

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

MARIA EDUARDA BUENO DE GODOI MOURA

PARÂMETROS DA PULVERIZAÇÃO NA FAIXA DE DISTRIBUIÇÃO COM VANT
UTILIZANDO DIFERENTES TAMANHOS DE GOTAS

MARIA EDUARDA BUENO DE GODOI MOURA

PARÂMETROS DA PULVERIZAÇÃO NA FAIXA DE DISTRIBUIÇÃO COM VANT
UTILIZANDO DIFERENTES TAMANHOS DE GOTAS

Dissertação apresentada para obtenção de título de
mestre na Universidade Estadual de Ponta Grossa, na
área de Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Cláudio Garcia.
Coorientador: Prof. Dr. Walter Boller.

PONTA GROSSA
2025

M929 Moura, Maria Eduarda Bueno de Godoi
 Parâmetros da pulverização na faixa de distribuição com VANT utilizando
 diferentes tamanhos de gotas / Maria Eduarda Bueno de Godoi Moura. Ponta
 Grossa, 2025.
 69 f.

 Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de Concentração: Fitotecnia e
 Fitossanidade), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

 Orientador: Prof. Dr. Luiz Claudio Garcia.

 Coorientador: Prof. Dr. Walter Boller.

 1. Agricultura de precisão. 2. Amplitude relativa (span). 3. Drone. 4.
 Tecnologia de aplicação. I. Garcia, Luiz Claudio. II. Boller, Walter. III.
 Universidade Estadual de Ponta Grossa. Fitotecnia e Fitossanidade. IV.T.

 CDD: 630

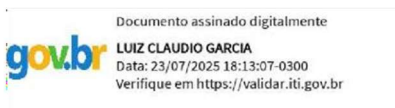


MARIA EDUARDA BUENO DE GODOI MOURA

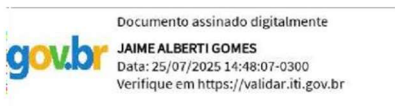
**“PARÂMETROS DA PULVERIZAÇÃO NA FAIXA DE DISTRIBUIÇÃO COM VANT UTILIZANDO
DIFERENTES TAMANHOS DE GOTAS”**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Agronomia na Universidade Estadual de
Ponta Grossa, Área Fitotecnia e Fitossanidade.

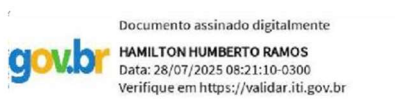
Ponta Grossa, 22 de julho de 2025.



Prof. Dr. Luiz Cláudio Garcia
Doutor em Agronomia
Universidade Estadual de Ponta Grossa



Prof. Dr. Jaime Alberti Gomes
Doutor em Engenharia Agrícola
Universidade Estadual de Ponta Grossa



Dr. Hamilton Humberto Ramos
Doutor em Agronomia
Instituto Agronômico de Campinas

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre ao meu lado, por me conceder saúde, força e sabedoria para concluir esta jornada, e por me abençoar em cada passo do caminho.

Aos meus pais, Tomaz e Claudimari, pelo amor incondicional, apoio em todas as minhas decisões e por sempre acreditarem no meu potencial. Sem vocês, nada disso seria possível.

À minha família, pelo constante incentivo e apoio que me permitiram concluir esta etapa com dedicação. Ao meu namorado Guilherme e à sua família, que estiveram presentes desde o início, oferecendo apoio e acolhimento ao longo de todo o processo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Cláudio Garcia, pela orientação, paciência, dedicação e pelos ensinamentos transmitidos ao longo desta caminhada. Ao meu coorientador, Prof. Dr. Walter Boller, pelo incentivo, disponibilidade e pelo tempo dedicado ao desenvolvimento deste trabalho.

À minha banca examinadora, composta pelos professores Dr. Hamilton Humberto e Dr. Jaime Alberti, agradeço pela disponibilidade em participar da defesa desta dissertação, bem como pelos valiosos apontamentos e sugestões de aprimoramento que certamente contribuíram para a qualidade deste trabalho.

Agradeço também aos colegas e amigos que o curso de Agronomia me proporcionou, e que, de alguma forma, contribuíram para o bom andamento e para a conclusão do mestrado. Agradeço em especial a Caroline Satelli e Heverton Melo que deixaram esta caminhada mais fácil e divertida.

Expresso minha gratidão à Universidade Estadual de Ponta Grossa pela oportunidade de realizar este mestrado em uma instituição pública, gratuita e de excelência.

A todos os professores do curso de Agronomia, que, durante esta etapa, compartilharam seus conhecimentos, contribuindo significativamente para meu crescimento pessoal e profissional.

Meus sinceros agradecimentos.

“Nada na vida deve ser temido, apenas compreendido. Agora é hora de compreender mais,
para que possamos temer menos.”
(Marie Curie)

RESUMO

MOURA, M. E. B. G. **Parâmetros da pulverização na faixa de distribuição com vant utilizando diferentes tamanhos de gotas.** Orientador: Luiz Cláudio Garcia. Ponta Grossa, 2025. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2025.

O objetivo com o experimento foi determinar a faixa de pulverização com veículo aéreo não tripulado (VANT) utilizando diferentes tamanhos de gotas. Os diâmetros medianos das gotas utilizados foram de 100, 200, 300, 400 e 500 μm . O delineamento experimental foi em blocos aleatorizados, com 15 tratamentos e 03 repetições. Os tratamentos consistiram em papéis hidrossensíveis espaçados em 1,0 m, ao longo de uma faixa de 14 m, dispostos em estruturas metálicas a 0,5 m do solo, para coletar os impactos de gotas geradas na pulverização. Considerou-se como parcela cada papel hidrossensível. O VANT utilizado foi o DJI™ Agras T40, munido de 02 bicos de pulverização rotativos LX8060SZ™, ajustado para distribuir um volume de calda de 10 L ha⁻¹, velocidade de 5,6 m s⁻¹ e altura de voo de 4,0 m acima do alvo. O experimento foi realizado na Fazenda Sementes Iberá, Ponta Grossa, PR. As variáveis analisadas em papéis hidrossensíveis pelo aparelho DropScope™ foram: porcentagem de área coberta, volume recuperado (L ha⁻¹), densidade (impactos de gotas cm⁻²), potencial de risco de deriva (% de gotas com diâmetro menor que 150 μm), diâmetro da gota com 10%, 50% e 90% do volume acumulado (DV_{0,1}, DV_{0,5} e DV_{0,9} μm), amplitude relativa (SPAN) e coeficiente de variação dos diâmetros (%). Concluiu-se que área coberta, volume recuperado, densidade de gotas e coeficiente de variação aumentaram nos amostradores centrais, especialmente com gotas maiores. O potencial de risco de deriva foi menor no centro e maior nas extremidades. Os maiores diâmetros ocorreram no centro. A faixa foi de 14 a 13 m para os tamanhos de gota de 100 a 200 μm e 13 a 12 m para gotas com acima de 300 μm . O SPAN indicou pulverização homogênea.

Palavras-chave: agricultura de precisão; amplitude relativa (SPAN); drone; tecnologia de aplicação.

ABSTRACT

MOURA, M. E. B. G. **Spraying parameters in the distribution range using UAV with different droplet sizes.** Supervisor: Luiz Cláudio Garcia. Ponta Grossa, 2025. Dissertation (Master in Agronomy) – State University of Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2025.

This study aimed to determine the spray distribution range using an unmanned aerial vehicle (UAV) with different droplet sizes. The volumetric median diameters (VMD) applied were 100, 200, 300, 400, and 500 μm . The experimental design consisted of randomized blocks with 15 treatments and 3 replications. Treatments were composed of water-sensitive papers spaced 1,0 m apart along a 14,0 m transect, mounted on metal structures at a height of 0,5 m above the ground, used to collect droplet impacts from the spraying. Each water-sensitive paper represented an experimental plot. The UAV used was the DJI™ Agras T40, equipped with two rotary spray nozzles (LX8060SZ™), calibrated to apply a spray volume of 10 L ha⁻¹ at a speed of 5,6 m s⁻¹ and a flight altitude of 4,0 m above the target. The experiment was conducted at Seeds Iberá Farm, in Ponta Grossa, Paraná, Brazil. The variables assessed using the DropScope™ device included: percentage of covered area, recovered volume (L ha⁻¹), droplet density (impacts cm⁻²), drift potential (percentage of droplets <150 μm), droplet diameters corresponding to 10%, 50%, and 90% of the accumulated volume (DV0,1; DV0,5; and DV0,9 μm), relative span (SPAN), and coefficient of variation of droplet sizes (%). Results showed that covered area, recovered volume, droplet density, and the coefficient of variation increased in the central collection zone, particularly with larger droplet sizes. Drift potential was lowest at the center and highest at the edges. The greatest droplet diameters were observed in the central region. The effective swath ranged from 14,0 to 13,0 m for 100 to 200 μm droplets, and from 13,0 to 12,0 m for droplets above 300 μm . The SPAN values indicated a homogeneous droplet distribution.

