

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GUSTAVO TARTARI

**QUALIDADE DE APLICAÇÃO DE INSETICIDA NA CULTURA DO MILHO POR
UM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO**

PATO BRANCO

2024

GUSTAVO TARTARI

**QUALIDADE DE APLICAÇÃO DE INSETICIDA NA CULTURA DO MILHO POR
UM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO**

**Quality of insecticide application to corn crops by an unmanned aerial
vehicle**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia do Curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Alcir José Modolo

Coorientador: Prof. Me. Diego Fernando Daniel

PATO BRANCO

2024



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

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GUSTAVO TARTARI

**QUALIDADE DE APLICAÇÃO DE INSETICIDA NA CULTURA DO MILHO POR
UM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Agronomia do Curso de
Bacharelado em Agronomia da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Data de aprovação: 07/junho/2024

Alcir José Modolo
Doutorado em Engenharia Agrícola
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gilberto Santos Andrade
Doutorado em Entomologia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Diego Fernando Daniel
Doutorando em Agronomia (PPGAG-PB)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PATO BRANCO

2024

Dedico este trabalho à minha querida mãe,
com todo o meu amor e gratidão, você sempre
foi minha maior fonte de inspiração.

AGRADECIMENTOS

A realização desta monografia não teria sido possível sem o apoio e a colaboração de diversas pessoas e instituições, às quais gostaria de expressar minha profunda gratidão.

Primeiramente, agradeço a Deus, por me dar saúde, força e determinação para concluir mais esta etapa da minha vida.

À minha família, em especial aos meus pais, Nelson Tartari e Loreni de Oliveira, pelo amor incondicional, apoio financeiro e emocional, e por sempre acreditarem no meu potencial. Sem vocês, nada disso teria sido possível.

Ao doutorando Diego Fernando Daniel por toda ajuda e determinação durante o processo de estudos realizados, orientações determinantes ao aprendizado.

Ao meu orientador e professor, Dr. Alcir José Modolo, pela paciência, orientação e incentivo durante todo o processo de pesquisa e redação desta monografia. Suas valiosas contribuições e conselhos foram essenciais para a concretização deste trabalho.

Agradecemos ao Professor Adão Robson Elias por sua valiosa ajuda no experimento, especialmente por pilotar o drone e supervisionar as operações de campo. Sua contribuição foi fundamental para o sucesso deste trabalho.

Aos meus colegas e amigos, que compartilharam comigo esta jornada acadêmica. Agradeço pelos momentos de apoio, pelas discussões enriquecedoras e pela amizade que se fortaleceu ao longo dos anos.

À UTFPR, pela oportunidade de realizar meus estudos e pelo suporte oferecido durante todo o curso. Agradeço também aos professores e funcionários, cujos ensinamentos e ajuda foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Aos participantes da pesquisa, que gentilmente dedicaram seu tempo e compartilharam suas experiências, contribuindo de maneira significativa para os resultados.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho. Cada um de vocês teve um papel importante nesta conquista e sou imensamente grato por todo o apoio e carinho recebidos ao longo desta jornada.

Muito obrigado.

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,
mas lutei para que o melhor fosse feito. Não
sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não
sou o que era antes.”*
(Marthin Luther King)

RESUMO

O presente trabalho investiga a qualidade de aplicação de inseticida na cultura do milho utilizando um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), popularmente conhecido como drone. O estudo foi conduzido no contexto da crescente importância do milho na economia brasileira e da necessidade de métodos eficazes de aplicação de defensivos agrícolas. A pesquisa teve como objetivos principais avaliar a eficácia da pulverização realizada por drones, identificar os fatores que afetam a deposição do defensivo nas plantas na técnica de aplicação utilizando VANTs. Foram analisados parâmetros como o Diâmetro médio volumétrico (DMV), densidade de gotas, deposição de caldas, amplitude relativa (Span) e porcentagem de cobertura. O trabalho foi desenvolvido através de experimentos a nível de campo, em diferentes taxas de aplicação (7,5 15 e 22,5 L ha⁻¹) e dois tipos de pontas de pulverização (XR 11001 e TXA 8001) foram testados. A coleta de dados envolveu o uso de papéis hidrossensíveis para medir a distribuição do inseticida e a avaliação das condições climáticas que poderiam interferir na aplicação. Os resultados indicaram que os drones oferecem uma alternativa viável e eficiente para a aplicação de inseticidas na cultura do milho, apresentando vantagens em termos de precisão e redução de impactos ambientais. No entanto, a pesquisa também destacou a importância e a necessidade de monitoramento constante das condições climáticas para garantir a máxima eficácia. A conclusão deste trabalho aponta para o potencial significativo dos drones na modernização da agricultura, recomendando a adoção dessa tecnologia pelos produtores, desde que acompanhada de práticas adequadas de manejo e regulagem dos equipamentos.

Palavras-chave: pulverização agrícola; drones; aplicação de defensivos ; qualidade de aplicação; *zea mays* L.

ABSTRACT

The present work investigates the quality of insecticide application in corn crops using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV), popularly known as a drone. The study was conducted in the context of the growing importance of corn in the Brazilian economy and the need for effective methods of applying agricultural pesticides. The main objectives of the research were to evaluate the effectiveness of spraying carried out by drones, identify the factors that affect the deposition of the pesticide on plants in the application technique using UAVs. Parameters such as volumetric mean diameter (DMV), droplet density, spray deposition, relative amplitude (Span) and percentage of coverage were analyzed. The work was developed through field experiments, at different application rates (7.5 15 and 22.5 L ha⁻¹) and two types of spray tips (XR 11001 and TXA 8001) were tested. Data collection involved the use of water-sensitive papers to measure the distribution of the insecticide and the assessment of weather conditions that could interfere with application. The results indicated that drones offer a viable and efficient alternative for applying insecticides to corn crops, presenting advantages in terms of precision and reduction of environmental impacts. However, the research also highlighted the importance and need for constant monitoring of weather conditions to ensure maximum effectiveness. The conclusion of this work points to the significant potential of drones in modernizing agriculture, recommending the adoption of this technology by producers, as long as it is accompanied by appropriate management and equipment regulation practices.

Keywords: agricultural spraying; drone; application of pesticides; application quality; *zea mays l.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Visão geral do equipamento DJI AGRAS MG-1S	20
Figura 2 – Disposição dos papéis hidrossensíveis fixados em haste de metal simulando os terços superior, médio e inferior da cultura do milho. . . .	22
Figura 3 – Disposição dos papéis hidrossensíveis fixados em haste de metal simulando os terços superior, médio e inferior da cultura do milho. . . .	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação de velocidade de voo, vazão e pressão para cada tipo de ponta hidráulica e volume de calda. UTFPR <i>Campus</i> Pato Branco, 2024.	21
Tabela 2 – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios (QM) do efeito dos volumes de aplicação e das pontas de pulverização no espectro de gotas geradas por um drone pulverizador na cultura do milho. UTFPR - <i>Campus</i> Pato Branco, 2024.	25
Tabela 3 – Efeito do volume de calda e das pontas hidráulicas no diâmetro médio volumétrico (DMV – μm) no terço médio das plantas de milho. UTFPR - <i>Campus</i> Pato Branco, 2024.	26
Tabela 4 – Efeito do volume de calda e pontas hidráulicas na densidade de gotas (gotas cm^{-2}) nos terços inferior e superior das plantas de milho. UTFPR - <i>Campus</i> Pato Branco, 2024.	27
Tabela 5 – Efeito do volume de calda e pontas hidráulicas na densidade de gotas (gotas cm^{-2}) no terço médio das plantas de milho. UTFPR - <i>Campus</i> Pato Branco, 2024.	27
Tabela 6 – Efeito do volume de calda e das pontas hidráulicas na deposição da calda ($\mu\text{L cm}^{-2}$) nos terços inferior e superior das plantas de milho. UTFPR - <i>Campus</i> Pato Branco, 2024.	29
Tabela 7 – Efeito do volume de calda e das pontas hidráulicas na deposição da calda ($\mu\text{L cm}^{-2}$) no terço médio no dossel das plantas de milho. UTFPR - <i>Campus</i> Pato Branco, 2024.	29
Tabela 8 – Efeito das pontas hidráulicas e do volume de calda na amplitude relativa (Span) no terço médio das plantas de milho. UTFPR - <i>Campus</i> Pato Branco, 2024.	30
Tabela 9 – Efeito das pontas hidráulicas e do volume de calda na porcentagem de cobertura no terço médio das plantas de milho. UTFPR - <i>Campus</i> Pato Branco, 2024.	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abreviaturas

