first factor corresponded to three flight heights: 4m, 5m, and 6m; the second factor corresponded to three application volumes: 10 L.ha⁻¹, 12 L.ha⁻¹, and 15 L.ha⁻¹; and the third factor corresponded to three positions on the plants: lower third, tassel leaf and apical leaf. The covered area was greater at treatment 7 (3.42%), while the lowest value was at treatment 3 (0.87%). The mean droplet volume (MDV) tends to be larger with higher application rates. Generally, a greater amount of water means a larger covered area in all three plant thirds. Higher application rates promote larger MDV, minimizing the influence of external factors on the spray pattern and consequently reducing losses.

"This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001"

KEYWORDS: Spraying drone. Droplet deposition. Coverage.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 Objetivo Geral	2
1.1.2 Objetivos Específicos	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 MILHO	3
2.2 TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO	4
2.3 DRONES DE PULVERIZAÇÃO	6
3 MATERIAL E MÉTODOS	9
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5 CONCLUSÕES	25
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal (SINDIVEG), no país, em 2022, levando em consideração todos os tratamentos realizados nas safras e cultivos, o equivalente a uma área de cerca de dois bilhões de hectares recebeu algum tipo de tratamento, dentre fungicidas, herbicidas, inseticidas, adjuvantes e tratamento de sementes. Contiero, Biffe e Catapan (2018), citam que historicamente as aplicações possuem eficiência da ordem de 30% a 60% com herbicidas sistêmicos, 30% para herbicidas de contato e, índices extremamente baixos (inferiores a 1%) para o controle de insetos.

O uso de drones para pulverização agrícola, apesar de recente, é um mercado com muito potencial. Segundo Chen *et al.* (2022), no final de 2020, o número de drones agrícolas operando na China era de 106.000 aeronaves, sobrevoando 64 milhões de hectares, número expressivo, possível graças ao grande fomento por parte do governo a esta tecnologia no país. No Brasil, a adesão vem acontecendo aos poucos, principalmente, como complemento às tecnologias já existentes, sendo utilizado em áreas menores e de difícil acesso e arremates (SINDAG, 2021).

Dentre as vantagens advindas com os drones agrícolas, pode-se citar as aplicações em baixa vazão, baterias elétricas, mínimo contato do operador com os químicos entre inúmeras outras vantagens. Essa tecnologia também está alinhada com cinco dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) (2023), sendo eles: 2 - Fome zero; 6 - Garantir acesso à água limpa; 7 - Energia limpa; 8 - Trabalho decente e crescimento econômico e; 12 - Consumo sustentável na produção. A tecnologia visa, principalmente, a redução do consumo de água, redução do consumo de combustíveis fósseis e recursos em geral na produção de alimentos, bem como, pela segurança do operador.

Uma vez que se utilizam aplicações em baixa vazão, deve-se atentar muito à efetividade da aplicação, comumente medida através da cobertura do alvo atingido (Cunha; Silva, 2023). Para uma maior cobertura, deve-se reduzir o tamanho da gota, porém isso a torna mais suscetível à deriva (Mewes *et al.*, 2013). Além disso, outros fatores afetam a aplicação com drones, como altura acima dos cultivos e taxa de aplicação. Com relação à altura de aplicação, normalmente são utilizadas alturas entre um e três metros (Chen, H. *et al.*, 2021; Cunha; Silva, 2023; Lou *et al.*, 2018),

porém com o desenvolvimento tecnológico, aumento de tamanho e, conseqüentemente, peso dos drones, a força exercida pelas hélices e a própria quantidade de hélices, também aumentou, sendo importante avaliar a eficiência de aplicação em alturas mais elevadas.

Uma maior quantidade de água presente na mistura de produto pode influenciar a cobertura e deposição de gotas dos alvos, bem como, alturas de voo mais elevadas. Entretanto, é possível que a deriva tenha uma maior influência na operação de pulverização, tendo uma menor cobertura nos alvos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência da deposição de gotas proporcionada por drone pulverizador em diferentes posições na planta, altura de voo e taxa de aplicação em litros por hectare na cultura do milho (*Zea mays*).

1.1.2 Objetivos Específicos

- Verificar a influência que o incremento de altitude de voo apresenta no espectro de gotas;
- Verificar a influência que o incremento da taxa de pulverização apresenta no espectro de gotas;
- Verificar a presença de gotas em locais difíceis de atingir na planta (folha do cartucho e baixeiro);
- Verificar o efeito causado pelo fluxo duplo de vento das hélices com relação à deposição do espectro de gotas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MILHO

O milho é um dos cereais mais cultivados do mundo e, conseqüentemente, um dos mais consumidos, tendo-se cultivares adaptadas para os mais diferentes tipos de solos e climas, tanto para consumo humano, como para consumo animal (Prestes *et al.*, 2019). Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2024), em seu 10º levantamento para acompanhamento da safra 2023/24, a previsão é de que se tenha em uma área plantada de 20.862, mil hectares, uma produção de 115.858,9 mil toneladas, com 94% da área já colhida. Tamaña produção só é possível ser alcançada pelo incessante trabalho de melhoramento genético na cultura, permitindo o cultivo do milho em segunda safra, na sequência da soja (*Glycine max*) (Contini *et al.*, 2019).

Para que se tenha um bom desempenho, não basta apenas uma cultivar adaptada, são necessárias condições climáticas adequadas e um controle adequado de fertilidade do solo, da incidência de doenças, insetos e plantas daninhas. Sobre as condições climáticas não se tem controle, portanto, deve-se fazer um bom trabalho nos fatores que estão ao alcance do produtor. As cultivares adaptadas a diferentes condições climáticas possibilitam cada vez mais o cultivo do milho em segunda safra, o que pode aumentar a pressão de pragas que são comuns a soja e milho (Cruz, 2015; Leite *et al.*, 2019).

Dentre as pragas da cultura, a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) é a principal praga do milho no Brasil, ocorrendo tanto em cultivos de verão como em cultivos de segunda safra. Essa praga se hospeda em mais de 100 espécies, dentre plantas com importância econômica e ervas daninhas, proporcionando ambiente adequado durante todo ano no campo, o que torna difícil seu controle. Ainda que cause danos durante todo ciclo, a principal preocupação é a desfolha que as lagartas causam no estágio vegetativo das plantas, podendo chegar a danos na ordem de 40% da produção. O manejo é dificultado justamente pela característica que dá nome a praga, a lagarta se aloja no cartucho da planta, onde o controle com inseticidas químicos tem o desafio extra de atingir essa parte da planta (Bernini; Oliveira; Figueiredo, 2019; Contini *et al.*, 2019).

2.2 TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO

A tecnologia de aplicação, independentemente do método empregado, é influenciada por diversos fatores, dentre eles: clima, solo, hospedeiro, patógeno, princípio ativo, veículo, operador e máquina (Contiero; Biffe; Catapan, 2018). Para a tomada de decisão com relação ao manejo, deve-se levar em consideração todos os parâmetros para se ter o melhor controle possível da praga que infesta a lavoura. A aplicação pode ser feita, basicamente, de duas formas, aérea ou terrestre, a partir de diferentes veículos.

Na pulverização terrestre, tem-se os pulverizadores manuais ou costais, pulverizadores tracionados, pulverizadores de arrasto e pulverizadores autopropelidos, conforme identificados na Figura 1. Pulverizadores de arrasto e tracionados podem também ser atomizadores, sendo mais usados para pomares.



Figura 1: Tipos de pulverizadores terrestres: (a) costal; (b) tratorizado; (c) de arrasto; (d) autopropelido.

Fonte: Adaptado de Ramos (2019), Syngenta (2024), John Deere (2024) e Staara (2021).

Por sua vez, na pulverização aérea, podem-se citar os aviões agrícolas, helicópteros agrícolas e drones agrícolas, conforme Figura 2.



Figura 2: Tipos de pulverizadores aéreos: (a) avião; (b) helicóptero e; (c) Drone.
Fonte: Adaptado de BHR (2024), Sou Agro (2022) e DJI (2024).