Keywords: precision agriculture; relative amplitude (SPAN); drone; application technology.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Croqui representativo do experimento conduzido com o VANT DJITM AGRAS T40 para avaliação da faixa de deposição, com três repetições (REP. A, REP. B e REP. C), cada uma contendo 15 papéis hidrossensíveis dispostos linearmente com espaçamento de 1,0 m entre eles, com deslocamento do VANT de forma transversal e centralizada, setembro de 2023 e 2024, Ponta Grossa – PR..... 35
- Figura 2 – Veículo aéreo não tripulado (VANT) DJI AGRAS T40TM, com capacidade de tanque de 40 litros, 08 rotores, munido da 02 pontas de pulverização rotativas LX8060 SZTM, utilizado no experimento sobre faixa de pulverização com diferentes tamanhos de gotas, setembro de 2023 e agosto 2024, Ponta Grossa – PR 36
- Figura 3 – Bico rotativo LX8060 SZTM com sistema duplo de pulverização atomizado..... 37
- Figura 4 - Porcentagem da área coberta dos impactos das gotas pulverizadas sobre papéis hidrossensíveis por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) sobre o oitavo amostrador, com altura de voo de 4,0 m do alvo, volume de calda de 10 L ha⁻¹, velocidade 5,6 m munido de duas pontas rotativas, variando o tamanho de gotas em micra (µm), 2023 e 2024, Ponta Grossa – PR ($p < 0,05$) 39
- Figura 5 - Volume recuperado (L ha⁻¹) dos impactos das gotas pulverizadas sobre papéis hidrossensíveis por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) sobre o oitavo amostrador, com altura de voo de 4,0 m do alvo, volume de calda de 10 L ha⁻¹, velocidade 5,6 m s⁻¹, munido de duas pontas rotativas, variando o tamanho de gotas em micra (µm), 2023 e 2024, Ponta Grossa – PR ($p < 0,05$)..... 42
- Figura 6 - Densidade (impactos cm⁻²) das gotas pulverizadas sobre papéis hidrossensíveis por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) sobre o oitavo amostrador, com altura de voo de 4,0 m do alvo, volume de calda de 10 L ha⁻¹, velocidade 5,6 m s⁻¹, munido de duas pontas rotativas, variando o tamanho de gotas em micra (µm), 2023 e 2024, Ponta Grossa – PR ($p < 0,05$) 45
- Figura 7 - Potencial de risco de deriva (% de gotas com diâmetro menor que 150 micra) dos impactos das gotas pulverizadas sobre papéis hidrossensíveis por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) sobre o oitavo amostrador, com altura de voo de 4,0 m do alvo, volume de calda de 10 L ha⁻¹, velocidade 5,6 m s⁻¹, munido de duas pontas rotativas, variando o tamanho de gotas em micra (µm), 2023 e 2024, Ponta Grossa – PR ($p < 0,05$)..... 48
- Figura 8 – Diâmetro da gota com 10% do volume acumulado (DV_{0,1} µm) dos impactos das gotas pulverizadas sobre papéis hidrossensíveis por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) sobre o oitavo amostrador, com altura de voo de 4,0 m do alvo, volume de calda de 10 L ha⁻¹, velocidade 5,6 m s⁻¹, munido de duas pontas rotativas, variando o tamanho de gotas em micra (µm), 2023 e 2024, Ponta Grossa – PR ($p < 0,05$)..... 51
- Figura 9 – Diâmetro da gota com 50% do volume acumulado (DV_{0,5} µm) dos impactos das gotas pulverizadas sobre papéis hidrossensíveis por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) sobre o oitavo amostrador, com altura de voo de 4,0 m do alvo, volume de calda de 10 L ha⁻¹, velocidade 5,6 m s⁻¹, munido de duas pontas rotativas, variando o tamanho de gotas em micra (µm), 2023 e 2024, Ponta Grossa – PR ($p < 0,05$)..... 54

- Figura 10 – Diâmetro da gota com 90% do volume acumulado ($DV_{0,9}$ μm) dos impactos das gotas pulverizadas sobre papéis hidrossensíveis por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) sobre o oitavo amostrador, com altura de voo de 4,0 m do alvo, volume de calda de 10 L ha⁻¹, velocidade 5,6 m s⁻¹, munido de duas pontas rotativas, variando o tamanho de gotas em micra (μm), 2023 e 2024, Ponta Grossa – PR ($p < 0,05$)..... 56
- Figura 11 – Amplitude relativa (SPAN) dos impactos das gotas pulverizadas sobre papéis hidrossensíveis por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) sobre o oitavo amostrador, com altura de voo de 4,0 m do alvo, volume de calda de 10 L ha⁻¹, velocidade 5,6 m s⁻¹, munido de duas pontas rotativas, variando o tamanho de gotas em micra (μm), 2023 e 2024, Ponta Grossa – PR ($p < 0,05$)..... 58
- Figura 12 – Coeficiente de Variação (CV) dos diâmetros dos impactos das gotas pulverizadas sobre papéis hidrossensíveis por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) sobre o oitavo amostrador, com altura de voo de 4,0 m do alvo, volume de calda de 10 L ha⁻¹, velocidade 5,6 m s⁻¹, munido de duas pontas rotativas, variando o tamanho de gotas em micra (μm), 2023 e 2024, Ponta Grossa – PR ($p < 0,05$)..... 62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	AGRICULTURA	13
2.2	TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO	14
2.3	PULVERIZADORES.....	15
2.4	VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANT's).....	17
2.4.1	Definição De VANT	17
2.4.2	História	18
2.4.3	Legislação.....	19
2.4.4	Aplicações	20
2.4.4.1	Pulverização Agrícola	20
2.4.4.2	Tamanhos De Gotas E Faixa De Aplicação	21
2.5	QUALIDADE NA PULVERIZAÇÃO	23
2.5.1	Porcentagem De Área Coberta	23
2.5.2	Volume Recuperado	24
2.5.3	Densidade Dos Impactos De Gotas	26
2.5.4	Potencial De Risco De Deriva.....	27
2.5.5	Diâmetro Da Gota Com 10% Do Volume Acumulado	28
2.5.6	Diâmetro Da Gota Com 50% Do Volume Acumulado	29
2.5.7	Diâmetro Da Gota Com 90% Do Volume Acumulado	31
2.5.8	Amplitude Relativa	32
2.5.9	Coefficiente De Variação	33
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	PORCENTAGEM DE ÁREA COBERTA	38
4.2	VOLUME RECUPERADO	40
4.3	DENSIDADE DE IMPACTO DE GOTAS	43
4.4	POTENCIAL DE RISCO DE DERIVA	46
4.5	DIÂMETRO DA GOTA COM 10% DO VOLUME ACUMULADO.....	49
4.6	DIÂMETRO DA GOTA COM 50% DO VOLUME ACUMULADO.....	52
4.7	DIÂMETRO DA GOTA COM 90% DO VOLUME ACUMULADO.....	55
4.8	AMPLITUDE RELATIVA (SPAN)	57

4.9	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO.....	60
5	CONCLUSÕES	63
	REFERÊNCIAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

A agricultura definida por Malavolta (1989) como “a arte de modificar os ecossistemas, em termos econômicos e sem produzir danos irreversíveis”, passou por transformações significativas ao longo do tempo. Até meados do século XX a produção alimentícia era caracterizada por uma mecanização rústica e com pouco uso de tecnologias. Entretanto, devido aos avanços da modernidade para aumento de produtividade e sustentabilidade, as indústrias de máquinas agrícolas vem ofertando máquinas aplicadoras de produtos fitossanitários que variam desde pulverizadores manuais, estacionários, de tração humana, de tração animal, montados ou tracionados por tratores, autopropelidos, aeronaves agrícolas e mais recentemente veículos aéreos não tripulados (VANT), onde todos, no seu tempo, são exemplos de inovação e tecnologia para pulverização de produtos fitossanitários (Martini *et al.*, 2024; Viola; Mendes, 2022).