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
ARPs	Aeronaves Remotamente Pilotadas
CV	Coeficiente de Variação
DJI	Dà-Jiāng Innovations Science and Technology
DMV	Diâmetro Médio Volumétrico
DPI	Dots Per Inch
PR	Unidade de Federação do Paraná
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VANTs	Veículos Aéreos Não Tripulados

Siglas

kPa	quilopascal
ha	Hectare
L	Litro
Min	Minuto
S	Segundo
μ m	Micrômetro
v/v	Concentração
ml	Mililitro
kg	Quilograma
bar	Unidade de pressão
mm	Milímetro

μ L

Microlitro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Aspectos gerais e importância econômica da cultura do milho	15
2.2	Tecnologia de aplicações de defensivos agrícolas	15
2.3	Veículos Aéreos Não Tripulados – VANTS	16
2.4	Pragas na cultura do milho	17
2.5	Espectro de gotas e cobertura de alvos	18
2.6	Pontas de Pulverização	18
2.7	Volume de calda	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1	Descrição geral	20
3.2	Especificações do VANT pulverizador	20
3.3	Tratamentos e delineamento experimental	21
3.4	Semeadura do milho e tratos culturais	21
3.5	Condução do ensaio de pulverização	21
3.5.1	Disposição e análise dos papéis hidrossensíveis	22
3.5.2	Parâmetros dos espectros de gotas e cobertura dos alvos avaliados	23
3.6	Determinação das condições ambientais	24
3.7	Análise estatísticas dos dados	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1	Diâmetro médio Volumétrico (DMV)	25
4.2	Densidade de gotas	26
4.3	Deposição de calda	28
4.4	Amplitude relativa (Span)	30
4.5	Porcentagem de cobertura	31
5	CONCLUSÕES	33

REFERÊNCIAS 34

1 INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays*) é a planta de maior importância comercial com origem nas Américas. Essa importância é caracterizada em diversas formas de utilização, seja, para nutrição animal, indústria energética e consumo humano. No uso de alimentação animal, o uso do grão representa 70% do consumo da produção mundial (Duarte; Mattoso; Garcia, 2021).

No Brasil, na safra de 2021/22 foram produzidos 113,1 milhões de toneladas de milho em solo brasileiro em aproximadamente 22,2 milhões de hectares cultivados, segundo os dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), um acréscimo de 16,5% em relação à safra anterior, mostrando o impacto dessa cultura para a economia brasileira (Conab, 2022).

O uso de defensivos agrícolas marca um grande passo no crescimento da produtividade agrícola no Brasil e no mundo, pois devido as suas vantagens e aumento do nível tecnológico empregado as aplicações, foi possível alcançar grandes níveis de produtividade. Assim, a tecnologia de aplicação é uma área que na agricultura, conta com diversos fatores que podem influenciar na qualidade de deposição do produto no alvo eficazmente. O ponto fundamental das tecnologias de aplicação de defensivos agrícolas é a forma ideal de regulagem e manutenções dos equipamentos, que influenciam diretamente na qualidade de aplicação. Também é necessário considerar as condições climáticas do ambiente que impactam diretamente na qualidade de aplicação (Contiero; Biffe; Catapan, 2018).

Com o avanço dos anos e a entrada na era digital, o âmbito do agronegócio vem utilizando dos novos recursos desenvolvidos que possam facilitar e beneficiar o dia a dia dos produtores. Assim, o uso de Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs) vem sendo mais uma importante ferramenta à disposição dos agricultores, tendo diversas vantagens já comprovadas em relação ao método convencional, como: não amassamento da cultura de interesse, evita a compactação do solo, menor exposição do operador aos agentes tóxicos e aplicações localizadas (Oliveira, 2020). Além do que, os VANTs conseguem ser programados para atuarem em taxas variáveis, terem maior facilidade de cobrir terrenos íngremes e encharcados (Bianchi, 2022).

A qualidade e sucesso de uma aplicação dependem diretamente das seleções das pontas de pulverização e dos parâmetros relacionados ao espectro de gotas produzidas pelas pontas, como o diâmetro médio volumétrico (DMV), diâmetro médio numérico (DMN), densidade de gotas, porcentagem de cobertura do alvo e coeficiente de homogeneidade (Baesso *et. al.*, 2014) e assim otimizar o manejo da aplicação dos defensivos agrícolas, características estas alcançadas com o domínio correto da técnica de aplicação e com o emprego de tecnologias adequadas (Raj *et. al.*, 2021).

Dessa forma, Carlesso e Bariviera (2022) relata que o volume de calda em uma aplicação de defensivos está associado justamente ao custo, rendimento e eficiência da aplicação. Esses fatores são importantes, pois na pulverização com VANTs é usado volume de calda baixos.

Segundo Bianchi (2022), a aplicação de defensivos agrícolas com o uso de VANTs foi mais eficiente quanto à deposição de gotas, percentual de cobertura e densidade de gotas, em relação à aplicação tratorizada. Em contrapartida, a aplicação tratorizada mostrou-se mais eficiente em relação ao diâmetro mediano volumétrico. Portanto, entende-se que, dependendo das formas de condução da aplicação de defensivos com os VANTs, é possível obter diferentes resultados.

O milho, em certas fases de seu desenvolvimento, dificulta a aplicação de tratamentos pulverizados para combater pragas e doenças. Nesses estágios, a pulverização com drones se torna uma grande aliada dos produtores, facilitando o combate eficaz às pragas que atacam a cultura.

A utilização de drones na agricultura tem se mostrado uma ferramenta nova e promissora para o aumento da produtividade e redução de custos em diversas culturas. Um dos aspectos mais importantes a serem estudados é a quantidade de calda que deve ser aplicada em cada cultura. Outro ponto que ainda não tem conhecimento científico consolidado é a escolha das pontas de pulverização, tamanho de gota e ângulo cônico ideais para cada tipo de aplicação.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade da aplicação de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) em função de volumes de calda e pontas de pulverização.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a quantidade de calda aplicada nos terços superior, médio e inferior da cultura do milho para cada tipo de ponta de pulverização e volume de calda utilizados.
- Avaliar o diâmetro médio de gotas e volume aplicado para cada tipo de ponta de pulverização e volume de calda utilizados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos gerais e importância econômica da cultura do milho

O milho (*Zea Mays*) é um cereal pertencente à família Poaceae, originário da América Central, cultivado em diversas partes do mundo, incluindo o Brasil. É um alimento rico em nutrientes, especialmente carboidratos, sendo considerado um alimento de alto valor energético (Ferreira, 2012).

Possuindo grande importância na agricultura e, conseqüentemente, no cenário econômico brasileiro, este cereal tem a capacidade de ser cultivado tanto na primeira safra quanto na segunda. Em 2021, segundo o IBGE (2021), o Brasil produziu cerca de 88 milhões de toneladas de milho, em uma área total cultivada de 19 milhões de hectares. O milho também desempenha um papel muito importante no estado do Paraná, que no ano de 2021 produziu cerca de 10 milhões de toneladas. Essa produção é distribuída em várias áreas: alimentação humana, industrialização, produção de sementes, produção de rações para animais e biocombustível (IBGE, 2021).

Conforme a FAO (2023), o Brasil foi o terceiro país com a maior produção de milho do mundo, atrás da China, que é o segundo maior produtor, e dos Estados Unidos, que assume a primeira colocação na produção de grãos deste cereal. As pragas e doenças presentes na cultura do milho podem levar a perdas expressivas, uma vez que, no milho, são de difícil controle, pois podem estar envelopadas na palha da espiga ou, em muitos casos, o porte alto da planta dificulta a entrada na lavoura para aplicação de defensivos agrícolas (Ribeiro *et. al.*, 2016).