Ambas as formas possuem o mesmo objetivo: realizar o controle de pragas na lavoura com a máxima eficiência possível. O bico de pulverização é um dos principais ou mais importantes componentes de um pulverizador, podendo este ser dividido em dois grandes grupos: os bicos hidráulicos; e os bicos atomizadores. A principal diferença entre eles está na forma como é quebrada a gota, sendo através da própria pressão da calda nos bicos hidráulicos, resultando em gotas relativamente maiores e, em geral, proporcionando pior cobertura do alvo. Já para o caso de atomizadores o que quebra gota é a própria rotação em alta velocidade do bico, proporcionando um padrão de gotas mais uniforme, geralmente entre 100 e 200 μm , possibilitando trabalhar com vazões mais baixas (Bayer *et al.*, 2011; Oliveira *et al.*, 2011).

A pulverização aérea, independentemente do tipo de máquina, possui uma grande desvantagem com relação à aplicação terrestre, que é o fato de a gota percorrer um caminho maior até atingir o alvo. Fato este que pode agravar o problema da deriva, a qual pode ser dividida em endoderiva, quando a perda ocorre dentro da cultura, e exoderiva, quando a perda ocorre para fora da área tratada. Em ambas, o potencial de deriva está relacionado com a distância do alvo, tamanho da gota e velocidade de vento, sendo necessária uma boa relação entre esses parâmetros para minimizar os riscos (Cunha *et al.*, 2003, Contiero; Biffe; Catapan, 2018).

Em geral, não existe muita margem para se trabalhar com a distância em relação ao alvo, uma vez que se deve sempre prezar pela segurança da aeronave e da cultura, logo, o foco se dá para o tamanho adequado de gota e operação dentro das condições recomendadas de vento. Para auxiliar nesse quesito, tem-se os chamados adjuvantes, que podem ser surfactantes, espalhadores, adesivos, auxiliares de deposição, ativadores, umectantes, antiespumantes, umectantes e

antideriva. O último tipo pode ser um grande aliado da pulverização aérea, fazendo com que o produto chegue ao alvo com menor perda (Milanowski *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2020).

2.3 DRONES DE PULVERIZAÇÃO

Os drones de pulverização foram desenvolvidos como uma alternativa para aprimorar as aplicações de defensivos agrícolas, sendo constituídos, basicamente, de sistema de propulsão e pulverização, com sensores para regular a taxa aplicada. Com o passar do tempo e popularização do equipamento, diversas melhorias foram sendo feitas nos sistemas do drone, tanto em seu sistema de pulverização, como no sistema de navegação (Chen *et al.*, 2022). As Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) permitem a aplicação tanto de herbicidas, fungicidas e inseticidas, como fertilizantes, adaptando-se a diversos tipos de cultura e terreno (Hunter *et al.*, 2019; Xiongkui *et al.*, 2013). Tais características, proporcionam que o manejo do produtor seja otimizado, possibilitando o tratamento em momentos chave para a produção e, por consequência, maximizando a produção.

Drones agrícolas possuem alta eficiência e podem responder rapidamente a pragas e doenças repentinas na lavoura ademais, os drones não entram em contato com a cultura, evitando a perda por amassamento mecânico na área (Chen, H. *et al.*, 2021). Em grandes áreas, o avião agrícola consegue maior rendimento, porém necessita de mais recursos envolvidos sendo, portanto, mais oneroso. Os sistemas de pulverização remotamente pilotados tem menor preço de aquisição e operação e permitem aplicações em altitudes de voo mais baixas, o que pode ser mais conveniente para algumas realidades do país (Chen P. *et al.*, 2021).

Existem constantes atualizações e melhorias dos equipamentos, o que trouxe, nos últimos cinco anos aeronaves que aplicavam de dois a três hectares por hora, para o que se tem atualmente, de 15 a 20 hectares por hora (Chen H. *et al.*, 2021). Inicialmente, tinham-se modelos de drones com capacidade para oito a 10 litros, hoje já se tem modelos com capacidades de até 40 litros, o que justifica o aumento de rendimento operacional. Ainda, apresenta-se evolução nas tecnologias de posicionamento, trabalhando tanto com GNSS (*Global Navigation Satellite System*) em nível métrico, como com RTK (*Real Time Kinematics*) em nível centimétrico, possibilitando diversos tipos de operação. Além disso, os equipamentos contam com

diversos sensores como, barômetro, acelerômetro, bússola, radar, visão binocular entre outros, para determinação de altitude, distância e evitar obstáculos, todos estes sendo constantemente atualizados (Wang *et al.*, 2019; Chen H *et al.*, 2021).

Um dos fatores que mais influenciam na formação e deposição das gotas são os bicos de pulverização, os bicos hidráulicos, vindos dos pulverizadores terrestres, são o tipo mais comum de bicos nos drones agrícolas. Existem também modelos de drones, principalmente os mais recentes, que utilizam bicos centrífugos, sendo basicamente um disco simples ou duplo que rotaciona e atomiza o produto (He, 2018; Qingqing *et al.*, 2017). Além do vento, outro fluxo de ar influencia na trajetória das gotas até o alvo, o mesmo que causa o chamado efeito vórtex. Esse fluxo de ar, proveniente das próprias hélices e que mantém o drone no ar, produz um efeito que, além de empurrar o produto para baixo e reduzir a deriva, agita e abre as culturas com altos índices de área foliar, resultando em uma melhor cobertura de produto nos terços inferiores (Tang *et al.*, 2021; Zhan *et al.*, 2022).

Os parâmetros de aplicação são de extrema importância para a pulverização com drones, nesses parâmetros é importante observar, principalmente, taxa de aplicação, velocidade de voo, altitude com relação à cultura e espaçamento de rota. Na Tabela 1 tem-se os parâmetros de voo utilizados por diferentes marcas e modelo de drones.

Tabela 1: Parâmetros de voo analisados em diferentes trabalhos

Modelo do Drone	Taxa (L ha ⁻¹)	Altitude (m)	Velocidade (km/h)	Espaçamento (m)	Autor
XAG P series Plant Protection	8.7, 12 e 15	1, 2 e 3	-	3.5	Chen, P <i>et al.</i> (2021).
XAG P series Plant Protection	18, 22.5 e 30	2	-	3.5	Chen, P <i>et al.</i> (2021).
DJI Agras MG1	10	1.5 e 3	21.8	5	Cunha e Silva (2023).
DJI Agras MG1	10	2, 3 e 4	3.6, 10.8, 18 e 25.2	5 a 7	Woldt <i>et al.</i> (2018).
V6A	10	2, 3 e 4	3.6, 10.8, 18 e 25.2	5 a 7	Woldt <i>et al.</i> (2018).
JIFEI P20	12	1.5 e 2	-	1.5 a 3	Lou <i>et al.</i> (2018).

Fonte: Autor (2024).

Os parâmetros de voo variam bastante de acordo com o modelo da aeronave, pois podem possuir uma aerodinâmica diferente e seu tipo de bico, motor, hélice, influenciando no resultado a aplicação. Por isso, é de extrema importância que

sejam desenvolvidos trabalhos que testem diferentes parâmetros para novos modelos de aeronaves.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em área de cultivo de milho, na fazenda experimental Linha Guará, pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil, a latitude 24°31'58" sul e longitude 54°01'07" oeste.

No experimento foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 3 x 3 x 3, com seis repetições. O primeiro fator correspondeu a três alturas de voo: 4 m, 5 m e 6 m; o segundo fator correspondeu a três volumes de aplicação: 10 L.ha⁻¹, 12 L.ha⁻¹ e 15 L.ha⁻¹ e; o terceiro fator correspondeu à posição do Papel Hidro Sensível (PHS) na planta: terço inferior, cartucho e folha do ápice

A área experimental correspondeu a 3000 m², sendo elaborado o plano de voo e demarcados seis plantas de milho aleatoriamente como os pontos de coletas das amostras dos depósitos da pulverização, conforme Figura 3.

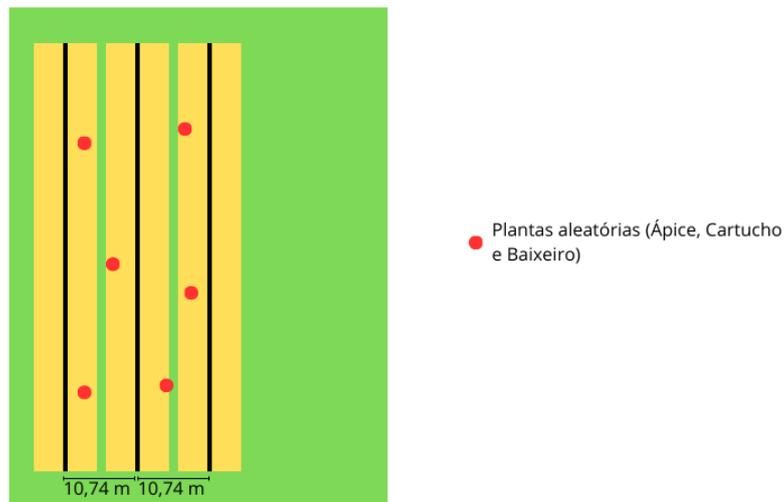


Figura 3: Disposição e localização das amostras dos PHS nas folhas de milho
Fonte: Autor (2024).