Diante dos fatores adversos encontrados para pulverização de produtos fitossanitários, a tecnologia de aplicação surgiu para garantir a correta colocação do produto no alvo, em quantidade adequada, de maneira eficiente e com o mínimo de contaminação possível (Matthews, 2008). No entanto, o sucesso da aplicação depende de alguns fatores, sendo o monitoramento adequado da lavoura imprescindível para a tomada de decisão. Assim, é necessário definir o alvo, o produto, o momento ideal de acordo com as condições do ambiente e selecionar o maquinário apropriado.

Os VANT's são apresentados em diversos modelos e finalidades (comerciais, corporativas, militares e experimentais), sendo que os mais utilizados na agricultura são os com múltiplos rotores pela facilidade operacional e pelo menor custo. Para uma aplicação de sucesso com alta qualidade e quantidade é necessário analisar algumas variáveis, como: porcentagem de área coberta, volume recuperado, densidade de gotas, coeficiente de variação, amplitude relativa e potencial de risco de deriva. A partir destas análises é possível determinar a faixa de deposição das gotas sobre a área (Luchetti *et al.*, 2019).

A faixa de pulverização muda de acordo com os desvios das trajetórias que as gotas podem sofrer devido ao vento, altura de voo, temperatura, tamanho de gotas e ação do giro das hélices (vórtice). Faixas de aplicação mais estreitas indicam redução da capacidade operacional pois serão necessárias mais passadas e manobras da aeronave para garantir a qualidade adequada dentro da área aplicada.

Dessa forma, antes de empregar novas tecnologias no campo, existe a demanda de uma série de experimentos para nortear as ações baseadas em dados científicos. A pulverização com VANT necessita de análise submetida ao rigor do método científico na diversidade que abrange o processo. Diante disso, objetivou-se determinar a faixa de pulverização com VANT utilizando diferentes tamanhos de gotas. Os diâmetros medianos das gotas regulados no VANT foram de 100, 200, 300, 400 e 500 μm .

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 AGRICULTURA

A agricultura, definida por Malavolta (1989) como “a arte de modificar os ecossistemas, em termos econômicos e sem produzir danos irreversíveis”, teve início há cerca de 10 mil anos com a domesticação das primeiras plantas. Essa prática foi fundamental para garantir a sobrevivência dos seres humanos, possibilitando o crescimento populacional e a transição do nomadismo para comunidades fixas, que mais tarde deram origem às cidades (Paternianni, 2001).

A princípio, a agricultura era baseada em tração animal e trabalho que era restrito em pequenas áreas devido à grande demanda de mão-de-obra. Este período foi denominado de Agricultura 1.0, que ocorreu em meados de 1920. Contudo, os avanços geraram uma maior tecnificação com fertilizantes, variedades melhoradas e maior área produtiva, além de boas práticas agrícolas e uso de produtos fitossanitários, foi definida como Agricultura 2.0 que abrangeu o período de 1920 a 1990 (Queiroz *et al.*, 2021). Foi uma época excepcional para o crescimento da agricultura e para o aumento da capacidade operacional dos maquinários (Molin; Amaral; Colaço *et al.*, 2015).

A Agricultura 3.0 foi marcada como a era eletrônica, com o início de desenvolvimento de sistemas como o GPS (Global Positioning System) e possuiu foco em precisão e gestão de fazendas (De Oliveira *et al.*, 2020). A agricultura de precisão colaborou para a obtenção de maiores produtividades com o uso de produtos fitossanitários de maneira precisa, reduzida e consciente. Devido a maior procura por precisão nas aplicações, foi determinada uma necessidade de introdução de maquinários adequados para redução de custos e desperdícios, com isso, surgiram os tratores com implementos ou os pulverizadores autopropelidos, também nomeados de automotrizas que garantiam maior segurança ao operador e maior capacidade operacional (Lamparelli, 2022).

De acordo com os inúmeros avanços tecnológicos, a agricultura digital prosperou e a partir da segunda década do século XXI a Agricultura 4.0 começou a entrar em foco com uma maior complexidade tecnológica que abrange sistemas agroindustriais mais intensos, robustos e tecnologicamente complexos, com a adoção de inteligência artificial, Internet das Coisas - IoT (como estufas inteligentes, monitoramento de gado e irrigação automatizada) e robôs autônomos, como os VANT's. Esse avanço reduz progressivamente a necessidade de mão de

obra, exigindo maior especialização e promovendo discussões sobre regulação, privacidade de dados e segurança dos sistemas. Nesse contexto, a Agricultura 4.0 é apontada como uma aliada na transição para modelos mais sustentáveis e de baixo carbono (Viola; Mendes, 2022)

A transformação e o avanço da tecnologia digital crescem de maneira rápida e sobre o objetivo principal de reduzir o uso de produtos fitossanitários e aumentar a produtividade de maneira eficiente e sustentável a fim de suprir a demanda alimentar mundial (Queiroz *et al.*, 2021). Dentre os fatores que limitam a produtividade estão a ocorrência de pragas, doenças e plantas daninhas. O manejo integrado de controle reúne uma série de estratégias para manter os organismos indesejados das lavouras com ação abaixo do dano econômico. Entre estas estratégias está a aplicação de produtos, cujo sucesso pode ser atingido com base nos preceitos da tecnologia de aplicação (Contiero; Biffe; Catapan, 2018).

2.2 TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO

Uma vez determinada à necessidade de uso do controle químico, deve-se buscar a qualidade do processo preconizado pela tecnologia de aplicação; definida como o emprego de todos os conhecimentos científicos que proporcionem a correta colocação do produto biologicamente ativo no alvo, em quantidade necessária, de forma econômica e com um mínimo de contaminação ambiental (Matthews, 2018). A tecnologia de aplicação envolve a distribuição de produtos sólidos, líquidos e gasosos. A pulverização é uma das modalidades da tecnologia de aplicação. Na pulverização com pontas hidráulicas o líquido é pressurizado em um circuito hidráulico até passar por um orifício restrito – a ponta de pulverização – que divide a calda em gotas (Carvalho; Cunha, 2019; Garcia *et al.*, 2024).

Esse processo exige atenção adicional ao maquinário utilizado, principalmente na escolha das pontas de pulverização, que devem produzir gotas uniformes, com diâmetros adequados ao controle eficiente do alvo, reduzindo o potencial de risco de deriva e contaminação ambiental, além de permitir o uso racional do volume de produto (Ferreira *et al.*, 2007). Com o aumento da preocupação com a poluição ambiental, cresce também a exigência por maior eficiência dos produtos fitossanitários que é atingida pelo o aumento de precisão da tecnologia de aplicação. A qualidade da aplicação é influenciada pelo tipo de ponta de pulverização utilizada (Gimenes *et al.*, 2012), sendo necessário considerar variáveis como o alvo biológico, o produto, o momento da aplicação, as condições ambientais e o maquinário utilizado. Quando essas variáveis não são consideradas, há comprometimento da eficiência; por

outro lado, sua interação adequada resulta na máxima eficiência do processo (Azevedo; Freire, 2006).

O alvo na tecnologia de aplicação pode ser classificado em biológico ou químico, sendo a correta definição desse elemento essencial para o sucesso do controle. O alvo biológico corresponde ao organismo ou estrutura que se deseja atingir, como insetos-praga, plantas daninhas, agentes fitopatogênicos (fungos, bactérias, vírus) ou ainda partes específicas da planta, como folhas, caule ou frutos (Contiero; Biffe; Catapan, 2018). Já o alvo químico está diretamente relacionado à escolha do produto, determinado em função do alvo biológico e do mecanismo de ação necessário, podendo ser de contato, sistêmico ou translaminar (Antuniassi; Boller, 2019). Dessa forma, compreender as características do alvo é fundamental, pois influencia diretamente na seleção dos produtos, nas estratégias de posicionamento das gotas, no espectro de gotas adequado e até na definição dos volumes de aplicação (Cunha; Silva, 2010).

O momento de aplicação é influenciado por variáveis como o estágio de desenvolvimento da planta ou cultura, o método de controle e as condições ambientais. Fatores meteorológicos, como temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, impactam diretamente na eficácia da aplicação. Altas temperaturas e baixa umidade, por exemplo, aumentam a evaporação das gotas, enquanto ventos fortes podem causar deriva. Por isso, recomenda-se que as aplicações sejam realizadas sob condições ideais: umidade relativa de no mínimo 55%, temperaturas abaixo de 30°C e ventos com velocidades entre 3 e 10 km h⁻¹ (Frazon; Corso, 2013).