2.2 Tecnologia de aplicações de defensivos agrícolas

Há relatos que as primeiras pulverizações aconteceram ainda no século XIX, a partir disso foram se materializando equipamentos mais tecnológicos (Chain, 1999). Nos últimos anos, houve um avanço das tecnologias de aplicação de agrotóxicos, no entanto, ainda há desperdício de energia, produtos químicos, que geram ineficiência nos resultados. Dessa forma, o aumento da tecnificação traz a pulverização vantagens desde a sustentabilidade a qualidade na aplicação (Adegas; Gazziero, 2020).

O bom desempenho do manejo fitossanitário está atrelado a variáveis ligadas a tecnologia de aplicação, que devem ser consideradas para permitir um bom controle do alvo, como clima, relevo, equipamento utilizado, tipo de ponta, princípio ativo, etc. Fato é que a tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas vem tendo avanços significativos em vários âmbitos dessa área, um ponto importante é o controle da deriva, que causa preocupações em diversas partes do mundo, sendo que, fatores importantes para o controle desse fator é a correta regulagem do equipamento, seguido da utilização de máquinas aplicadoras em dia com a manutenção. Outro

fator relevante na hora da aplicação está relacionado com as condições climáticas do momento, por isso, a pesquisa vem gerando resultados e recomendações, exigindo cada vez mais, que a mão de obra envolvida tenha que passar por treinamentos e atualizações (Contiero; Biffe; Catapan, 2018).

A cobertura proporcionada pela aplicação de um defensivo é desuniforme, principalmente na parte inferior da planta, resultando em controle ineficiente do alvo, mesmo em caso de produtos de ação sistêmica. Portanto, para garantir efetividade, é necessário que o operador tenha o domínio das técnicas adequadas de aplicação, para garantir que o produto entre em contato com o alvo desejado eficazmente, reduzindo perdas de produto e a contaminação do meio ambiente. Frequentemente, uma fração do produto aplicado é perdido, devido à baixa qualidade na aplicação. Assim, a indústria de máquinas agrícolas e componentes lançam novos produtos no mercado continuamente com a intenção de conferir melhorias na aplicação de defensivos (Cunha; Juliatti; Reis, 2014).

Estima-se que grande parte dos produtos químicos aplicados não cheguem ao alvo, sendo que esse fato se deve a prática de realizar a aplicação de maneira inadequada, tanto em relação aos parâmetros a serem seguidos bem como ao momento de entrada do produto na lavoura. O desenvolvimento das tecnologias de aplicação tem colaborado para a prática de sistemas mais sustentáveis e conservadores do meio ambiente. Aplicação com agricultura de precisão permite que aplicações sejam feitas somente em locais necessários, onde há presença da doença, praga ou planta daninha e, não em toda área, reduzindo o custo financeiro, aumentando a eficiência do produto e a sustentabilidade do sistema, minimizando impactos ambientais (Oliveira, 2020).

2.3 Veículos Aéreos Não Tripulados – VANTs

O uso de Veículos Aéreos Não Tripulados vem crescendo, podendo atuar em diversas áreas em determinados objetivos. Segundo a ANAC (2017) VANT são aeronaves projetadas para operar sem piloto a bordo, de caráter não recreativo e com carga útil embarcada.

Dessa forma, os desenvolvimentos dos VANTs no meio agrícola, surge como uma importante ferramenta que auxilia na precisão e também, auxiliante em diversas atividades desenvolvidas no meio agrícola (Jorge; Inamasu, 2014). A exemplo da eficiência dos VANTs na aplicação de defensivos, o AGRAS®T40 consegue carregar até 40 kg de carga de pulverização, podendo aplicar defensivos em 21,3 hectares por hora em grandes culturas (DJI, 2023).

Até então, métodos convencionais de aplicação de defensivos são os mais utilizados, na maior parte do mundo, sendo que o pulverizador mecânico manual é o mais comum. Sendo assim, os métodos convencionais têm diversas deficiências, como o uso excessivo de produtos químicos, escassez de mão de obra agrícola, menor cobertura de área, etc. Em virtude dessas deficiências, o uso de drones nas aplicações de defensivos apresenta como vantagem o aumento da capacidade de cobertura, eficácia química e torna o trabalho mais rápido e prá-

tico. Atualmente, o drone de pulverização tem capacidade de transportar tanque com volume de calda de até 40 litros e seguir rotas de pulverização mapeadas previamente conforme a necessidade. Os drones têm mostrado grande potencial em cobertura de campos de difícil acesso para tratores ou aeronaves tripuladas (Hafeez *et. al.*, 2022).

Tecnologias com drones na agricultura é uma inovação fenomenal com potencial para transformar a forma de como as atividades cotidianas da agricultura são feitas. As atividades agrícolas em todo mundo estão cada vez mais aderindo o uso de drones com objetivo de modernizar a agricultura. Os drones são sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (ARP) cuja sigla internacionalmente reconhecida é RPAS (remotly piloted aircraft systems), são projetados para obter posição em tempo real de determinada cultura ou efetuar aplicação de defensivos agrícolas. Uso de drones é vantajoso em diversas atividades agrícolas, substituindo as ferramentas convencionais disponíveis que podem ser mais perigosas e intensivas, há o fator de acesso a áreas declivosas, amassamento zero na cultura de interesse e não compactação do solo (Pathak *et. al.*, 2020).

Na cultura do milho Silva (2021) avaliou a deposição de calda na cultura do milho com a aplicação de uma RPA (Aeronave Remotamente Pilotada), em 1,5 m de altura de voo a deposição não diferiu estatisticamente do método de aplicação costal, entretanto com 3 m de altura de voo houve a redução na deposição.

2.4 Pragas na cultura do milho

O milho é um cereal de grande importância para a segurança alimentar global, e enfrenta um obstáculo constante: o controle de pragas. Entender os segredos da biologia e do comportamento desses insetos é fundamental para combatê-los de forma eficaz, de forma que seja possível construir uma boa produtividade (Silva, 2021). Entre as principais pragas do milho, tem-se:

Lagarta-do-cartucho: desfolha, perfura e corta a planta, podendo reduzir a produtividade em até 52%. Ataca desde a plântula até a espiga, com maior impacto entre 10 e 45 dias após a emergência.

Percevejos: Causam amarelecimento, murchamento, deformações e transmitem doenças virais. O dano se concentra na fase de formação de grãos (45-60 dias após emergência), afetando qualidade e produtividade.

Cigarrinha-do-milho: transmite o vírus do mosaico do milho, reduzindo a produtividade em até 70%. Com maior intensidade na fase inicial (10–30 dias após emergência).

Lagarta-elasmô: ataca raízes e colmo, causando acamamento, quebra e favorecendo patógenos. Seu maior impacto se concentra na fase inicial (10-30 dias após emergência), podendo levar à perda total de plantas

As pragas e doenças presentes na cultura do milho podem levar a perdas expressivas, uma vez que no milho são de difíceis controle por poderem estar envelopadas na palha da

espiga ou, em muitos casos, o porte alto da planta dificulta a entrada na lavoura para aplicação de defensivos agrícolas (Ribeiro, 2016).

2.5 Espectro de gotas e cobertura de alvos

O desenvolvimento da gota no processo de pulverização está relacionado na grande parte dos métodos de aplicações, com a passagem do líquido a ser pulverizado que sofre grande pressão em um pequeno orifício, dessa forma, o líquido se desintegra em gotas de diferentes diâmetros. Durante o processo de aplicação, é preferível que as gotículas pulverizadas apresentem um tamanho uniforme e distribuição consistente. Então, deve-se ajustar o equilíbrio entre gotas muito grossas, que são suscetíveis a escorrimentos e nem gotas muito finas, que estão sujeitas à deriva (Chechetto *et. al.*, 2018).

Uma aplicação que confere boa cobertura de alvos, há de dispor de espectro de gotas adequados para enfim realizar uma boa cobertura de alvos. No caso de gotas muito grandes, maiores que 800 μm , não fazem boa cobertura da superfície desejada, pois devido ao seu peso, geralmente não aderem à superfície da planta e escorrem até o solo. Em contrapartida, gotículas muito pequenas, em sua grande maioria dos casos, ocorrem boa cobertura dos alvos e uniformidade na distribuição da calda, porém, estão sujeitas à deriva em condições de baixa umidade relativa do ar, ou também, podendo ser carregados pela corrente de ar (Cunha *et. al.*, 2004).