A disposição do mapa no *software* do controle remoto pode ser encontrada na Figura 4. O mapeamento foi realizado através de caminhamento e marcação dos pontos a partir da geolocalização do controle remoto.

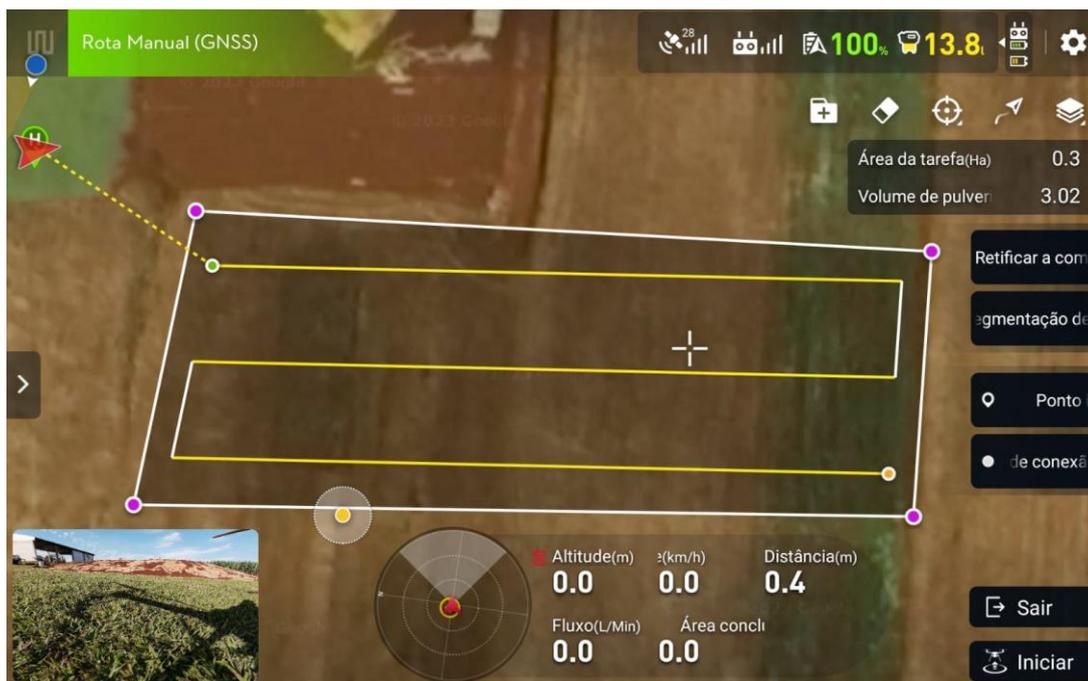


Figura 4: Mapa de pulverização no controle remoto do drone DJI Agras T40
Fonte: Autor (2024).

Os parâmetros da cultura estão descritos na Tabela 2, bem como a Figura 5 apresenta o estágio da cultura na referida aplicação

Tabela 2: Dados da cultura do milho no momento das aplicações

Parâmetros	Dados
Data da aplicação	28/04/2023
Data da semeadura	20/03/2023
Adubação (kg.ha ⁻¹) e formulação	310 kg.ha ⁻¹ e NPK 13-13-10
Cultura	Milho
Híbrido	Pioneer 3858
Tamanho da parcela (C x L) (m)	120 x 25
Altura da planta (cm)	106
Estágio da planta	V8
Espaçamento entre linha (m)	0,5
Densidade de semeadura (plantas/m)	4

Fonte: Dados da pesquisa (2024).



Figura 5: Aspecto da cultura de milho em 28/04/2023
Fonte: Autor (2024).

O equipamento utilizado para pulverização foi o ARP da marca DJI, modelo Agras T40, elétrico, com oito rotores desenvolvido para realizar operações de pulverização aérea de forma automática, fabricado na China (Figura 6).



Figura 6: Drone de pulverização DJI modelo Agras T40
Fonte: Autor (2024).

Na Tabela 3 encontram-se as principais especificações da aeronave.

Tabela 3: Principais características Drone DJI Agras T40

Principais características	Especificações
Tipo	Drone Multirroto
Modelo	DJI Agras T40
Tamanho da fuselagem desdobrável, (C x L x A), mm	2800 x 3150 x 780
Fonte de energia	Bateria de Lítio (30.000 mAh)
Sistema de pulverização atomizada dupla	-
Volume tanque de pulverização (L)	40
Tipo de bico de pulverização	centrífugo
Modelo do aspersor	LX8060SZ
Quantidade de aspersores	2
Tamanho da gota (μm)	50 a 500
Vazão máxima do equipamento (L/min)	12
Largura máxima de faixa de pulverização (m)	11
Altitude máxima (m)	100
Velocidade máxima em operação (m/s)	10

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Para a aferição de cobertura e tamanho de gota, foi utilizado o aparelho DropScope da marca SprayX (Figura 7), desenvolvido para proporcionar um resultado rápido e assertivo ao produtor no campo, em conjunto com o aplicativo homônimo, *mobile* e *offline*.

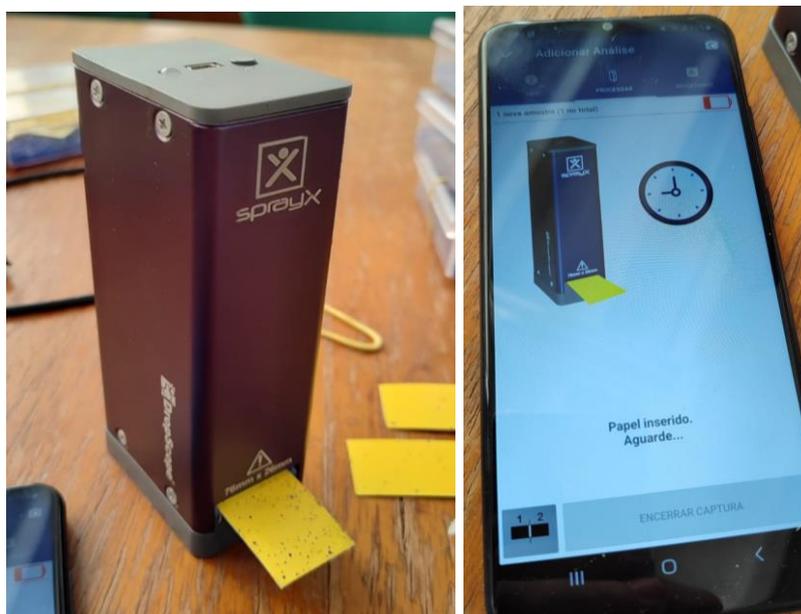


Figura 7: Dropscope e aplicativo para leitura de papel hidrossensível
Fonte: Autor (2024).

Foram utilizados papéis hidrossensíveis (PHS) da marca WSPaper para mostrar a deposição de gotas, com dimensões 26 x 76 mm, adequados ao aparelho de medição, conforme Figura 8.



Figura 8: PHS da marca WSPaper, utilizados no trabalho
Fonte: Autor (2024).

A pulverização foi realizada utilizando-se apenas água e adjuvante Inpasa Oil Premium (IOP), a base de óleo de milho, na dose de 1 L.ha⁻¹. A Tabela 4 apresenta as configurações dos parâmetros de voo nos respectivos tratamentos, sendo que em todos foi utilizado o padrão de gota extra grossa, que deve entregar gotas de 300 µm.

Tabela 4: Parâmetros da regulação do equipamento utilizados em cada tratamento

Tratamento	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Taxa de aplicação (L há ⁻¹)	10	10	10	12	12	12	15	15	15
Velocidade de voo (km h ⁻¹)	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Espaçamento de rotas (m)	10.74	10.74	10.74	10.74	10.74	10.74	10.74	10.74	10.74
Altura em relação à cultura (m)	4	5	6	4	5	6	4	5	6

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A Tabela 5 apresenta as condições climáticas presentes no momento de cada tratamento.