Os maquinários para pulverização são variados e possuem o mesmo objetivo, produzir gotas onde o tamanho dependerá principalmente do tipo de bico ou ponta e pressão. Os bicos de pulverização podem ser classificados de acordo com a energia utilizada, como: os hidráulicos, pneumáticos, centrífugos, eletrostáticos e térmicos. Para uma boa aplicação é necessário realizar a escolha do maquinário ideal de acordo com o objetivo, realizar a adequação de forma a definir o tipo de ponta, espaçamento e direção das pontas, a velocidade de trabalho do maquinário e a cobertura sobre o alvo (Azevedo; Freire, 2006).

2.3 PULVERIZADORES

Pulverizadores são máquinas que pressurizam a calda em um circuito hidráulico, até que a ponta de pulverização divide a calda em gotas, responsáveis por transportar os

ingredientes ativos ao alvo. A escolha adequada do equipamento, assim como a regulação dos parâmetros operacionais, são fatores decisivos para a eficiência da tecnologia de aplicação. Tradicionalmente, a aplicação de produtos fitossanitários é realizada com pulverizadores terrestres, a maioria dos quais opera por meio de sistemas hidráulicos. Nesses sistemas, a calda é conduzida a partir da parte inferior do tanque, passa pelo filtro principal e chega à bomba, que a pressuriza e direciona até as pontas de pulverização, onde ocorre a geração das gotas (Matthews; Bateman; Miller, 2014).

Existem diversos tipos de pulverizadores, desde os mais simples, como os costais, até os mais avançados, como os pulverizadores aéreos não tripulados. As pontas de pulverização são definidas como o componente mais importante de um pulverizador, já que são responsáveis por determinar a vazão da calda através da distribuição uniforme do produto e pela formação de gotas de tamanho compatível com o objetivo da aplicação, além de definir o potencial de risco de deriva, densidade de gotas, ângulo do jato, vazão e faixa de pressão. A ponta é uma das peças que fazem parte do bico, que é formado por: capa, anel de vedação de borracha, filtro e ponta (Boller; Machry, 2007; Matthews, 2008; Schneider *et al.*, 2013).

Para garantir uniformidade na aplicação ao longo da faixa de cobertura, é necessário manter uma velocidade mínima do jato, obtida por meio de uma pressão adequada no líquido de pulverização. Para bicos hidráulicos, como as de jato plano, a pressão mínima recomendada é de 100 kPa, sendo 200 kPa a mais comum. Em modelos como os jatos cônicos, essa pressão pode variar entre 1.000 e 2.000 kPa, sem comprometer o desempenho. Outro fator determinante para a uniformidade é o ângulo de aspersão, que geralmente varia entre 80° e 110° para pontas hidráulicas, podendo chegar a 150° em alguns modelos. De modo geral, ângulos menores produzem gotas maiores, enquanto ângulos maiores geram gotas menores, considerando pontas com a mesma vazão (Antuniassi; Boller, 2019).

Além das pontas hidráulicas, destacam-se as pontas rotativas de disco, que operam em alta velocidade e fragmentam a calda em gotas. Esta tecnologia integra o conceito de CDA (Controlled Drop Application), amplamente utilizada, com o objetivo de aumentar a uniformidade do espectro de gotas. O princípio da CDA consiste em eliminar as gotas extremamente finas, que favorecem a deriva, e as extremamente grossas, que são perdidas por escorrimento, permitindo a seleção de tamanhos de gotas mais eficientes para cada tipo de aplicação. Uma pulverização eficaz depende diretamente da cobertura adequada da superfície-alvo, utilizando gotas com diâmetro compatível com o produto, o alvo e as condições operacionais (Oliveira; Ferreira; Roman, 2010).

Com o avanço da tecnologia, novas alternativas à pulverização terrestre têm sido incorporadas ao manejo agrícola de forma a permitir maior uniformidade de aplicação, destaca-se a pulverização aérea, que pode ser conceituada como a distribuição de gotas por aeronaves. As principais formas de aplicações aéreas utilizam aviões agrícolas, helicópteros agrícolas e VANTs. As principais vantagens da aplicação aérea são: capacidade operacional elevada, sem danificação da cultura a partir do deslocamento, capacidade de entrada do pulverizador em áreas íngremes e umidificadas pela precipitação. Porém, há grande influência das condições de clima pela distância do alvo (Matthews; Bateman; Miller, 2014; Ozeki, 2006).

A pulverização realizada com veículos aéreos não tripulados (VANTs) segue princípios semelhantes aos dos pulverizadores terrestres, iniciando-se pela avaliação do alvo e do estágio fenológico da cultura, seguida pela definição do tipo de ponta (as rotativas são comuns em pulverização aérea) e vazão adequada para a aplicação. O preparo da calda também obedece à ordem correta de adição dos produtos, conforme suas formulações e concentrações recomendadas. Contudo, destaca-se que os VANTs não são equipados com sistemas internos de agitação no tanque, exigindo maior atenção durante o preparo e manejo da calda para garantir sua homogeneidade. Além disso, a operação eficiente desses equipamentos requer a disponibilidade de informações georreferenciadas com alta precisão e velocidade compatível com o modelo utilizado (Hafeez *et al.*, 2022). Inseridos no contexto da agricultura moderna, os VANTs apresentam vantagens significativas, como a eliminação da compactação do solo, possibilidade de atuação em áreas de difícil acesso para maquinários terrestres e maior segurança operacional, uma vez que não exigem a presença de piloto embarcado (Luchetti, 2019).

2.4 VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANT's)

2.4.1 Definição De VANT

Os veículos aéreos não tripulados (VANT) são aeronaves que operam sem a presença de um piloto a bordo e possuem sinônimos como “unmanned aerial vehicle” (UAV) ou “remotely piloted aircraft” (RPA) ou “unmanned aircraft systems” (UAS). Podem ser chamados, de forma popular por drone, termo derivado do inglês “zangão”, em referência ao som produzido quando está em voo que se assemelha ao zumbido de uma abelha (DECEA, 2023).

VANT's são aeronaves que operam sem um piloto a bordo e podem ser controladas sob dois tipos de autonomias: controle remoto, em que é operado por um humano ou de forma autônoma, a partir do uso de computadores de bordo; ambos possuem ligação entre um sistema controlador terrestre e a aeronave. As aplicações variam conforme seu design, com três categorias principais: militar, industrial (empresarial) e comercial. As aeronaves agrícolas são classificadas como industriais que empregam sensores de IoT para monitorar o solo e otimizar os equipamentos operacionais na lavoura (Singh; Muthukrishnan; Sanpini, 2019). As aplicações deste VANT incluem monitoramento de áreas de preservação permanente, georreferenciamento, serviço de inteligência como softwares para gerenciamento agrícola, controle de produtos fitossanitários e irrigação, avaliações ambientais e meteorológicas tais como o mapeamento digital para temperatura, umidade, fertilidade (Yepes; Barone, 2018).

Para o uso na agricultura, além dos VANT's de sensoriamento remoto, existem os de pulverização, que, devido ao seu tamanho não é enquadrado como aeronave e devido ao voo, não se enquadram como maquinários terrestres, isso indica um sistema intermediário que leva a diversas peculiaridades. Os VANT's estão em alta no mundo hoje na forma de pulverizador com múltiplos rotores, mas não foi sempre assim, eles já passaram por muitos avanços em seu formato externo, mecanização interna e capacidade de carga (Melo *et al.*, 2024).

2.4.2 História

A história do VANT na agricultura iniciou quando a Yamaha enfrentou problemas com a pulverização por helicópteros tripulados, as pesquisas e modelos iniciaram em 1983 um helicóptero não tripulado com rotor duplo que girava em direções opostas e em 1990 foi lançado o Yamaha Aero Robot, o R-50, primeiro dispositivo aéreo não tripulado e com uma carga efetiva de 20 kg. Em outubro de 1997 a Yamaha lançou outro modelo, o RMAX com rotor duplo com carga efetiva de 30 kg e seguiu nesta linha de produção com mais dois novos modelos, o FAZER com capacidade de carga de 24 kg e o FAZER R, com 32 kg de carga efetiva (Sato, 2003).