Dessa forma, Cunha *et al.* (2004) relata que se deve atentar ao espectro de gotas por impactarem diretamente na efetividade da cobertura dos alvos. É necessário se atentar para não serem produzidas gotas maiores que 800 μm que são suscetíveis ao escorrimento e menores que 100 μm que são suscetíveis à deriva.

2.6 Pontas de Pulverização

As pontas de pulverização são responsáveis por grande parte da qualidade da aplicação, por produzirem as gotas que cobrem os alvos estabelecidos na aplicação. Cada tipo de ponta tem suas particularidades em relação à pressão de trabalho, tipo de jato formado, uniformidade de gotas e volume de calda. Estes são fatores essenciais a serem analisados quando se faz a escolha da ponta de pulverização. Com o histórico da criação dos herbicidas e dos fungicidas e pesticidas, generalizou-se que herbicidas devem ser aplicados com jato plano e fungicidas e pesticidas devem ser aplicados com jato cônico. Porém, dependendo da situação do alvo, pode-se utilizar qualquer um dos tipos de jatos, independentemente do tipo de defensivo (Adegas; Gazziero, 2020).

Amler *et al.* (2021) verificaram na cultura da cebola que as pontas de impacto com pressão de 207 kPa e as pontas de jato plano com indução de ar na pressão de 256 kPa,

obtiveram os melhores resultados de posição de calda, também afirmam que a pressão de trabalho não afetou significativamente a deposição de calda, entretanto o aumento de pressão aumentou a deposição de calda no solo para as pontas de jato plano, pré-orifício e indução de ar.

Assim, Silva (2021) ao avaliar três tipos de ponta: jato duplo; jato inclinado e jato simples, determinou que para cultura da soja a maior deposição no terço médio foi utilizando a ponta de jato duplo com volume de calda de 96 L ha⁻¹, porém com 144 L ha⁻¹, a maior deposição foi obtida com ponta de jato inclinado.

Já, utilizando a pulverização com VANTs, Schlemer (2022) conferiu que as pontas TXA8001vk teejet®, cone vazio e XR11001 vs leque, obtiveram resultados semelhantes de percentual de cobertura e diâmetro médio de gotas.

2.7 Volume de calda

A escolha do volume de calda irá depender do tipo de defensivo, cobertura alvo a ser controlada, técnica utilizada de pulverização, dentre outros fatores. Volume de aplicação ou taxa de aplicação é o volume a ser aplicado em função das unidades de comprimento, área, peso e volume, sendo comum classificar este processo no volume de calda por hectare (L ha⁻¹).

Com o avanço dos anos, há a tendência de diminuir o volume de calda aplicado por ha, para ser possível aumentar a capacidade operacional das aplicações (Althman, 2021). Se entende, que o volume de calda tem interferência direta aos fatores de rendimento e eficiência da aplicação. Trata-se de um fator de extrema importância na aplicação com VANTs, ao utilizarem de volumes de calda baixos (Carlesso; Bariviera, 2022).

Schlemer (2022) relata que os volumes de 10 e 15 L ha⁻¹ utilizados na pulverização com VANTs não diferiram estatisticamente no índice de cobertura. Entretanto, obteve-se maior porcentagem de cobertura com o volume de calda de 20 L ha⁻¹. Assim como Carlesso e Bariviera (2022) afirmam que o volume de calda de 10 L ha⁻¹ teve maior porcentagem de área coberta em quando comparado com os volumes de 8 e 12 L ha⁻¹.

Moraes (2022) afirma que volumes de calda de 10, 15 e 20 L ha⁻¹ não diferiram significativamente na densidade de gotas quando testado em velocidades de 5, 10, 15 e 20 km h⁻¹, na cultura do feijoeiro.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição geral

O presente trabalho foi conduzido na área experimental do curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco – PR, localizada no Sudoeste Paranaense, nas coordenadas 26°16'36" S e 52°41'20" O, com altitude média de 760 m, durante a safra agrícola 2023/2024 na cultura de milho.

O experimento avaliou parâmetros de qualidade da aplicação utilizando VANTs na aplicação de defensivos agrícolas na cultura do milho.

3.2 Especificações do VANT pulverizador

Para as avaliações do experimento, foi utilizado um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), equipado com um pulverizador, com volume de tanque de 10 litros (Figura 1). O modelo VANT pulverizador utilizado foi o DJI®Agras MG-1, que possui um conjunto de aplicação com 4 bicos de pulverização com largura de pulverização entre 3 e 6 metros.

O DJI®Agras MG-1 é uma aeronave de multirotor movida a bateria desenvolvida para aplicações agrícolas que pode trabalhar em uma variedade de ambientes e terrenos. O equipamento consegue fazer aplicações de defensivos agrícolas líquidos e fertilizantes sólidos, tendo capacidade de pulverizar até 6 hectares por hora. A capacidade total do tanque de operação é de 10 litros, que pode ser removido e recolocado facilmente (DJI, 2023).

Figura 1 – Visão geral do equipamento DJI AGRAS MG-1S



Fonte: Lucini (2022).

3.3 Tratamentos e delineamento experimental

Foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), sendo um fatorial duplo composto por seis tratamentos (três volumes de calda e duas pontas de pulverização), com quatro repetições, totalizando 24 parcelas. Os volumes de calda avaliados serão de 7,5 e 22,5 L ha⁻¹. As pontas de pulverização utilizadas serão da marca Teejet® de jato plano e cônico vazio nos modelos XR11001 e TXA8001, respectivamente. Cada parcela será composta de 960 m² (16 × 60 m).

3.4 Semeadura do milho e tratos culturais

Foi utilizado um híbrido de milho de ciclo precoce. A semeadura da cultura do milho foi realizada em outubro de 2023. Para a semeadura da cultura do milho utilizou-se uma semeadora-adubadora de plantio direto, marca Vence Tudo®, modelo SM7040, com dosador de sementes do tipo mecânico (disco horizontal), com sete linhas de plantio, espaçadas a 0,45 metros entrelinhas. A regulagem da máquina foi realizada visando obter uma população final de 60.000 plantas por hectare. Para tracionar a semeadora-adubadora será utilizado um trator New Holland®, modelo TL85E, 4x2 Tração Dianteira Auxiliar (TDA), com potência máxima de 78 cv, com rodado de pneus.

As adubações de base e de cobertura foram realizadas, considerando a análise de solo previamente realizada e a estimativa de produtividade do milho de 12.000 kg ha⁻¹. Os tratos culturais serão realizados conforme as recomendações técnicas para a cultura do milho.

3.5 Condução do ensaio de pulverização

O VANT trabalhou a uma altura de voo de 2,5 metros acima do dossel da cultura do milho com velocidade, vazão e pressão de trabalho diferentes para cada tipo de ponta e taxas de aplicação usados, conforme a Tabela 1. O VANT foi controlado remotamente de forma automática e durante o experimento, foi isolado e monitorado o tráfego de pessoas e veículos em um raio lateral de no mínimo 100 m do local.

Tabela 1 – Relação de velocidade de voo, vazão e pressão para cada tipo de ponta hidráulica e volume de calda. UTFPR *Campus* Pato Branco, 2024.

XR11001				TXA8001			
Volume de calda (L ha ⁻¹)	Velocidade de voo (km h ⁻¹)	Vazão (L min ⁻¹)	Pressão (bar)	Volume calda (L ha ⁻¹)	Velocidade de voo (km h ⁻¹)	Vazão (L min ⁻¹)	Pressão (bar)
7,5	25,2	0,315	2,0	7,5	25,2	0,315	1,8
15	16,0	0,400	3,2	15	18,0	0,450	4,0
22,5	10,7	0,400	3,2	22,5	12,0	0,450	4,0

Fonte: Autoria Própria (2024)

3.5.1 Disposição e análise dos papéis hidrossensíveis

Foram utilizados papéis hidrossensíveis da marca Syngenta® (SYN7626), medindo 26 x 76 mm. Foram colocados 3 papéis hidrossensíveis em cada altura da planta (terço superior, médio e inferior), sendo avaliadas 4 plantas em cada parcela, totalizando 12 papéis hidrossensíveis para cada avaliação de volume de calda versus modelo de ponta de pulverização e repetição. Os papéis hidrossensíveis foram fixados em hastes de metal, posicionadas ao lado da planta de milho (Figura 2).