Tabela 5: Dados do clima durante os tratamentos no dia 28/04/2023

Tratamento	Hora Início	Hora Fim	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)	Velocidade do Vento (m.s ⁻¹)	Direção do Vento (m.s ⁻¹)
T1	16:12	16:14	31.5	45	0	-
T2	16:27	16:29	30	47.3	0	-
T3	16:45	16:47	28.5	49.1	0	-
T4	16:54	16:56	30.2	45.9	0	-
T5	17:04	17:06	30	45.6	0	-
T6	17:26	17:28	29.4	50.4	0	-
T7	17:39	17:41	26.9	59	0	-
T8	17:50	17:52	27.2	53	0,3	N-S
T9	17:59	18:01	25.7	57.3	0	-

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Em cada ponto de amostragem da área experimental, os PHS foram fixados com um clipe de duas pontas em três posições diferentes das plantas de milho, sendo folha do ápice, cartucho e folha do baixeiro (Figura 9 e Tabela 6).



Figura 9: Disposição e localização das amostras dos PHS nas folhas de milho
Fonte: Autor (2024.)

Tabela 6: Posições do PHS na planta de milho

Posição	Parte na planta	Nº Repetições
P1	Folha do ápice	6
P2	Cartucho	6
P3	Folha do baixeiro	6

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Após a pulverização de cada tratamento, os PHS foram coletados e devidamente armazenados em caixa gerbox contendo sílica gel e condicionados em caixa térmica, para transporte ao laboratório, e posterior análise.

A análise das amostras foi realizada por tratamento e posição do PHS na planta em até 24 horas após a coleta de dados. Procedeu-se a leitura através do Dropscope em ambos os lados de cada PHS, inseridos na sequência, realizando-se a leitura do papel por completo, descontando-se áreas com influência externa no resultando através do aplicativo (Figura 10).

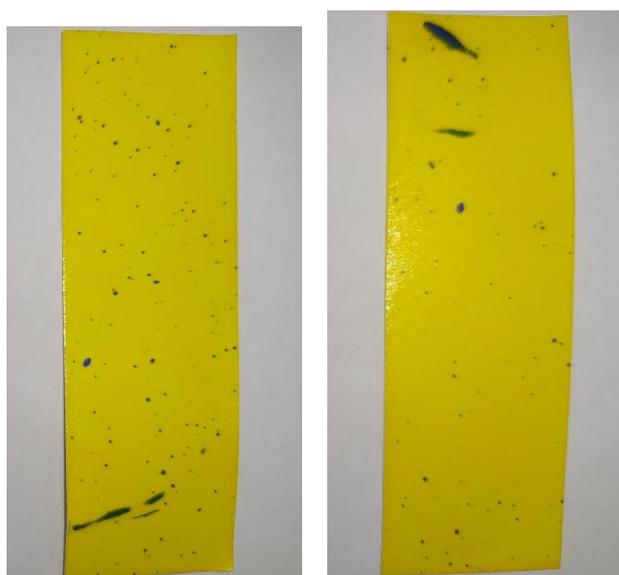


Figura 10: Exemplo de PHS com áreas de influência externa
Fonte: Autor (2024).

Para se ter a deposição de gotas em função das posições dos PHS (terço inferior, cartucho e folha do ápice), foram analisados os seguintes dados fornecidos pelo Dropscope: Densidade de gotas (gotas.cm⁻²), Área coberta (%), e DMV (Diâmetro da Mediana Volumétrica) (µm)

Os dados foram submetidos a análise de normalidade de Shapiro-Wilkey e identificação de *outliers* pelo método do quartil.

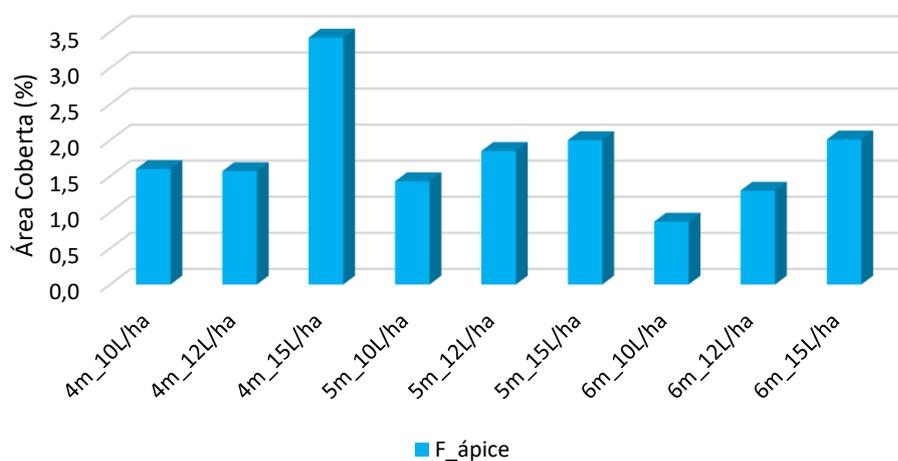
Os dados de deposição para cada uma das posições de PHS foram

submetidos a ANOVA multifatorial a 5% de confiança, com dois fatores de grupamento, visando correlacionar não somente os fatores isoladamente, mas também a interação entre eles e o efeito provocado nos resultados. Posteriormente, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação à área coberta, naturalmente, no terço superior da planta teve-se maior cobertura que na folha do cartucho e no terço inferior. No terço superior, para altitudes fixadas, observou-se uma tendência a se ter maior cobertura, trabalhando com maior quantidade de água (Figura 11). O mesmo aconteceu para as folhas do cartucho e baixeiro, com valores maiores de cobertura para as taxas de 12 e 15 L ha⁻¹. Esse comportamento foi também observado por Chen, P. *et al.* (2021), trabalhando em algodão com condições de temperatura e umidade similares. Os valores de cobertura são relativamente baixos, conforme pontuado por Cunha e Silva (2023), que, trabalhando com milho em V5-V6, encontraram resultados similares, ressaltando o cuidado que se deve tomar ao trabalhar com produtos de contato.

Analisando o incremento de altitude para taxas de aplicação fixas, em geral, a área coberta diminui conforme o drone voa mais alto, fato também encontrado por Woldt *et al.* (2018) nos dois modelos de drone analisados. Já Lou *et al.* (2018) obtiveram um aumento da cobertura com aumento da altitude de voo de 1,5 para 2 metros, enquanto Cunha e Silva (2023) não encontraram diferença de cobertura entre altitudes de 1,5 e 3 metros. Tal variabilidade nos resultados pode ser explicado pelos diferentes modelos de drone testados e condições de voo. Ainda, a relação de empuxo exercida pelas respectivas aeronaves pode ser um dos motivos dessa variabilidade, as quais exercem menor pressão através do fluxo de ar, por serem mais leves e possuírem menos hélices.