Com o avanço da tecnologia, os VANT's mais utilizados atualmente diferem significativamente dos primeiros modelos lançados pela Yamaha. Eles são mais modernos e capazes de realizar pulverizações líquidas e sólidas, sendo empregados também na aplicação de fertilizantes, liberação de inimigos naturais e até na semeadura de culturas específicas. São utilizados os VANT's com múltiplos rotores para pulverização de produtos fitossanitários, já

que isso contribui para a redução de exposição do operador com estes produtos e reduz a quantidade usada dos mesmos. Apesar da aparente simplicidade de operação, o uso adequado dos VANT's na agricultura exige domínio da tecnologia embarcada e conhecimento das normas e boas práticas, fatores indispensáveis para garantir uma aplicação de alta qualidade e segura (Carvalho *et al.*, 2021).

2.4.3 Legislação

A utilização de VANT's no território brasileiro é regulamentada por três órgãos oficiais: ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), DECEA (Departamento de Controle de Espaço Aéreo) e ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações). Cada um destes órgãos possui responsabilidades específicas, a ANAC define regras de operação e especificações técnicas dos VANT's, o DECEA é responsável pela organização do espaço aéreo para maior segurança e a ANATEL pela frequência adequada de comunicação entre o VANT e o operador (Queiroz *et al.*, 2021).

Antes de realizar qualquer voo, a legislação exige uma avaliação detalhada das condições meteorológicas, que inclui a velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar. É fundamental analisar a área e a rota de voo envolvidas para garantir a segurança da operação. Além disso, é necessário um planejamento alternativo para possíveis falhas durante o voo, bem como o cálculo preciso da autonomia da bateria, garantindo que a aeronave tenha energia suficiente para cumprir a missão com segurança (DECEA, 2023).

A legislação determina que é preciso um responsável técnico para acompanhar a aplicação (engenheiro agrônomo ou florestal) que possua registro no conselho profissional. O operador do VANT deve possuir o certificado de conclusão do CAAR (Curso Para Aplicação Aeroagrícola Remota) oferecido pela entidade de ensino registrada no MAPA - Ministério da Agricultura e Pecuária. A aeronave precisa estar em situação regular junto à e a pulverização de produtos deve seguir as bulas comerciais e os receituários agrônômicos, considerando as especificações para pulverização com VANTs ou aviões agrícolas, já que foi estabelecida a equivalência entre esses sistemas (BRASIL, 2021). Segundo a ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), é obrigatório que para a realização do voo as áreas tenham no mínimo 30 metros de distância de pessoas não envolvidas na operação ou povoações, cidades, reservas legais, entre outros e apresentar altura máxima de voo menor ou igual a 400 pés AGL (ANAC, 2023).

A ANAC classifica os VANT's de acordo com o peso máximo de decolagem: classe

1 (maior que 150 kg), classe 2 (maior que 25 kg e até 150 kg) e classe 3 (maior que 250 g e até 25 kg). No caso de pulverização agrícola os VANT's não dependem do peso máximo de decolagem e são permitidos o uso de classe 3, somente com operação VLOS (linha de visada visual) ou EVLOS (linha de visada visual estendida) e até 400 pés de altura. Para o uso de VANT's de classe 2 de uso agrícola, além de seguir todas normas impostas pela ANATEL e DECEA, é necessário que os operadores possuam o CAER (Certificado de Aeronavegabilidade Especial) e que portem licença e habilitação emitidos pela ANAC, como Certificado Médico Aeronáutico (CMA). Para profissionais com habilitação em aviação agrícola ou proprietários de aeronaves agrícolas não é necessário apresentar o CAAR (ANATEL, 2024). Reforça-se ainda que, para a pulverização de produtos fitossanitários, devem ser seguidas as recomendações das bulas dos produtos e o receituário agrônomo específico para VANT's ou aviões agrícolas, conforme previsto na legislação vigente (Melo *et al.*, 2024).

2.4.4 Aplicações

2.4.4.1 Pulverização Agrícola

Estudos comparativos entre veículos aéreos não tripulados (VANTs), aviões agrícolas e helicópteros demonstram que a qualidade de aplicação dos VANTs pode ser superior em determinadas condições (Jones, 2019). O uso desses equipamentos na agricultura tem se destacado pela versatilidade, uma vez que são capazes de executar diversas funções com alto desempenho, mesmo diante das adversidades características do ambiente agrícola (Jorge; Inamasu, 2014).

Diversas pesquisas apontam as vantagens do uso de VANTs, como maior eficiência no controle de plantas daninhas, ferrugem-asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) e percevejos na cultura da soja (*Glycine max*) (EMBRAPA, 2023). Na cultura da cana-de-açúcar, onde o acesso com maquinário terrestre é dificultado, os VANTs apresentam elevada eficiência e flexibilidade operacional para pulverizações (Zhang *et al.*, 2020). Além disso, aspectos logísticos, custo operacional e controle de informações também são destacados como pontos positivos, com possibilidade de utilização em técnicas de controle biológico, como a liberação do parasitoide *Cotesia flavipes* na cana-de-açúcar (EMBRAPA, 2021).

Um diferencial importante no uso dos VANTs é o efeito do vórtice de ar gerado pela rotação das hélices, o qual pode direcionar as gotas para a face abaxial das folhas, favorecendo

a cobertura em áreas de difícil alcance (Ansaripour *et al.*, 2023). Apesar das vantagens, existem limitações que devem ser consideradas. Entre elas, destacam-se o elevado custo de aquisição e manutenção, a necessidade de operadores qualificados, a instabilidade operacional em função das condições meteorológicas, a baixa capacidade de carga, a menor velocidade de voo e o tempo reduzido de autonomia das baterias, que exige recargas frequentes (Hafeez *et al.*, 2022).

Além disso, os VANTs não possuem sistemas de agitação internos nos tanques, o que pode levar à decantação dos produtos e comprometer a homogeneidade da calda. Outro aspecto a ser considerado é a definição da faixa de aplicação: faixas muito estreitas exigem um número elevado de voos, enquanto faixas muito largas podem causar desuniformidade na deposição de gotas (Melo *et al.*, 2024). O rápido avanço da tecnologia também impõe desafios quanto à obsolescência dos equipamentos e necessidade constante de atualização.

2.4.4.2 Tamanhos De Gotas E Faixa De Aplicação

O tamanho das gotas é um fator decisivo na eficácia da pulverização. Gotas com menor diâmetro tendem a permanecer em suspensão no ar por mais tempo, o que aumenta a probabilidade de serem desviadas pelo vento, contribuindo para a deriva. Esse fenômeno pode resultar em perdas significativas de produtos fitossanitários, comprometendo a eficiência da aplicação e aumentando o risco de contaminação ambiental (Lan *et al.*, 2024). Por outro lado, gotas maiores apresentam menor propensão à evaporação durante o trajeto até o alvo, reduzindo perdas para o ambiente. No entanto, gotas menores favorecem uma melhor cobertura foliar e penetração no dossel, além de minimizarem o escoamento da calda (Ramos, 2005).

A classificação do tamanho das gotas é definida pela norma ASABE S572.2 (2018), sendo expressa em micrômetros (μm), correspondentes a milésimos de milímetro. As gotas são consideradas extremamente finas quando apresentam DMV inferior a $119 \mu\text{m}$, muito finas entre 119 e $177 \mu\text{m}$, e finas na faixa de 177 a $235 \mu\text{m}$. Gotas com DMV entre 235 e $317 \mu\text{m}$ são classificadas como médias, enquanto aquelas entre 317 e $370 \mu\text{m}$ são consideradas grossas. A classe muito grossa abrange gotas com DMV de 370 a $458 \mu\text{m}$, e a extremamente grossa inclui gotas entre 458 e $622 \mu\text{m}$ e gotas com DMV superior a $622 \mu\text{m}$ são classificadas como ultra grossas (ASABE, 2018). O tamanho das gotas influencia diretamente na faixa de aplicação, parâmetro essencial no planejamento da pulverização com aeronaves. A faixa de aplicação total corresponde à largura pulverizada em uma única passada, enquanto a faixa efetiva representa a área obtida por meio da sobreposição entre passadas consecutivas. O conhecimento adequado

dessas faixas é fundamental para garantir a uniformidade da deposição e a eficiência da aplicação (Althman, 2021).

A faixa de pulverização, que representa a largura efetiva de aplicação de cada passagem do VANT, é um dos principais parâmetros operacionais que influenciam na uniformidade da deposição do produto. Essa faixa depende do tipo de ponta, tamanho das gotas, altura e velocidade de voo. Em aplicações com VANTs, faixas mais estreitas garantem maior precisão, mas exigem mais passadas, enquanto faixas mais largas, embora operacionais, podem comprometer a uniformidade da aplicação se não houver sobreposição adequada (Cunha; Silva, 2023).