Figura 2 – Disposição dos papéis hidrossensíveis fixados em haste de metal simulando os terços superior, médio e inferior da cultura do milho.



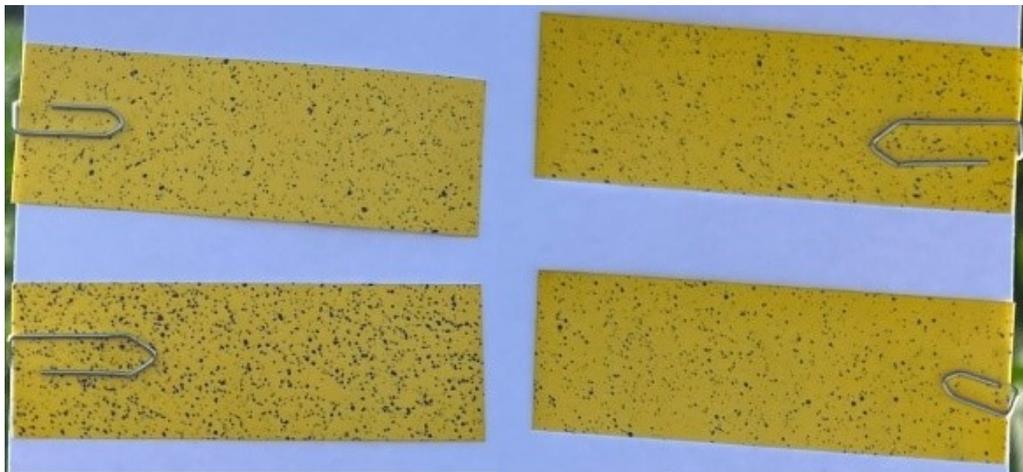
Fonte: Aatoria Propria (2023).

A qualidade da aplicação foi analisada através da deposição das gotas em papéis hidrossensíveis, que foram posicionados em três níveis horizontais em hastes de metal, simulando as plantas de milho nos terços superior, médio e inferior, avaliou-se a penetração da calda e a deposição do produto nas folhas pelo método de análise de imagem dos papéis hidrossensíveis.. As aplicações foram feitas simulando a aplicação de defensivos agrícolas na cultura do

milho, aos 80 dias após a emergência das plantas (DAE), com o milho em estágio vegetativo VT (pendoamento).

Após as pulverizações, os papéis hidrossensíveis foram levados ao laboratório para avaliação (Figura 3). Em seguida, os papéis foram digitalizados em uma impressora/scanner de alta resolução (600 dpi) e as imagens das amostras foram salvas no formato “bmp”. Posteriormente, as imagens foram analisadas por meio do programa computacional DepositScan®, específico para a análise do espectro de gotas e da deposição de defensivos agrícolas (Zhu; Salyani; Fox, 2011).

Figura 3 – Disposição dos papéis hidrossensíveis fixados em haste de metal simulando os terços superior, médio e inferior da cultura do milho.



Fonte: Autoria Propria (2023).

3.5.2 Parâmetros dos espectros de gotas e cobertura dos alvos avaliados

O espectro de gotas pulverizadas foi avaliado por meio do Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV, μm), densidade de gotas (gotas por cm^2), amplitude relativa (Span), DV10, DV90, deposição da calda (L cm^{-2}), e, porcentagem de cobertura (%).

Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV, μm) é o definido como sendo o diâmetro da gota que divide o volume de pulverização em partes iguais. Dessa forma afirma que, a metade do volume pulverizado formará gotas com diâmetros maiores no DMV, assim como a outra metade formará gotas com diâmetros menores no DMV. Assim, a variação entre o diâmetro das gotas de uma aplicação determina o espectro de gotas, sendo que, quanto mais baixa for essa amplitude do diâmetro das gotas, maior será a chance de atingir uma pulverização homogênea (Veliz; Vásquez-Castro, 2010). Nesse sentido, Baesso *et al.* (2014) afirmam que o tipo de bico e pressão de trabalho interferem diretamente nesses valores.

A amplitude relativa ao diâmetro de gotas do jato aplicado (SPAN) é um parâmetro adimensional, usado para medir o espalhamento da aplicação, analisando a variação e a uniformidade do tamanho das gotas (Penido *et. al.*, 2019).

3.6 Determinação das condições ambientais

Foram monitoradas condições de velocidade do vento, temperatura do ar e umidade relativa do ar, utilizando o equipamento termo-higro-anemômetro digital - KR825, marca Akrom® (São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil). Durante a aplicação dos tratamentos, as condições climáticas eram as seguintes: velocidade do vento estava a 2 m/s; umidade relativa do ar estava em 74%; temperatura era de 26,4 °C.

3.7 Análise estatísticas dos dados

Os dados serão submetidos ao teste F da análise de variância (ANOVA) e, quando significativo ($P \leq 0,05$), as médias das pontas de pulverização serão comparadas pelo teste de Tukey. Para o fator volumes de calda, será adotada a análise de regressão polinomial, sendo os modelos selecionados, pelo critério de maior R^2 e a significância ($P \leq 0,05$) dos parâmetros da equação, utilizando o programa estatístico Genes (Cruz, 2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados indicam que tanto os volumes de calda quanto o tipo de ponta de pulverização tiveram efeitos significativos em várias das variáveis estudadas (Tabela 2). Para o DMV, não houve diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade de erro para nenhum dos fatores utilizados. A densidade de gotas mostrou-se significativa para as taxas de aplicação e para o tipo de ponta de pulverização nos três terços da planta (inferior, médio e superior).

Para a deposição da calda, houve influência significativa dos volumes de calda apenas no terço superior da planta. Já as pontas de pulverização influenciaram os três terços da planta (inferior, médio e superior). A interação entre volume de calda e ponta de pulverização foi significativa para densidade de gotas e deposição da calda, somente no terço médio da planta.

Tabela 2 – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios (QM) do efeito dos volumes de aplicação e das pontas de pulverização no espectro de gotas geradas por um drone pulverizador na cultura do milho. UTFPR - *Campus* Pato Branco, 2024.

FV	GL	DMV (μm)	QM						Span	Cobertura (%)
			Densidade (gotas cm^{-2})			Deposição de calda (L cm^{-2})				
			Terço inferior	Terço médio	Terço superior	Terço inferior	Terço médio	Terço superior		
Volume (V)	2	369,29 ^{ns}	716,89*	600,53*	357,05*	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,06*	0,01 ^{ns}	22,56*
Ponta (P)	1	181,50 ^{ns}	3901,50*	1501,00*	254,15*	0,21*	0,11*	0,36*	0,12*	124,58*
V xP	2	740,38 ^{ns}	1,42 ^{ns}	473,00*	5,05 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,04*	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	3,45 ^{ns}
Bloco	3	163,89	74,92	2,95	14,78	0,03	0,02	0,01	0,01	4,59
Erro	15	261,66	83,52	12,10	21,90	0,02	0,01	0,01	0,01	1,64
Média	–	209,67	80,87	87,71	106,51	0,487	0,401	0,619	0,82	23,94
CV (%)	–	7,71	11,30	3,97	3,39	34,44	21,87	76,70	7,82	5,34

*: Significativo a 5% de probabilidade de erro. ns: Não significativo em nível de 5% de probabilidade de erro. DMV: diâmetro médio volumétrico. Span: Amplitude relativa (adimensional).

Fonte: Autoria Própria (2024)

4.1 Diâmetro médio Volumétrico (DMV)

Na Tabela 3, pode-se observar que não houve efeito significativo dos volumes de aplicação e das pontas de pulverização no DMV, cujo valor médio foi de 209,67 μm , o que pode estar relacionado ao tipo de ponta utilizada, que conferem vazão semelhante, quando submetidas à mesma pressão de trabalho.