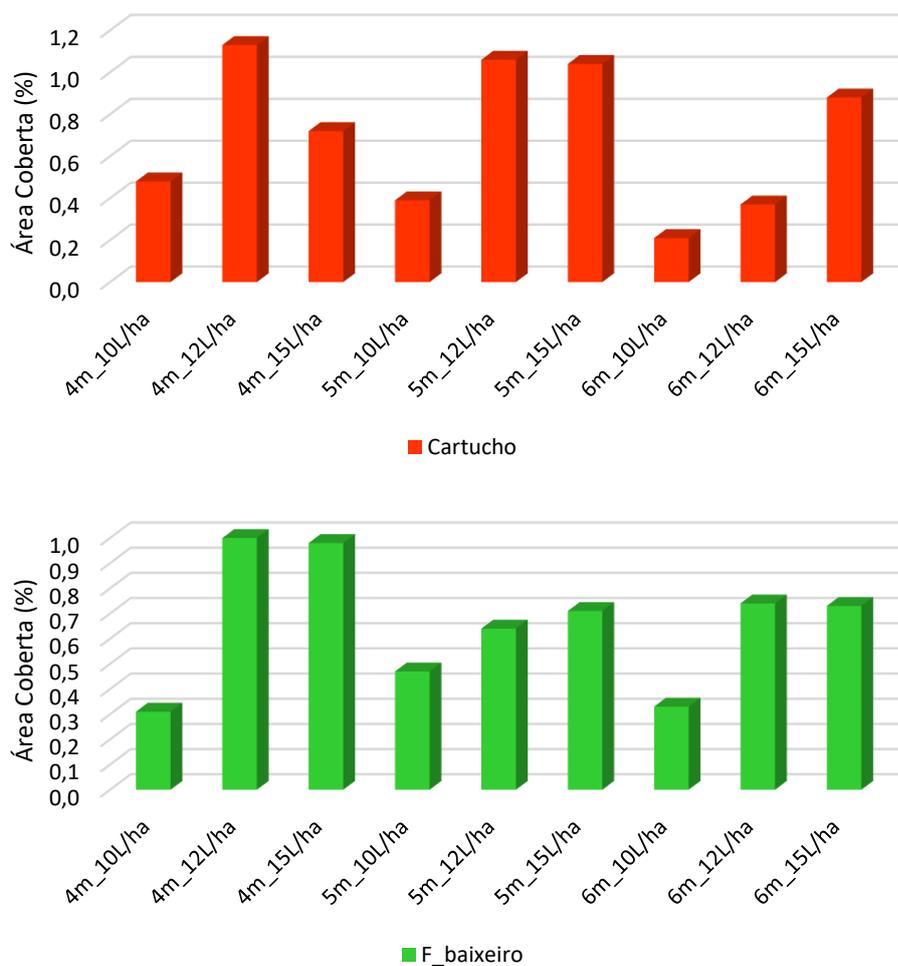


Figura 11: Área coberta em função do tratamento para diferentes posições dos PHS
Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Ao tratar da densidade de gotas, com aumento de altitude, obteve-se modesta redução na quantidade de gotas por centímetro quadrado em cada PHS (Figura 12). Chen, P. *et al.* (2021) e Cunha e Silva (2023) encontraram comportamentos semelhantes. Já Lou *et al.* (2018) observaram uma melhor densidade de gotas nos três terços com o incremento da altitude. Torna-se importante observar que a trajetória das gotas pode ser afetada por diversos fatores externos como: vento, umidade, temperatura, relação de empuxo da aeronave, quantidade de folhas nas plantas, dentre outros, atingindo, especialmente, o terço médio e inferior da planta. Aumentar a altitude de voo possui relação direta com o tempo decorrido de as gotas saírem do bico e atingirem o alvo, o que afeta, principalmente, as gotas mais finas do espectro.

Os parâmetros de aplicação devem ser trabalhados de acordo com o produto utilizado, conforme Mewes *et al.* (2013), o recomendado para aplicações de

inseticida é de 20 a 30 gotas cm^{-2} e de 50 a 70 gotas cm^{-2} para fungicida. Entretanto, é válido ressaltar que uma gota de drone, geralmente, possui maior concentração de produto, uma vez que trabalha com taxas de aplicação menores.

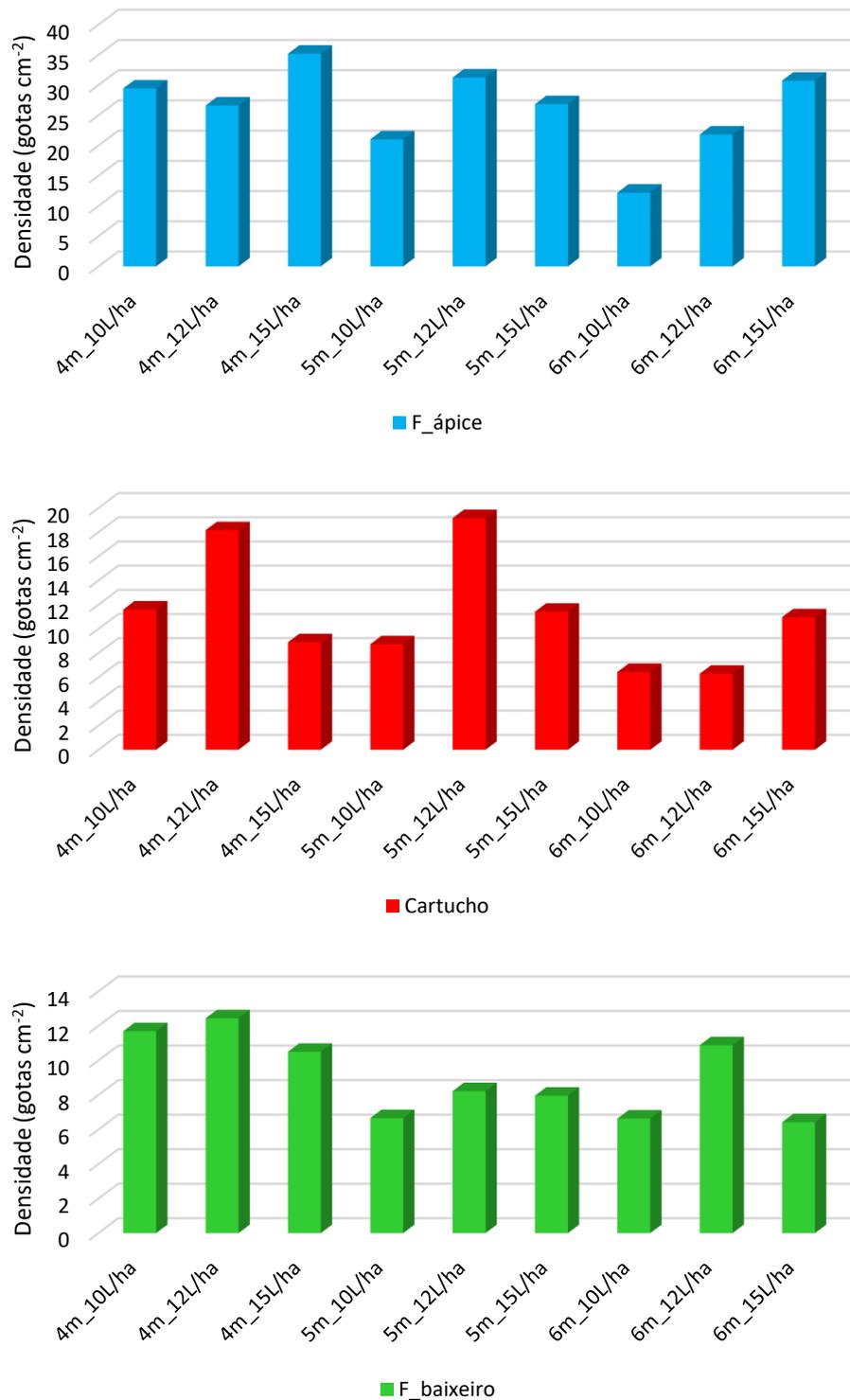
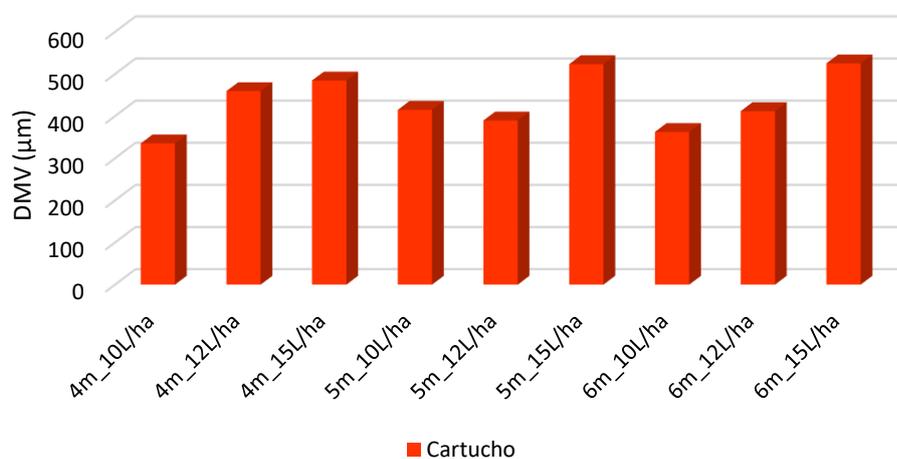
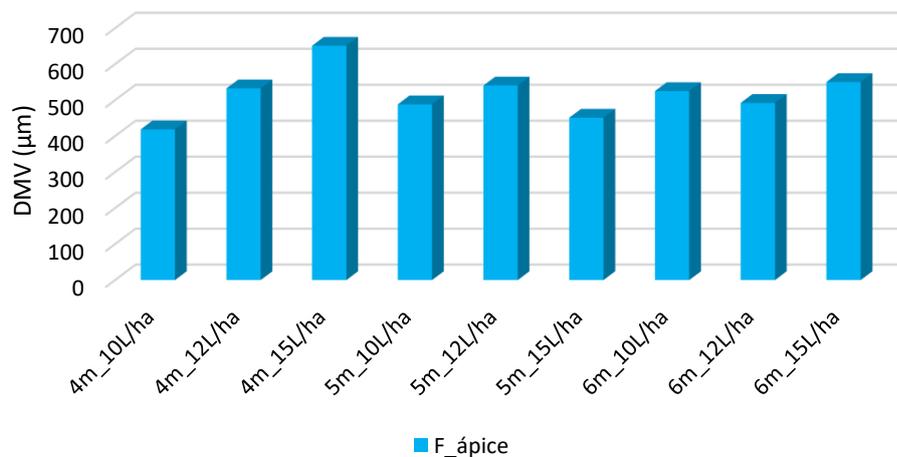