A correta determinação da faixa efetiva é essencial para garantir a uniformidade da aplicação, evitar falhas (subdosagens) ou sobreposições excessivas (sobredosagens), além de otimizar o rendimento operacional. Para isso, podem ser utilizados métodos como o uso de papéis hidrossensíveis, lâminas de vidro com traçadores ou técnicas automatizadas, como a Inspeção da Faixa de Deposição (IFD), que utiliza um espectrofotômetro de fio, baseado em fios coletores com leitura digital. Diversos fatores influenciam a uniformidade de distribuição da faixa pulverizada, como a altura de voo (idealmente entre 3 e 5 metros), o espectro de gotas, o volume de calda, as condições meteorológicas e a configuração da aeronave. Alterações no tipo ou no ângulo da ponta podem modificar significativamente a faixa efetiva de deposição, como demonstrado em ensaios com aeronaves agrícolas, onde ajustes simples resultaram em aumento superior a 13% na largura da faixa (Antuniassi; Boller, 2019).

O trabalho de Sinha *et al.* (2022) avaliou o desempenho da pulverização em termos de faixa e potencial de risco de deriva utilizando papéis sensíveis à água e amostradores de fio de mylar. Foram estudados os VANTs MG-1P e AG V6A+ operando em altitudes de voo de 1,5; 2,5 e 4,0 metros e velocidades de 2 e 3 m s⁻¹, com pontas de leque plano XR11001 e XR8002, que produziram gotas muito finas (140 µm) e finas (196 µm). Os resultados mostraram que a faixa efetiva variou entre os modelos e configurações testadas; no caso do AG V6A+ com barra, observou-se uma faixa efetiva de 4 a 5 metros ao voar a 4 metros de altura e 2 m s⁻¹.

O experimento realizado por Oliveira (2023) teve como objetivo avaliar a influência da altura de voo sobre a faixa efetiva de aplicação e o depósito de gotas pulverizadas utilizando o DJI Agras T40, com volume de 10 L ha⁻¹ e velocidade de deslocamento de 25 km h⁻¹, aplicando gotas finas (136 µm). Constatou-se que o VANT apresentou faixa efetiva de aplicação de 10 metros com maior uniformidade e melhor deposição da calda pulverizada na altura de voo de 4,5 metros.

Portanto, não existe uma faixa de deposição padrão para todos os equipamentos. Cada VANT ou aeronave deve ser avaliado em função de sua configuração específica, sendo necessário realizar ensaios de faixa para garantir uma aplicação eficaz, segura e economicamente viável (Antuniassi; Boller, 2019).

2.5 QUALIDADE NA PULVERIZAÇÃO

A fim de atingir os objetivos na pulverização com VANT's, é necessário a realização da pulverização de acordo com técnicas rígidas. Desta forma, é possível quantificar e qualificar as variáveis mais importantes para uma boa pulverização, tais como: porcentagem de área coberta, volume recuperado, densidade, coeficiente de variação, amplitude relativa e potencial de risco de deriva (Schneider *et al.*, 2013).

A avaliação da pulverização pode ser feita por meio de papéis hidrossensíveis, que são pequenos papéis de coloração amarelos, sensíveis à umidade. Quando as gotas da pulverização entram em contato com o papel, ele absorve a água e forma marcas azuis. A tonalidade dessas marcas varia conforme o tamanho das gotas: gotas menores deixam manchas mais claras, enquanto gotas mais grossas resultam em marcas mais escuras e intensas. Após a aplicação, as imagens dos papéis são digitalizadas e analisadas por softwares especializados, como o “Conta-Gotas” ou “e-Sprinkle”, que realizam todas as análises necessárias para determinar a qualidade da pulverização e garantem maior precisão dos resultados. Cada papel representa uma amostra e é distribuído estrategicamente na área experimental para fornecer dados precisos sobre a deposição das gotas e a eficiência da aplicação do produto (Garcia; Ramos; Justino, 2004).

2.5.1 Porcentagem De Área Coberta

Porcentagem de área coberta é a parte da superfície do alvo que foi atingida pelo produto pulverizado expressado em porcentagem. Esse parâmetro é fundamental para avaliar a eficácia da aplicação, uma vez que influencia diretamente o controle de pragas e doenças. O valor varia com o tipo de produto utilizado: os definidos como produtos sistêmicos podem apresentar uma porcentagem menor de cobertura e ser aplicados com gotas maiores para reduzir o potencial de risco de deriva, enquanto os produtos de contato requerem maior cobertura foliar e gotas mais finas (Contiero; Biffe; Catapan, 2018).

O estudo desenvolvido por Arcoverde *et al.* (2024), foi realizado na cultura da cana-de-açúcar utilizando implemento hidráulico com cinco sessões para dessecação de plantas daninhas com pontas de cone vazio (geram gotas muito finas à finas) e de jatos planos com pré-orifício (geram gotas muito médias a grossas) com variação no horário de aplicação e nos volumes de pulverização (80, 100, 200 e 250 L ha⁻¹). Os autores concluíram que, com um volume de calda de 100 L ha⁻¹, a eficiência da dessecação foi melhor e com área do alvo coberta de 36,5%.

A pesquisa desenvolvida por Guo *et al.* (2019) teve como foco a análise de vórtices (forte, moderado e com ausência) formados pelo voo do VANT WPH642TM operado a 20 metros acima do solo, foram utilizados papéis hidrossensíveis nas camadas superior, média e inferior na cultura do arroz. Obteve-se resultados da área coberta com vórtice mais forte de 6% para a camada média e 7% para camada inferior e de 2% na camada superior sem vórtice.

Um experimento realizado à campo na Índia teve como objetivo estudar características de deposição de inseticida e potencial de risco de deriva com VANT E610PTM com seis rotores e quatro pontas que geraram gotas finas. Dengeru *et al.* (2022) utilizaram papéis hidrossensíveis em três pontos no dossel das plantas de feijão-gandu (superior, meio e inferior), o VANT estava na velocidade de 3 m s⁻¹, altura de 1,6 metros em uma faixa de aplicação de 3,8 metros. Concluiu-se que houve maior área coberta, de 15,7% no topo da planta quando comparado com as demais.

Já o estudo conduzido no estado do Paraná teve como objetivo a avaliação de parâmetros de qualidade de pulverização e a determinação de um volume ideal para dessecação, realizado com VANT AGRAS MG1-P, DJITM com gotas finas (100 micra) e pulverização com volumes de 5, 10, 15, 20 e 25 L ha⁻¹ de herbicidas. As pontas de pulverização empregadas eram de jato plano. O experimento de Carneiro (2023) mostrou que a área coberta aumentou proporcionalmente com o aumento do volume de pulverização. Os valores sobre área coberta foram de 2% para o volume de 5,0 L ha⁻¹ a 14% quando o volume foi aumentado a 25 L ha⁻¹.

2.5.2 Volume Recuperado

Volume recuperado é caracterizado pela quantidade do produto aplicado que atinge o alvo expressa em L ha⁻¹. O volume recuperado pode ser influenciado por diversos fatores, como características do alvo (tamanho, posição e forma), propriedades das gotas (velocidade, diâmetro e densidade), além de variáveis ambientais como temperatura, umidade relativa do ar

e velocidade e direção do vento (Contiero; Biffe; Catapan, 2018).

O experimento conduzido por Souza, Castro e Palladini (2007) objetivou avaliar a deposição obtida na pulverização na cultura do algodão e a eficiência da aplicação com diferentes tamanhos de gotas. Foi utilizado um pulverizador automotriz, com velocidade de 10 km h⁻¹ em que folhas de algodão do terço superior, médio e inferior eram os alvos naturais e os tratamentos eram baseados nas pontas utilizadas: cone vazio (geração de gotas finas), jato duplo (grossas), jato plano (muito grossas) a um volume de 150 L ha⁻¹ e jato plano (extremamente grossas) a 200 L ha⁻¹. O volume recuperado no alvo variou conforme o espectro de gotas, a menor eficiência foi observada com gotas muito finas a finas, que apresentaram apenas 27,5% de recuperação. Gotas médias a grossas proporcionaram a maior eficiência, com 47,6% de volume recuperado, mesmo com o mesmo volume de calda (150 L ha⁻¹). Já com gotas grossas a muito grossas, apesar do volume de aplicação ser maior (200 L ha⁻¹) a eficiência caiu para 39,3%. Conclui-se que gotas grossas proporcionaram os maiores volumes de depósitos nas folhas e maior uniformidade da pulverização nos diferentes níveis da planta.