Esses resultados foram semelhantes aos obtidos nos ensaios de Carlesso e Bariviera (2022) que utilizaram aplicação com drones e pressão de trabalho ajustadas automaticamente com as pontas hidráulicas XR11001 e TT11001, onde os valores de DMV não diferenciaram estatisticamente entre si.

O DMV, com valor médio de 209,67 μm , indica a formação de gotas finas, que está muito próxima da faixa ideal para a aplicação de caldas de inseticidas. Esta faixa, que varia de 70 a 150 μm , é crucial para garantir a eficácia do inseticida, pois gotas nessa dimensão têm o poder de proporcionar uma cobertura uniforme e penetrar eficazmente nas áreas alvo. Portanto, os resultados indicam um bom desempenho do drone pulverizador, analisando esses parâmetros (Alves; Oliveira; Icuma, 2001).

Tabela 3 – Efeito do volume de calda e das pontas hidráulicas no diâmetro médio volumétrico (DMV – μm) no terço médio das plantas de milho. UTFPR - *Campus* Pato Branco, 2024.

Pontas	DMV (μm)
XR 11001	212,42 a
TXA 8001	206,92 a
Volume de calda (L ha^{-1})	
7,5	206,13 a
15	207,50 a
22,5	205,38 a

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na linha, e a mesma letra maiúscula na coluna, diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro. *: Significativo ao nível de 5% ($P < 0,05$). ns: Não significativo ao nível de 5% ($P > 0,05$).

Fonte: Autoria Própria (2024)

O diâmetro médio volumétrico (DMV) é um parâmetro crucial na pulverização, influenciando diretamente na eficácia do produto aplicado. Para garantir uma aplicação eficiente e segura de inseticidas, segundo Alves, Oliveira e Icuma (2001), o DMV ideal deve se encontrar na faixa de 70 a 150 micrômetros.

4.2 Densidade de gotas

Para a densidade de gotas, nota-se efeito significativos das pontas de pulverização e dos volumes de aplicação nos terços inferior e superior das plantas (Tabela 4). A ponta hidráulica de jato cônico (TXA 8001) proporcionou maior densidade de gotas quando comparada com o jato plano (XR 11001) tanto no terço inferior quanto no terço superior da planta.

Para os valores de volume de calda (L ha^{-1}), nota-se que o volume de $7,5 \text{ L ha}^{-1}$ proporcionou densidade de gotas estatisticamente inferior aos volumes de 15 e $22,5 \text{ L ha}^{-1}$, que não diferiram entre si. Esse resultado é importante, pois de acordo com Santos (2003), uma deposição ideal de gotas varia entre 40 a 60 gotas por cm^2 . Alcançar essa faixa de deposição é crucial para garantir a eficácia do tratamento com inseticidas. Os resultados obtidos mostram que a aplicação de inseticidas pode ser recomendada utilizando drones, uma vez que essa ferramenta foi capaz de atingir os níveis recomendados de deposição de gotas.

Tabela 4 – Efeito do volume de calda e pontas hidráulicas na densidade de gotas (gotas cm^{-2}) nos terços inferior e superior das plantas de milho. UTFPR - Campus Pato Branco, 2024.

Pontas	Terço inferior	Terço superior
XR 11001	68,12 b	103,25 b
TXA 8001	93,62 a	109,76 a
Volume de calda (L ha^{-1})		
7,5	69,99 b	98,85 b
15	85,39 a	109,50 a
22,5	87,23 a	111,16 a

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na linha, e a mesma letra maiúscula na coluna, diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro. *: Significativo ao nível de 5% ($P < 0,05$). ns: Não significativo ao nível de 5% ($P > 0,05$).

Fonte: Autoria Própria (2024)

Na Tabela 5, observa-se que no terço médio da planta, o uso da ponta XR 11001 com volumes de aplicação de 7,5 e 15 L ha^{-1} não diferiram estatisticamente entre si, porém diferem do volume de calda de 22,5 L ha^{-1} . Já, utilizando a ponta TXA 8001, não houve diferenças significativas entre os volumes de aplicação, no terço médio das plantas de milho.

Observa-se também que o tipo de ponta tem interferência direta na densidade de gotas no terço médio das plantas de milho, nos volumes de aplicação de 7,5 e 15 L ha^{-1} , com a ponta TXA 8001, proporcionando maior densidade de gotas em relação à XR 11001. Já, com 22,5 L ha^{-1} os tipos de ponta hidráulica não obtiveram diferença estatística significativa entre si.

Tabela 5 – Efeito do volume de calda e pontas hidráulicas na densidade de gotas (gotas cm^{-2}) no terço médio das plantas de milho. UTFPR - Campus Pato Branco, 2024.

Ponta	Volume de calda (L ha^{-1})		
	7,5	15	22,5
XR 11001	68,7 Bb	72,1 Bb	98,6 Aa
TXA 8001	95,8 Aa	94,2 Aa	96,9 Aa

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na linha, e a mesma letra maiúscula na coluna, diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro. *: Significativo ao nível de 5% ($P < 0,05$). ns: Não significativo ao nível de 5% ($P > 0,05$).

Fonte: Autoria Própria (2024)

Em seus estudos, Alvarenga *et al.* (2024) observaram que a quantidade de gotas capturadas no papel hidrossensível foi afetada pela interação entre a volume de calda e os diferentes tipos de pontas hidráulicas nas partes inferior e média da copa. Na parte inferior da copa, a aplicação de 12 L ha^{-1} usando a ponta TT 11001 resultou na maior densidade de gotas. Isso demonstra que tanto a volume de calda quanto o tipo de ponta escolhida podem influenciar de forma significativa a distribuição e densidade das gotas, sendo essencial considerar esses fatores para otimizar a pulverização e a eficiência do tratamento.

Conforme observado por Pereira *et al.* (2024), a densidade de gotas foi maior nas posições médias e superiores, e não diferiu estatisticamente a densidade de gotas quando usadas taxas de aplicações de 11 e 15 L ha^{-1} . Afirmam também, que no terço inferior à densidade de

gotas não variou significativamente em função do volume aplicado e também notaram que nos terços médio e superior a maior densidade de gotas se obteve com aplicações de 11 L ha^{-1} .

Para garantir o controle eficaz de pragas na agricultura, a aplicação eficiente de inseticidas é crucial. No caso de formulações líquidas diluídas em água, um aspecto fundamental para o sucesso da aplicação reside na distribuição uniforme das gotas do produto. Atingir uma densidade mínima de 20 gotas por centímetro quadrado (gotas/cm^2) é considerado o padrão ideal para assegurar cobertura adequada e maximizar os resultados do tratamento (Alves; Oliveira; Icumá, 2001).

4.3 Deposição de calda

Na Tabela 6, os valores de deposição de calda para pontas hidráulicas no terço inferior e superior diferiram estatisticamente, indicando diferença de deposição de calda entre as duas pontas hidráulicas, com a ponta TXA 8001 apresentando maiores valores. Já, para os valores de volume de calda, no terço inferior não houve diferença significativa, entretanto, no terço superior os volumes aplicação de 15 e $22,5 \text{ L ha}^{-1}$ diferiram entre si. O volume de calda de $7,5 \text{ L ha}^{-1}$ não apresentou diferença significativa quando comparado com os volumes de 15 e $22,5 \text{ L ha}^{-1}$.

No terço inferior das plantas de milho, a deposição de calda foi similar ao se utilizar tanto $7,5$ quanto $22,5 \text{ L ha}^{-1}$. Portanto, para essa situação, é mais eficiente optar pelo volume de $7,5 \text{ L ha}^{-1}$, já que isso aumenta o rendimento operacional sem comprometer a densidade de gotas. Além disso, em relação ao tipo de ponta a ser utilizada, a ponta TXA é preferível, pois proporciona um maior molhamento da planta, otimizando a cobertura e a eficácia da aplicação.

No estudo realizado por Bueno *et al.* (2013) o resultado foi similar, foram examinados os efeitos das aplicações aéreas e terrestres com diferentes volumes de calda nas folhas inferiores e superiores das plantas de batata. Os resultados indicaram que nas aplicações aéreas, para as folhas inferiores, tanto as aplicações com 15 L ha^{-1} quanto as com 30 L ha^{-1} apresentaram uma deposição de calda similar. No entanto, ao avaliar as folhas superiores, foi observado que a aplicação com 30 L ha^{-1} resultou em uma deposição de calda maior em comparação com a aplicação de 15 L ha^{-1} .