Figura 12: Densidade de gotas em função do tratamento para diferentes posições dos PHS
Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Analisando o DMV, percebe-se um aumento de diâmetro conforme se aumentou a taxa de aplicação para uma mesma altura (Figura 13). Também se observou um leve crescimento do diâmetro quando se trabalhou com altitudes mais elevadas na mesma taxa. Cunha e Silva (2023) encontraram o mesmo comportamento elevando a altitude de 1,5 para 3 metros. Já Woldt *et al.* (2018) em um dos modelos de drone testados, os valores de DMV diminuíram conforme se aumentava a altitude de voo.

Vale ressaltar que fatores externos podem ter influência, como: vento, umidade, temperatura e relação empuxo da aeronave. Além disso o tipo de bico equipado a aeronave tem influência direta na formação da gota, sendo utilizado bicos hidráulicos em modelos mais antigos e bicos centrífugos em modelos mais novos. Ademais, o aumento de altitude interfere diretamente na chegada das gotas de menor diâmetro ao alvo.



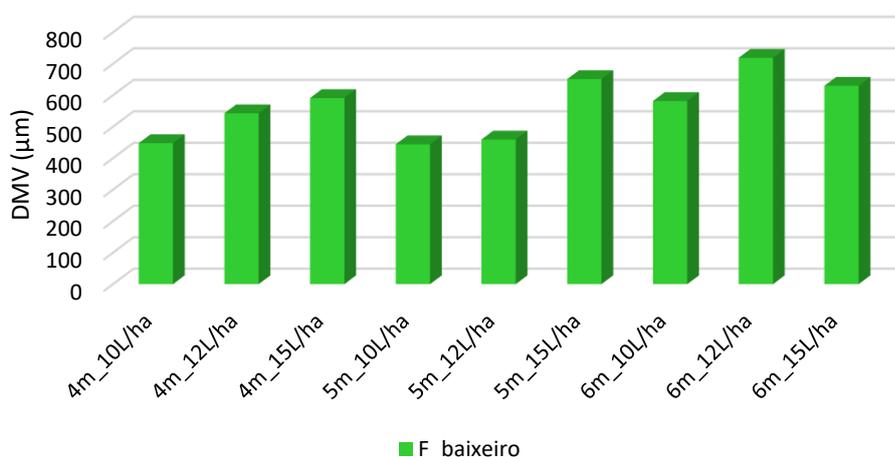


Figura 13: Densidade de gotas em função do tratamento para diferentes posições dos PHS
Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Para cada posição dos PHS analisados, avaliou-se a influência dos fatores (Altura de Voo e Taxa de Aplicação) isoladamente e relacionados, tendo os resultados da Anova Multifatorial nas Tabelas 7, 8 e 9.

Tabela 7: Análise Anova Multifatorial para Folha do Ápice

		SS	Graus de Liberdade	MS	F	P
Área Coberta (%)	Intercept	168,2529	1	168,2529	121,5073	0,000000
	Altura	5,8056	2	2,9028	2,0963	0,135016
	Taxa	13,5377	2	6,7688	4,8883	0,012104*
	Altura x Taxa	4,7401	4	1,1850	0,8558	0,497892
	Erro	60,9274	44	1,3847		
Densidade de Gotas (gotas cm ⁻²)	Intercept	36844,87	1	36844,87	165,9041	0,000000
	Altura	703,61	2	351,80	1,5841	0,216360
	Taxa	910,55	2	455,27	2,0500	0,140588
	Altura x Taxa	663,89	4	165,97	0,7473	0,564961
	Erro	9993,84	45	222,09		
DMV (µm)	Intercept	13808886	1	13808886	1010,904	0,000000
	Altura	14901	2	7450	0,545	0,583561
	Taxa	47984	2	23992	1,756	0,184830
	Altura x Taxa	140987	4	35247	2,580	0,050584
	Erro	587377	43	13660		

Valores de P seguidos por () possuem diferença significativa para Anova Multifatorial.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Tabela 8: Análise Anova Multifatorial para Folha do Cartucho

		SS	Graus de Liberdade	MS	F	P
Área Coberta (%)	Intercept	27,20370	1	27,20370	68,80374	0,000000
	Altura	0,57909	2	0,28954	0,73232	0,486693
	Taxa	1,97325	2	0,98663	2,49538	0,094337
	Altura x Taxa	1,67352	4	0,41838	1,05817	0,388806
	Erro	17,00139	43	0,39538		
Densidade de Gotas (gotas cm ⁻²)	Intercept	6732,440	1	6732,440	84,33482	0,000000
	Altura	150,131	2	75,066	0,94032	0,398762
	Taxa	222,914	2	111,457	1,39618	0,259062
	Altura x Taxa	473,313	4	118,328	1,48225	0,225222
	Erro	3273,026	41	79,830		
DMV (µm)	Intercept	10105868	1	10105868	913,8327	0,000000
	Altura	8081	2	4040	0,3654	0,696078
	Taxa	130970	2	65485	5,9215	0,005351*
	Altura x Taxa	45052	4	11263	1,0185	0,408575
	Erro	475527	43	11059		

Valores de P seguidos por () possuem diferença significativa para Anova Multifatorial.
Fonte: Autor (2024).

Tabela 9: Análise Anova Multifatorial para Folha do Baixeiro

		SS	Graus de Liberdade	MS	F	P
Área Coberta (%)	Intercept	22,49113	1	22,49113	73,94041	0,000000
	Altura	0,33876	2	0,16938	0,55684	0,577093
	Taxa	1,48245	2	0,74122	2,43680	0,099427
	Altura x Taxa	0,52776	4	0,13194	0,43376	0,783454
	Erro	13,07970	43	0,30418		
Densidade de Gotas (gotas cm ⁻²)	Intercept	4562,171	1	4562,171	96,61994	0,000000
	Altura	361,053	2	180,526	3,82328	0,030026*
	Taxa	200,789	2	100,394	2,12620	0,132256
	Altura x Taxa	86,297	4	21,574	0,45691	0,766803
	Erro	1935,925	41	47,218		
DMV (µm)	Intercept	14187375	1	14187375	396,2524	0,000000
	Altura	398276	2	199138	5,5619	0,007197*
	Taxa	158283	2	79141	2,2104	0,122254
	Altura x Taxa	119318	4	29830	0,8331	0,511801
	Erro	1503763	42	35804		

Valores de P seguidos por () possuem diferença significativa para Anova Multifatorial.
Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Para dados da folha do ápice, houve diferença significativa entre os tratamentos T3 e T7 em área coberta (com $P < 0,05$ para Taxa de aplicação) e T1 e T7 para DMV, conforme pode ser observado na Tabela 10. A área coberta foi maior em T7 (3,42%), já o valor mais baixo foi em T3 (0,87%). Apenas a taxa de aplicação

isoladamente não explica o ocorrido, uma vez que nos demais tratamentos com diferentes alturas não foi identificada diferença significativa pelo teste de Tukey. A temperatura do ambiente e umidade relativa do ar podem ter afetado, uma vez que para T7 se teve a menor temperatura e maior umidade relativa. Em se tratando do DMV, temperatura e umidade podem ter influenciado o resultado diretamente, uma vez que em T1 ocorreram as piores condições para aplicação (maior temperatura e menor umidade) e em T7, as melhores (menor temperatura e maior umidade), vale ressaltar, ainda, que taxa de aplicação e altitude podem ter influência no resultado também.