No estudo desenvolvido por Sarghini *et al.* (2019) foi realizada a aplicação de produtos fitossanitários com VANT equipado com pontas do tipo jato plano. Para quantificar o produto retido no alvo, utilizaram-se papéis hidrossensíveis, que forneceram dados sobre a cobertura da pulverização. Já para a medição do volume efetivamente depositado, foi utilizado um traçador na calda e foram utilizados coletores, permitindo uma avaliação mais precisa. Os resultados mostraram que a deposição máxima recuperada foi de 31% em relação ao volume total pulverizado, enquanto a deposição média variou entre 13% e 16%, indicando que mais de 84% do produto foi perdido. Essas perdas foram atribuídas não apenas à deriva causada pelo vento, mas também aos vórtices gerados pelas hélices dos drones, que afetam a trajetória das gotas durante a aplicação.

O experimento conduzido por Carneiro (2023) no estado do Paraná com o VANT AGRAS MG1-P (DJITM), utilizou pontas de jato plano e gotas finas de 100 micra, para investigar a qualidade da pulverização e identificar o volume ideal para a dessecação de plantas de aveia. As aplicações foram realizadas com diferentes volumes de calda, variando de 5,0 a 25 L ha⁻¹. Os resultados revelaram um comportamento linear crescente do volume recuperado, que passou de 3,0 para 19 L ha⁻¹. Para a aplicação de 10 L ha⁻¹, registrou-se uma recuperação de 6 L ha⁻¹.

2.5.3 Densidade Dos Impactos De Gotas

Densidade dos impactos de gotas é expressa pelo número de impactos de gotas por unidade de área (gotas por centímetro quadrado). Essa variável está diretamente relacionada à eficiência da pulverização e pode ser influenciada por fatores como velocidade de voo, altura do bico até o alvo, volume de pulverização, tamanho de gotas, velocidade e direção do vento, dentre outras. Os VANTs, de modo geral, apresentam menor densidade de gotas quando comparados aos pulverizadores terrestres, porém, proporcionam melhor distribuição vertical e cobertura mais uniforme, especialmente nas partes médias e inferiores do dossel (Meesaragandla *et al.*, 2024).

No estudo de Cunha e Silva (2023), avaliou-se a aplicação de calda em milho com o VANT AGRAS-MG-1 da DJI™, em duas alturas de voo (1,5 e 3,0 m), comparando-se com pulverizador costal. A aplicação aérea utilizou 10 L ha⁻¹ e a terrestre 115 L ha⁻¹, ambos com pontas de jato plano. Os dados mostraram uma densidade de gotas entre 26 e 39 gotas por cm², evidenciando boa cobertura mesmo com menor volume aéreo.

Em experimento conduzido em macieiras, Liu *et al.* (2020) compararam a pulverização realizada por um VANT de quatro rotores com a de um pulverizador convencional para fruticultura. Utilizando um volume de 60 L ha⁻¹, foi observada uma faixa de deposição de 2,2 metros com densidade de gotas atingindo até 132 gotas cm⁻².

Utilizando o VANT AGRAS MG1-P com pontas de jato plano e gotas finas (100 micra) Carneiro (2023) realizaram um estudo no Paraná para analisar volumes de calda entre 5,0 e 25 L ha⁻¹ em aplicações herbicidas para dessecação. O experimento ressaltou que a densidade de gotas cresceu de forma linear em função do incremento do volume de calda. A elevação foi de 21 com 5,0 L ha⁻¹ para 219 gotas cm⁻² com 25 L ha⁻¹.

Em pesquisa realizada por Dengeru *et al.* (2022) na Índia, foi utilizado o VANT E610P™ para avaliação da deposição e deriva de inseticida em diferentes partes da planta. O equipamento, com seis rotores e quatro pontas centrífugas para geração de gotas finas, operava a 1,6 metros de altura e 3,0 m s⁻¹. Com uso de papéis hidrossensíveis, constatou-se maior concentração do produto (2,47 µL cm⁻²) e número de gotas (51 cm⁻²) na parte superior da planta, em comparação às camadas inferiores.

2.5.4 Potencial De Risco De Deriva

A pulverização pode ser afetada por vários fatores que influenciam tanto a deposição do produto quanto ao potencial de risco de deriva. O movimento do equipamento gera um fluxo de ar descendente que pode quebrar as gotículas pulverizadas, fazendo com que evaporem mais rápido ou formem partículas menores, que são facilmente carregadas pelo vento. Além disso, quando muda a pressão da pulverização, o tamanho das gotas é alterado. Pressões mais altas geram gotas menores, que evaporam mais rápido e são levadas pelo vento, aumentando o potencial de risco de deriva (Faggion; Antuniassi, 2010). Outros fatores que afetam esse processo incluem a altura e a velocidade do voo, o tamanho das gotas, as características da calda, o volume aplicado e as condições do ambiente no momento da pulverização (Dafsari, *et al.*, 2024).

Um experimento foi realizado em túnel de vento para análise do potencial de risco de deriva, para isso, foram utilizadas três pontas de pulverização, leque simples (fina a média), leque duplo (média a fina) e leque duplo com indução de ar (média a grossa). Vieira *et al.* (2019) concluíram que a ponta leque duplo com indução de ar proporcionou maior uniformidade de pulverização e menor potencial de risco de deriva, em função do maior diâmetro de gotas.

Com objetivo de avaliar o potencial de risco de deriva em pulverizações aéreas, Moreira e Antuniassi (2024) realizou um experimento com simulador de aplicação com ventiladores que foi monitorado, para isso, foi utilizado um inseticida isolado e mistura com três adjuvantes na taxa de 20 L ha⁻¹ com ponta jato plano com três ângulos de deflexão (30, 55 e 90°). No ângulo de 30°, os valores de percentual de risco de deriva foram os menores para todas as caldas, variando de 10% a 13%, enquanto no ângulo de 90°, os valores foram de 23% apenas com o inseticida. O adjuvante promoveu menores valores de potencial de risco de deriva no ângulo de 90° (20,5%), a calda com óleo mineral apresentou os maiores percentuais de potencial de risco de deriva nos ângulos de 30° e 55°, chegando a 13% e 18%, respectivamente, sugerindo maior suscetibilidade ao potencial de risco de deriva nessas condições. O uso de adjuvantes foi eficaz na redução do potencial de risco de deriva, especialmente em ângulos mais abertos.

Ao investigar os efeitos da velocidade de voo do VANT na pulverização de pessegueiros, Li *et al.* (2021) observaram que o aumento da velocidade de 1,0 para 3,0 m s⁻¹ resultou em gotas com maior diâmetro médio (de 302 para 496 µm). Esse aumento também

favoreceu a formação de vórtices nas pontas das hélices, o que contribuiu para a dispersão de gotas finas e o aumento do potencial de risco de deriva aérea. Em contrapartida, potencial de risco de deriva ao nível do solo reduziu significativamente, de 20,2% para 1,1%, enquanto o potencial de risco de deriva em altura aumentou, atingindo picos de até 1,0% a 8,0 metros do solo.

O experimento realizado por Wang *et al.* (2020) teve como objetivo comparar o potencial de risco de deriva de três diferentes diâmetros medianos volumétricos (DMV) de 100, 150 e 200 μm com rotação variando de 2.000 rpm a 17.000 rpm de um VANT P20, XAG CompanyTM a 4,0 metros do solo e velocidade de 5,0 m s^{-1} com o uso de um bico centrífugo. À medida que a rotação passou de 2.000 rpm para 17.000 rpm, com o percentual de gotas menores que 150 μm aumentou de 3% para 96%, e o volume de gotas abaixo de 100 μm foi de 2% para 58%. Em rotações mais altas ocorre maior fragmentação das gotas, o que favorece a formação de partículas leves e mais suscetíveis ao potencial de risco de deriva.

Uma pesquisa foi desenvolvida na cultura do café conilon para determinar potencial de risco de deriva da calda pulverizada pelo VANT AGRAS T10 fabricada pela DJITM. Santos *et al.* (2024) utilizaram taxas de aplicação de 10 e 15 L ha^{-1} repetidos para as alturas de 3,0 e 4,0 metros e papéis hidrossensíveis foram distribuídos na área. Os maiores percentuais de potencial de risco de deriva foram observados na altura de 4,0 metros, com destaque para a aplicação de 15 L ha^{-1} , que atingiu 29% de potencial de risco de deriva a apenas 3,0 metros da faixa de aplicação. Em contrapartida, a menor perda foi registrada na menor altura de 3,0 m com volume de 10 L ha^{-1} , totalizando 1,7% de potencial de risco de deriva a 15 metros. Isso indica que menores alturas reduzem significativamente o potencial de risco de deriva.