Tabela 6 – Efeito do volume de calda e das pontas hidráulicas na deposição da calda ($\mu\text{L cm}^{-2}$) nos terços inferior e superior das plantas de milho. UTFPR - *Campus* Pato Branco, 2024.

Ponta	Terço inferior	Terço superior
XR 11001	0,276 b	0,497 b
TXA 8001	0,530 a	0,741 a
Volume de calda (L ha^{-1})		
7,5	0,326 a	0,600 ab
15	0,435 a	0,542 b
22,5	0,449 a	0,716 a

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na linha, e a mesma letra maiúscula na coluna, diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro. *: Significativo ao nível de 5% ($P < 0,05$). ns: Não significativo ao nível de 5% ($P > 0,05$).

Fonte: Aatoria Própria (2024)

Na Tabela 7, analisando a deposição de calda no terço médio da planta, observa-se que com a ponta XR 11001 os volumes de aplicação de 7,5 e 15 L ha^{-1} não diferem estatisticamente entre si, porém, diferem do volume de 22,5 L ha^{-1} , que proporcionou o maior valor de deposição de calda na planta. Já, utilizando a ponta TXA 8001 os volumes de aplicação não diferiram entre si na deposição da calda, no terço médio das plantas de milho.

Os tipos de ponta hidráulica têm interferência direta deposição da calda no terço médio das plantas de milho, nos volumes de aplicação de 7,5 e 15 L ha^{-1} , entretanto com 22,5 L ha^{-1} de volume de calda os tipos de ponta hidráulica não obtiveram diferença estatística significativa.

Segundo Alvarenga *et al.* (2024), pontas que geram maior número de gotas sob condições meteorológicas favoráveis e com a volume de calda ideal, proporcionam maior deposição de gotas. No entanto, a taxa de deposição não deve ser o único critério para garantir a segurança e a eficiência das aplicações em boas práticas de agricultura.

Tabela 7 – Efeito do volume de calda e das pontas hidráulicas na deposição da calda ($\mu\text{L cm}^{-2}$) no terço médio no dossel das plantas de milho. UTFPR - *Campus* Pato Branco, 2024.

Ponta	Volume de calda (L ha^{-1})		
	7,5	15	22,5
XR 11001	0,258 Bb	0,312 Bab	0,431 Aa
TXA 8001	0,515 Aa	0,490 Aa	0,401 Aa

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na linha, e a mesma letra maiúscula na coluna, diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro. *: Significativo ao nível de 5% ($P < 0,05$). ns: Não significativo ao nível de 5% ($P > 0,05$).

Fonte: Aatoria Própria (2024)

No combate a doenças nas lavouras, a deposição de gotas do inseticida deve superar 80 gotas por centímetro quadrado (gotas cm^{-2}). Esse é o nível ideal para garantir a cobertura completa da planta e o controle eficaz das enfermidades. Para insetos, o padrão mínimo recomendado é de 40 gotas cm^{-2} . Se, durante a aplicação, a deposição média for inferior a esses

valores, seja para insetos ou doenças, ajustes no pulverizador são necessários (Alves; Oliveira; Icuma, 2001).

4.4 Amplitude relativa (Span)

Ao examinar a Tabela 8, nota-se uma variação significativa na amplitude relativa entre as duas pontas hidráulicas avaliadas. Especificamente, a ponta XR 11001 registrou o menor valor de amplitude relativa, indicando uma maior homogeneidade nos diâmetros das gotas pulverizadas quando esta ponta é utilizada. Conforme as observações de Alves, Oliveira e Icuma (2001), quanto menor o valor do Span, mais uniforme será o tamanho das gotas pulverizadas. Nesse contexto, destaca-se que a ponta hidráulica TXA 8001 demonstrou uma menor homogeneidade (Tabela 8).

Ao analisar as taxas de aplicação, constatou-se que as taxas de 7,5, 15 e 22,5 L ha⁻¹ não resultaram em diferenças significativas na amplitude relativa (Span).

Tabela 8 – Efeito das pontas hidráulicas e do volume de calda na amplitude relativa (Span) no terço médio das plantas de milho. UTFPR - Campus Pato Branco, 2024.

Ponta	Span
XR 11001	0,75 b
TXA 8001	0,89 a
Volume de calda (L ha⁻¹)	
7,5	0,78 a
15	0,82 a
22,5	0,85 a

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na linha, e a mesma letra maiúscula na coluna, diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro. *: significativo ao nível de 5% (P<0,05). ns: Não significativo ao nível de 5% (P>0,05).

Fonte: Autoria Própria (2024)

Alvarenga *et al.* (2024), verificaram nos seus estudos que a ponta XR 11001 foi destaque em espectro de gotas uniformes quando comparada com outros três tipos de pontas hidráulicas com amplitude relativa de 0,7.

Segundo Bayer *et al.* (2012), quando os valores de amplitude relativa ultrapassam 1,4, isso sugere a produção de gotas grosseiras. Portanto, gotículas finas estão correlacionadas com uma penetração mais eficaz no dossel vegetal, visto que oferecem uma cobertura mais abrangente em relação às gotículas de maior espessura.

Segundo Alves, Oliveira e Icuma (2001) para uma boa qualidade de aplicação é necessário que a amplitude Span fique o mais próximo possível de 1. Neste trabalho, foi apresentado que o melhor valor para amplitude foi vou encontrado na ponta XR 11001.

4.5 Porcentagem de cobertura

Na Tabela 9, mostra a porcentagem de cobertura no terço médio das plantas de milho. Avaliando as pontas hidráulicas, obteve-se diferença significativa entre elas, sendo que a que formou maior porcentagem de cobertura foi a ponta hidráulica TXA 8001 de jato cônico.

Avaliando os volumes de aplicação nota-se que os volumes de 7,5 e 15 L ha⁻¹, não obtiveram diferença estatística significativa entre si na porcentagem de cobertura, porém, o volume de calda de 22,5 L ha⁻¹ proporcionou a maior cobertura nos testes e diferiu estatisticamente dos volumes de aplicação de 7,5 e 15 L ha⁻¹.

Assim, é crucial destacar que uma cobertura mais ampla pode estar diretamente relacionada a uma aplicação mais eficaz do defensivo agrícola. No entanto, é importante considerar que as doses dos defensivos são ajustadas de acordo com cada volume de calda. Isso significa que é natural esperar uma cobertura menor com volumes de aplicação mais baixos. Portanto, torna-se necessário ajustar o volume de calda para garantir tanto o rendimento operacional quanto a efetividade da aplicação.

Tabela 9 – Efeito das pontas hidráulicas e do volume de calda na porcentagem de cobertura no terço médio das plantas de milho. UTFPR - *Campus* Pato Branco, 2024.

Ponta	Cobertura(%)
XR 11001	21,67 b
TXA 8001	26,22 a
Volume de calda (L ha⁻¹)	Cobertura(%)
7,5	22,78 b
15	23,18 b
22,5	25,87 a

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na linha, e a mesma letra maiúscula na coluna, diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro. *: significativo ao nível de 5% (P<0,05). ns: Não significativo ao nível de 5% (P>0,05).

Fonte: Autoria Própria (2024)

Pereira *et al.* (2024), em seus ensaios, observaram que os volumes de 11 L ha⁻¹ apresentaram melhor cobertura de gotas no terço médios das plantas, porém não diferiu estatisticamente de 15 L ha⁻¹. Já, Alvarenga *et al.* (2024) observaram que a volume de calda de 12 L ha⁻¹ não diferiu estatisticamente das aplicações de 8 e 16 L ha⁻¹. Além disso, obteve um resultado semelhante utilizando a ponta XR 11001, com 22% de cobertura.

Em pulverizações aéreas, para garantir uma distribuição uniforme do inseticida e alcançar o controle ideal de pragas e doenças, a cobertura do alvo deve ser inferior a 25% (Silva, 2021). Isso garante que o produto seja aplicado de forma homogênea na área desejada, evitando desperdícios e maximizando a eficácia do tratamento.