Tabela 10: Teste de Tukey para dados de folha do ápice

Taxa de Aplicação (L.ha ⁻¹)	Altura de voo (m)	Tratamento	Área coberta (%)	Densidade (gotas cm ⁻²)	DMV (µm)
10	4	T1	1,6 ab	29,44 a	418,68 b
	5	T2	1,43 ab	21,01 a	488,46 ab
	6	T3	0,87 b	12,2 a	525,29 ab
12	4	T4	1,57 ab	26,62 a	532,65 ab
	5	T5	1,85 ab	31,24 a	540,8 ab
	6	T6	1,3 ab	21,81 a	492,34 ab
15	4	T7	3,42 a	35,18 a	651,28 a
	5	T8	2 ab	26,84 a	451,24 ab
	6	T9	2,01 ab	30,73 a	550,49 ab

*Para a mesma coluna, valores seguidos pela mesma letra não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Já para os dados de folha do cartucho, embora se tenha diferença significativa pela ANOVA Multifatorial ($P < 0,05$), para o Teste de Tukey a 5% não se teve diferença entre os tratamentos (Tabela 11). O DMV tendeu a ser maior quanto maior a taxa de aplicação, isso pode ser explicado pelo fato de ter mais produto passando pelos bicos da aeronave na hora da quebra da gota, uma vez que a velocidade de rotação dos bicos se manteve constante durante o experimento.

Tabela 11: Teste de Tukey para dados de folha do cartucho

Taxa de Aplicação (L ha ⁻¹)	Altura de voo (m)	Tratamento	Área coberta (%)	Densidade (gotas cm ⁻²)	DMV (µm)
10	4	T1	0,48 a	11,6 a	335,33 a
	5	T2	0,39 a	6,43 a	414,80 a
	6	T3	0,49 a	10,47 a	434,96 a
12	4	T4	1,13 a	18,16 a	459,39 a
	5	T5	1,05 a	19,16 a	389,61 a
	6	T6	0,37 a	6,29a	411,70 a
15	4	T7	0,72 a	10,36 a	484,58 a
	5	T8	1,04 a	11,42 a	523,35 a
	6	T9	0,88 a	10,96 a	525,29 a

*Para a mesma coluna, valores seguidos pela mesma letra não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Por fim, para folhas do baixeiro, se teve diferença significativa com relação a altura de aplicação para densidade de gotas e DMV, embora o Teste de Tukey só tenha identificado diferença para T1 e T6 relativo ao DMV (Tabela 12). A umidade relativa baixa e temperatura alta em T1 pode afetar o tempo de vida da gota, o que, ao trabalhar com aplicação aérea, com alturas mais elevadas, pode afetar o seu tamanho.

Tabela 12: Teste de Tukey para dados de folha do baixeiro

Taxa de Aplicação (L.ha ⁻¹)	Altura de voo (m)	Tratamento	Área coberta (%)	Densidade (gotas cm ⁻²)	DMV (µm)
10	4	T1	0,48 a	11,60 a	335,33 b
	5	T2	0,47 a	6,66 a	444,27 ab
	6	T3	0,33 a	6,06 a	581,50 ab
12	4	T4	1,12 a	18,16 a	459,39 ab
	5	T5	0,64 a	8,22 a	459,39 ab
	6	T6	0,74 a	10,88 a	718,74 a
15	4	T7	0,72 a	10,36 a	484,58 ab
	5	T8	0,71 a	8,22 a	651,28 ab
	6	T9	0,73 a	10,88 a	629,96 ab

*Para a mesma coluna, valores seguidos pela mesma letra não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5%

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

5 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a escolha da taxa e da altitude de aplicação possui grande influência no resultado de uma aplicação, especialmente, tratando-se uma de aplicação aérea, por conta da maior distância percorrida pela gota até atingir o alvo, estando mais suscetível a efeitos atmosféricos.

Maiores taxas de aplicação tendem a apresentar uma melhor cobertura nos três terços das plantas.

Maiores alturas de voo significam maior distância percorrida pela gota, deixando-a mais exposta a fatores atmosféricos. Assim, é importante encontrar um equilíbrio entre altura de voo e cobertura, sendo importante levar em consideração a pressão exercida pelas hélices do drone.

Taxas de aplicação mais elevadas promovem maior DMV, minimizando a ação de fatores externos no véu de aplicação e, conseqüentemente, minimizando perdas indesejados como deriva.

Alturas maiores aumentam o DMV do espectro, tendo influência direta da evaporação das gotas mais finas durante o percurso, deve-se atentar ao trabalhar com alturas de voo elevadas.

A distribuição de gotas entre terço superior, cartucho e baixeiro mostrou uma cobertura eficiente em todo o dossel da cultura, tendo-se uma cobertura adequada em partes mais difíceis de atingir da planta.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAYER, Tânia; COSTA, Ivan F. D.; LENZ, Giuvan; ZEMOLIN, Carla; MARQUES, Leandro N.; STEFANELO, Maurício S. Equipamentos de pulverização aérea e taxas de aplicação de fungicida na cultura do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 15, p. 192-198, fev. 2011.

BERNINI, Cristiani Santos; OLIVEIRA, Thais Alves; FIGUEIREDO, Zulema Netto. Influência de danos foliares de lagarta-do-cartucho em híbridos de milho transgênicos e convencionais. **Revista Uningá Review**, [S.L.], v. 34, n. 4, p. 12-23, 30 dez. 2019. Editora UNINGA. <http://dx.doi.org/10.46311/2178-2571.34.4.012-023>.

BHR. **Brasil: Reportagem conecta lobby do agronegócio a cientistas para defesa de seus interesses no Congresso**. 2024. Disponível em: <https://www.business-humanrights.org/en/latest-news/brasil-reportagem-conecta-lobby-do-agronego%C3%B3cio-a-cientistas-para-defesa-de-seus-interesses-no-congresso/>. Acesso em: 03 jun. 2024.

CHEN, Haibo; LAN, Yubin; FRITZ, Bradley K; HOFFMANN, W. Clint; LIU, Shengbo. Review of agricultural spraying technologies for plant protection using unmanned aerial vehicle (UAV). **International Journal Of Agricultural And Biological Engineering**, [s. l.], v. 1, n. 14, p. 38-49, jan. 2021.

CHEN, Pengchao; DOUZALS, Jean Paul; LAN, Yubin; COTTEUX, Eric; DELPUECH, Xavier; POUXVIEL, Guilhem; ZHAN, Yilong. Characteristics of unmanned aerial spraying systems and related spray drift: a review. **Frontiers In Plant Science**, [S.L.], v. 13, p. 01-16, 8 ago. 2022. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2022.870956>.

CHEN, Pengchao; OUYANG, Fan; WANG, Guobin; QI, Haixia; XU, Weicheng; YANG, Weiguang; ZHANG, Yali; LAN, Yubin. Droplet distributions in cotton harvest aid applications vary with the interactions among the unmanned aerial vehicle spraying parameters. **Industrial Crops And Products**, [S.L.], v. 163, p. 113324, maio 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113324>.

CONAB, Companhia Nacional De Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 10, safra 2023/24, n. 10, décimo levantamento, julho 2024.

CONTIERO, Robinson Luiz; BIFFE, Denis Fernando; CATAPAN, Valdenir. Tecnologia de Aplicação. **Hortaliças-Fruto**, [S.L.], p. 401-449, 2018. EDUEM. <http://dx.doi.org/10.7476/9786586383010.0015>.

CONTINI, Elisio; MOTA, Mierson Martins; MARRA, Renner; BORGHI, Emerson; MIRANDA, Rubens Augusto de; SILVA, Alexandre Ferreira da; SILVA, Dagma Dionísia da; MACHADO, Jane Rodrigues de Assis; COTA, Luciano Viana; COSTA, Rodrigo Verás da. **Milho: caracterização e desafios tecnológicos**. [S.l.]: Embrapa, 2019. 45 p. (Desafios do Agronegócio Brasileiro). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195075/1/Milho-caracterizacao.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2023.

CRUZ, J. C. (Ed.). **Cultivo do milho**. 9. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 1. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/486917> . Acesso em: 22 jul 2023.

CUNHA, J.P.A.R.; TEIXEIRA, M.M.; COURY, J.R.; FERREIRA, L.R. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 325-332, ago. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582003000200019>.