O presente trabalho demonstrou que a aplicação de inseticidas por drones, independentemente da ponta de pulverização ou do volume de calda utilizados, atende com ao requisito de cobertura homogênea, com valores inferiores a 25%.

5 CONCLUSÕES

A ponta hidráulica TXA 8001 proporcionou melhor desempenho nos quesitos cobertura (%), densidade de gotas e amplitude relativa (Span), resultando gotas mais homogêneas.

O volume de calda de 22,5 L ha⁻¹, proporcionou a maiores taxas de cobertura e densidade de gotas. No entanto, o volume de calda de 15 L ha⁻¹, também apresentou boa qualidade de aplicação, podendo ser utilizado, visto que necessita de menos paradas para reabastecimento do drone.

O drone pulverizador apresenta potencial significativo de uso na modernização da agricultura, desde que acompanhado de práticas adequadas de manejo e regulação dos equipamentos.

REFERÊNCIAS

- ADEGAS, F. S.; GAZZIERO, D. Tecnologia de aplicação de agrotóxicos. In: SEIXAS, CDS; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, AA; KRZYZANOWSKI, FC; LEITE . . . , 2020.
- ALTHMAN, M. P. F. Avaliação da faixa de deposição em função do modelo de aeronave e volume de calda aplicado. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2021.
- ALVARENGA, C. B. d. *et al.* Application rate and hydraulic tips used in remotely piloted aircraft affect the phytosanitary products in coffee plant canopies. **Acta Scientiarum. Agronomy**, SciELO Brasil, v. 46, p. e62969, 2024.
- ALVES, R. T.; OLIVEIRA, M. A. S.; ICUMA, I. M. Técnicas de aplicação de inseticidas com pulverizadores costais manuais e motorizados. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001., 2001.
- AMLER, D. A. *et al.* Deposição de calda na cultura da cebola e no solo em função da ponta de pulverização e da pressão de trabalho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 20, n. 2, p. 142–148, 2021.
- ANAC. **Regras da ANAC para uso de drones entram em vigor**. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor>. Acesso em: 2024-05-01.
- BAESSO, M. M. *et al.* Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. **Revista Ceres**, Universidade Federal de Viçosa, v. 61, p. 780–78, Nov 2014. ISSN 0034-737X. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000003>. Acesso em: 2024-05-01.
- BAYER, T. *et al.* Aplicação aérea de fungicidas na cultura do arroz irrigado com diferentes bicos de pulverização. **Ciência Rural**, SciELO Brasil, v. 42, p. 2185–2191, 2012.
- BIANCHI, E. Deposição de gotas na cultura do trigo: comparação entre a aplicação com drones versus aplicação tratorizada. Universidade Federal da Fronteira Sul, 2022.
- BUENO, M. *et al.* Volumes de calda e adjuvante no controle de plantas daninhas com glyphosate. **Planta Daninha**, SciELO Brasil, v. 31, p. 705–713, 2013.
- CARLESSO, J. A.; BARIVIERA, R. Avaliação da qualidade de pulverização com drones, utilizando diferentes vazões, velocidades e faixa de aplicação. 2022.
- CHAIN, A. História da pulverização. **Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente**, 1999.
- CHECHETTO, R. G. *et al.* **Espectro E Classes de tamanho de gotas: O que é preciso saber e como interpretar resultados**. 2018. Disponível em: <https://www.upherb.com.br/int/espectro-e-classes-de-tamanho-de-gotas-o-que-e-preciso-saber-e-como-interpretar-resultados>. Acesso em: 2024-05-01.
- CONAB. **Conab**. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 2024-05-01.
- CONTIERO, R. L.; BIFFE, D. F.; CATAPAN, V. Tecnologia de aplicação. **BRANDÃO FILHO, JUT; FREITAS, PSL; BERIAN, LOS; GOTO, R.. Hortaliças-frutos**. Maringá: Eduem, p. 401–449, 2018.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes: versão Windows; aplicativo computacional em genética e estatística**. [S.l.]: Viçosa: UFV, 648 p., 2013.

- CUNHA, J.; JULIATTI, F. C.; REIS, E. d. Tecnologia de aplicação de fungicida no controle da ferrugem asiática da soja: resultados de oito anos de estudos em minas gerais e goiás. **Bioscience Journal**, Universidade Federal de Uberlândia, v. 30, n. 4, p. 950–957, 2014.
- CUNHA, J. P. A. R. d. *et al.* Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, SciELO Brasil, v. 39, p. 977–985, 2004.
- DJI. **Agras T40**. 2023. Disponível em: <https://www.dji.com/br/t40>. Acesso em: 15 maio 2023.
- DUARTE, J. d. O.; MATTOSO, M. J.; GARCIA, J. C. **Importância Socioeconômica - Portal Embrapa**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica#:~:text=A%20import%C3%A2ncia%20econ%C3%B4mica%20do%20milho>. Acesso em: 2024-05-12.
- FAO. **Faostat**. 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 15 maio 2023.
- FERREIRA, J. P. Características agronômicas do milho sob diferentes arranjos espaciais e densidades de plantas em região de cerrado. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2012.
- HAFEEZ, A. *et al.* Implementation of drone technology for farm monitoring & pesticide spraying: A review. **Information processing in Agriculture**, Elsevier, 2022.
- IBGE. **Sidra: banco de tabelas estatísticas**. 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/839>. Acesso em: 15 maio 2023.
- JORGE, L. d. C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (vants) em agricultura de precisão. In: BERNARDI, AC de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, AV de; BASSOI, LH; INAMASU . . . , 2014.
- LUCINI, N. **Deposição de gotas em função da altura de voo de um ARP pulverizador e da resolução de escaneamento dos papéis hidrossensíveis**. 2022. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2022.
- MORAES, H. M. F. Aplicação de pesticidas com veículos aéreos não tripulados nas culturas de café, citros e feijão. Universidade Federal de Viçosa, 2022.
- OLIVEIRA, O. G. T. M. d. Influência do tamanho de gota nos depósitos da pulverização e controle de plantas daninhas com glifosato. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2020.
- PATHAK, H. *et al.* Use of drones in agriculture: Potentials, problems and policy needs. **ICAR-National Institute of Abiotic Stress Management**, p. 4–5, 2020.
- PENIDO, É. d. C. C. *et al.* Development and evaluation of a remotely controlled and monitored self-propelled sprayer in tomato crops. **Revista Ciência Agronômica**, SciELO Brasil, v. 50, p. 8–17, 2019.
- PEREIRA, C. *et al.* Eficiência da aplicação com uso de drone e pulverizador terrestre. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 3, p. e3025–e3025, 2024.
- RAJ, M. *et al.* A survey on the role of internet of things for adopting and promoting agriculture 4.0. **Journal of Network and Computer Applications**, Elsevier, v. 187, p. 103107, 2021.
- RIBEIRO, L. P. *et al.* Pragas e doenças do milho: diagnose, danos e estratégias de manejo. **Boletim Técnico**, p. 84–84, 2016.

SANTOS, J. Aplicação correta: eficiência, produtividade e baixo custo em culturas agrícolas. **Reunião itinerante de fitossanidade do instituto biológico**, v. 9, p. 69–113, 2003.

SCHLEMER, G. D. Deposição de defensivos agrícolas na cultura da soja: influência do volume de calda e modelos de ponta para aplicação com drone. Universidade Federal de Santa Maria, 2022.

SILVA, N. G. Deposição de calda na cultura da soja em função de pontas de pulverização e taxas de aplicação. Universidade Federal de Uberlândia, 2021.

VELIZ, R. C.; JR, C. D. G.; VÁSQUEZ-CASTRO, J. A. Eficiencia de dos sistemas para la aspersión de plaguicidas en árboles de cítricos. **Revista Colombiana de Entomología**, Sociedad Colombiana de Entomología, v. 36, n. 2, p. 217–222, 2010.

ZHU, H.; SALYANI, M.; FOX, R. D. A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution. **Computers and Electronics in Agriculture**, Elsevier, v. 76, n. 1, p. 38–43, 2011.