CUNHA, João Paulo Arantes Rodrigues da; SILVA, Maria Rosa Alferes da. Spray deposition from a remotely piloted aircraft on the corn crop. **Revista Ciência Agrônômica**, [S.L.], v. 54, n. 1, p. 1-8, fev. 2023. GN1 Sistemas e Publicações Ltda. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20230027>.

DJI. **Agras T40: The Future of Spraying Technology**. 2024. Disponível em: <https://ag.dji.com/newsroom/agras-t40-spraying-crop-protection>. Acesso em: 06 maio 2024.

HE, Xiongkui. Rapid Development of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for Plant Protection and Application Technology in China. **Outlooks On Pest Management**, [S.L.], v. 29, n. 4, p. 162-167, 1 ago. 2018. Research Information Ltda. http://dx.doi.org/10.1564/v29_aug_04.

HUNTER, Joseph E.; GANNON, Travis W.; RICHARDSON, Robert J.; YELVERTON, Fred H.; LEON, Ramon G. Integration of remote-weed mapping and an autonomous spraying unmanned aerial vehicle for site-specific weed management. **Pest Management Science**, [S.L.], v. 76, n. 4, p. 1386-1392, 12 nov. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ps.5651>.

JOHN DEERE. **Aspersoras Green System**. 2024. Disponível em: <https://www.deere.com/latin-america/es/greensystem/>. Acesso em: 18 jul. 2023.

LEITE, R. P.; CUSTÓDIO, A. A. P.; MADALOSSO, T.; ROBAINA, R. R.; DUIN, I. M.; SUGAHARA, V. H. First Report of the Occurrence of Bacterial Leaf Streak of Corn Caused by *Xanthomonas vasicola* pv. *vasculorum* in Brazil. **Plant Disease**, [S.L.], v. 103, n. 1, p. 145-145, jan. 2019. Scientific Societies. <http://dx.doi.org/10.1094/pdis-06-18-1100-pdn>.

LOU, Zhaoxia; XIN, Fang; HAN, Xiaoqiang; LAN, Yubin; DUAN, Tianzhu; FU, Wei. Effect of Unmanned Aerial Vehicle Flight Height on Droplet Distribution, Drift and Control of Cotton Aphids and Spider Mites. **Agronomy**, [S.L.], v. 8, n. 9, p. 187, 13 set. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy8090187>.

MEWES, Walter Luis Castro; TEIXEIRA, Mauri Martins; FERNANDES, Haroldo Carlos; ZANUNCIO, José Cola; ALVARENGA, Cleyton Batista. Aplicação de agrotóxicos em eucalipto utilizando pulverizador pneumático. **Revista Árvore**, v. 37, n. 2, p. 347-353, 2013

MILANOWSKI, Marek; SUBR, Alaa; COMBRZYŃSKI, Maciej; RÓŜAŃSKA-BOCZULA, Monika; PARAFINIUK, Stanisław. Effect of Adjuvant, Concentration and Water Type on the Droplet Size Characteristics in Agricultural Nozzles. **Applied**

Sciences, [S.L.], v. 12, n. 12, p. 5821, 8 jun. 2022. MDPI AG.
<http://dx.doi.org/10.3390/app12125821>.

OLIVEIRA, Vagner Amado Belo de; OLIVEIRA, Gustavo Migliorini de; GIGLIOTI, Éder Antonio; IGARASHI, Wagner Teigi; SAAB, Otavio Jorge Grigoli Abi. Desempenho de bicos rotativos e hidráulicos na aplicação aérea de fungicidas em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 3, n. 4, p. 111-122, 07 dez. 2011.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Goal 12**: Ensure sustainable consumption and production patterns. 2023. Disponível em:
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/>. Acesso em: 26 jun. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Goal 2**: Zero Hunger. 2023. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/hunger/>. Acesso em: 26 jun. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Goal 6**: Ensure access to water and sanitation for all. 2023. Disponível em:
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/>. Acesso em: 26 jun. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Goal 7**: Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy. 2023. Disponível em:
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/>. Acesso em: 26 jun. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Goal 8**: Promote inclusive and sustainable economic growth, employment and decent work for all. 2023. Disponível em:
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/economic-growth/>. Acesso em: 26 jun. 2023.

PRESTES, Isabele; ROCHA, Liliana; NUÑEZ, Karen; SILVA, Nathália. Fungi and mycotoxins in corn grains and their consequences. **Scientia Agropecuaria**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 559-570, 31 dez. 2019. Universidad Nacional de Trujillo.
<http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.13>.

QINGQING, Zhou; XINYU, Xue; WEICAI, Qin; CHEN, Cai; LIANGFU, Zhou. Optimization and test for structural parameters of UAV spraying rotary cup atomizer. **International Journal Of Agricultural And Biological Engineering**, [s. l.], v. 3, n. 10, p. 78-86, out. 2017.

RAMOS, Emily. **Land Pollution**. 2019. Disponível em:
<https://medium.com/evironmental-issues/land-pollution-abd457ac504d>. Acesso em: 18 jul. 2023.

SINDAG. **Especial Drones**: China, Brasil e as tendências do mercado. China, Brasil e as tendências do mercado. 2021. Disponível em:
https://sindag.org.br/noticias_sindag/especial-drones-china-brasil-e-as-tendencias-do-mercado/. Acesso em: 23 jul. 2023.

SINDIVEG. **Mercado Total de Defensivos Agrícolas por Produto Aplicado**. 2023. Disponível em: <https://sindiveg.org.br/mercado-total/>. Acesso em: 10 jul. 2023.

SOU AGRO. **Pulverização com helicópteros?** Saiba mais. 2022. Disponível em: <https://souagro.net/noticia/2022/03/pulverizacao-com-helicopteros-saiba-mais/>. Acesso em: 18 jul. 2023.

STAARA. **Sistema Recirculante Contínuo**. 2021. Disponível em: <https://www.stara.com.br/es/noticias/productos/sistema-recirculante-continuo-mas-calidad-y-homogeneidad-en-la-pulverizacion>. Acesso em: 18 jul. 2023.

SYNGENTA. **Pulverizador de Praga Agrícola**. 2024. Disponível em: <https://blog.syngentadigital.ag/pragas-agricolas/pulverizador-de-praga-agricola/>. Acesso em: 18 jul. 2023.

TANG, Qing; CHEN, Liping; ZHANG, Ruirui; DENG, Wei; XU, Min; XU, Gang; LI, Longlong; HEWITT, Andrew. Effects of application height and crosswind on the crop spraying performance of unmanned helicopters. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 181, p. 105961, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2020.105961>.

WANG, Linlin; LAN, Yubin; ZHANG, Yali; ZHANG, Huihui; TAHIR, Muhammad Naveed; OU, Shichao; LIU, Xiaotao; CHEN, Pengchao. Applications and Prospects of Agricultural Unmanned Aerial Vehicle Obstacle Avoidance Technology in China. **Sensors**, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 642, 3 fev. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s19030642>.

WANG, Zhichong; LAN, Luchen; HE, Xiongkui; HERBST, Andreas. Dynamic evaporation of droplet with adjuvants under different environment conditions. **International Journal Of Agricultural And Biological Engineering**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 1-6, 2020. International Journal of Agricultural and Biological Engineering (IJABE). <http://dx.doi.org/10.25165/j.ijabe.20201302.5353>.

WOLDT, Wayne; MARTIN, Daniel; LAHTEEF, Mohamed; KRUGER, Greg; WRIGHT, Robert; MCMECHAN, Justin; PROCTOR, Christopher; JACKSON-ZIEMS, Tamra. *Field Evaluation of Commercially Available Small Unmanned Aircraft Crop Spray Systems*. 2018 Detroit, Michigan July 29 - August 1, 2018, **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-15, ago. 2018. <http://dx.doi.org/10.13031/aim.201801143>.

XIONGKUI, He; BONDS, Jane; HERBST, Andreas; LANGENAKENS, Jan. Recent development of unmanned aerial vehicle for plant protection in East Asia. **International Journal Of Agricultural And Biological Engineering**, [S.L.], v. 3, n. 10, p. 18-30, maio 2013.

ZHAN, Yilong; CHEN, Pengchao; XU, Weicheng; CHEN, Shengde; HAN, Yifang; LAN, Yubin; WANG, Guobin. Influence of the downwash airflow distribution characteristics of a plant protection UAV on spray deposit distribution. **Biosystems Engineering**, [S.L.], v. 216, p. 32-45, abr. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.01.016>.