2.5.5 Diâmetro Da Gota Com 10% Do Volume Acumulado

O diâmetro de gota com 10% do volume acumulado é representado pela sigla $DV_{0,1}$ e corresponde ao diâmetro abaixo do qual estão acumulados 10% de todo o volume que foi pulverizado. Esta variável é utilizada para indicar a fração de gotas mais finas presentes na pulverização, sendo crucial para a análise do potencial de risco de deriva. A determinação do $DV_{0,1}$ permite avaliar a segurança e eficiência da pulverização, auxiliando na seleção do espectro de gotas mais apropriado para diferentes alvos, tipos de produto (sistêmicos ou de contato) e condições operacionais (ASABE, 2018).

Em Ponta Grossa, Paraná foi realizado um experimento com o objetivo de avaliar

diferentes pontas de pulverização na aplicação de fungicidas em soja. Foi utilizado um pulverizador de CO₂ com volume de 130 L ha⁻¹ com espaçamento entre pontas de 0,5 m, pressão de 200 kPa e velocidade de 1,67 m s⁻¹. As pontas testadas variaram quanto ao diâmetro de gotas gerado: jato cônico vazio (muito finas), jato plano duplo (muito finas a finas), jato plano de longo alcance (finas), jato plano de ângulo amplo (médias a grossas) e jato plano com indução de ar (muito grossas). De acordo com Garcia *et al.* (2024), a ponta com menor DV_{0,1} no terço superior foi a duplo leque (159 µm), enquanto a maior foi com indução de ar (446 µm). Nos demais terços, os menores valores foram da ponta duplo leque, com 84 µm (médio) e 81 µm (inferior), enquanto os maiores ficaram com a ponta de indução de ar (188 µm e 130 µm, respectivamente).

No estudo de Arcoverde *et al.* (2024), realizado com a cultura da cana-de-açúcar, avaliou-se a influência de diferentes volumes de aplicação (80, 100, 200 e 250 L ha⁻¹ e horários de pulverização sobre o diâmetro DV_{0,1}, utilizando pontas de cone vazio. Os resultados mostraram que o menor valor foi registrado com 80 L ha⁻¹ (245,1 µm), enquanto o maior foi com 200 L ha⁻¹ (474,8 µm). Isso demonstra que a variação no volume aplicado impacta diretamente na fração das gotas mais finas geradas.

No experimento conduzido por Araújo *et al.* (2024) foi utilizado pulverizador costal com CO₂ e pontas hidráulicas AD 110.01 para aplicar fungicida com e sem adjuvante Supa Complete™ (lecitina, éster fosfatado de alquifenol etoxilado, metilado de soja e dimetilpolissiloxano). As análises, feitas com DropScope™ em três terços da planta, revelaram que o DV_{0,1} no topo passou de 100 µm (sem adjuvante) para cerca de 116 µm com o adjuvante, o que representa incremento médio de 16%.

Os estudos de Wang *et al.* (2020) analisaram o impacto da rotação de um bico centrífugo sobre o tamanho das gotas e o potencial de risco de deriva em aplicações com o VANT P20 (XAG Company™). O VANT foi conduzido a uma altura de 4,0 metros e velocidade de 5,0 m s⁻¹, com rotações de 2.000 a 17.000 rpm. Os diâmetros medianos volumétricos analisados foram 100, 150 e 200 µm. Verificou-se que o DV_{0,1} reduziu de 251 µm (com 2.000 rpm) para 59 µm (com 17.000 rpm), mostrando que a elevação da rotação acentua a fragmentação das gotas, elevando o potencial de risco de deriva.

2.5.6 Diâmetro Da Gota Com 50% Do Volume Acumulado

O diâmetro de gota com 50% do volume acumulado também pode ser chamado como

diâmetro mediano volumétrico (DMV) ou $DV_{0,5}$, representa o diâmetro da gota em que o volume pulverizado está igualmente dividido. Isso significa que 50% do volume pulverizado é composto por gotas com diâmetros menores que o DMV, e os outros 50% por gotas com diâmetros maiores. O DMV está relacionado à eficiência da cobertura, ao potencial de risco de deriva e à penetração das gotas no dossel da cultura e auxilia na seleção de pontas e condições operacionais que atendam às exigências agrônômicas e ambientais para uma pulverização eficiente (ASABE, 2018).

A pesquisa de Arcoverde et al. (2024) investigou a pulverização na cultura da cana-de-açúcar usando um sistema hidráulico com cinco seções e pontas de cone vazio. O experimento variou os volumes de aplicação entre 80 e 250 L ha⁻¹, além de diferentes horários do dia. Embora os dados de DMV reportados por Arcoverde *et al.* (2024) indiquem variação de 478,4 µm a 1238,7 µm conforme volume e horário, é importante considerar que, em aplicações com volumes maiores, o fenômeno de coalescência sobre os cartões hidrossensíveis pode superestimar o DMV real. Tal limitação metodológica é amplamente relatada na literatura evidenciando que a análise de gotas em campo, via cartões, não reflete com total precisão o espectro real gerado pelos bicos, especialmente quando a densidade de gotas é elevada.

A influência dos vórtices gerados pelo VANT WPH642™, analisada por Guo *et al.* (2019), demonstrou impacto direto na deposição das gotas no arroz. Operando a 20 m de altura, o equipamento gerou condições de pulverização que resultaram em variações no DMV conforme a altura das folhas. As maiores gotas foram detectadas na camada inferior, com valores chegando a 345 µm, enquanto as menores médias ficaram em torno de 144 µm. Na região média da planta, os valores oscilaram entre 317 e 370 µm, evidenciando a influência do fluxo de ar descendente sobre a uniformidade da pulverização.

A análise sobre a qualidade de pulverização com um VANT de quatro rotores e um pulverizador convencional de pomar foram comparados na China. Foi conduzido em macieiras por Liu *et al.* (2020) aplicando 60 L ha⁻¹. Os cientistas mostraram uma faixa de aplicação do VANT de 2,2 metros e diâmetro mediano volumétrico das gotas foi de 139 µm.

Em estudo realizado por Wang *et al.* (2020), avaliou-se o potencial de risco de deriva associado a diferentes rotações (2.000 a 17.000 rpm) de um bico centrífugo instalada em um VANT P20 (XAG Company™), operando a 4,0 metros de altura e 5,0 m s⁻¹. Os diâmetros medianos iniciais foram de 100, 150 e 200 µm. Os resultados mostraram que o DMV para 2000 rpm foi de 591 µm, enquanto para 17.000 rpm foi para 93 µm.

2.5.7 Diâmetro Da Gota Com 90% Do Volume Acumulado

O diâmetro da gota com 90% do volume acumulado é representado pelo símbolo $DV_{0,9}$, que corresponde ao diâmetro abaixo do qual se encontra 90% do volume pulverizado. Dentre os diâmetros acumulados de gotas, pode-se ordenar os mesmos de forma crescente de zero a 100%. Descartando-se 10% de extremos, se registra o diâmetro da gota com 90% do volume acumulado, o que torna-o ele fundamental para a avaliação da uniformidade e segurança da pulverização (ASABE, 2018).

Em um experimento conduzido por Garcia *et al.* (2024) em Ponta Grossa – PR, avaliou-se o comportamento de diferentes pontas de pulverização na cultura da soja. Utilizando pulverizador com CO_2 , 130 L ha^{-1} e velocidade de $1,67\text{ m s}^{-1}$, testaram-se pontas com variações no diâmetro das gotas geradas. No terço superior as maiores gotas foram obtidas com a ponta de indução de ar ($1.681\text{ }\mu\text{m}$) e as menores com a duplo leque ($858\text{ }\mu\text{m}$). Já no terço médio, com $986\text{ }\mu\text{m}$ para indução de ar e $405\text{ }\mu\text{m}$ para duplo leque e no terço inferior, os valores oscilaram entre $742\text{ }\mu\text{m}$ (indução de ar) e $275\text{ }\mu\text{m}$ (duplo leque).

Um estudo na cultura da cana-de-açúcar, Arcoverde *et al.* (2024) testaram pontas de cone vazio em aplicações para dessecação com volumes entre 80 e 250 L ha^{-1} . Os autores concluíram que com 80 L ha^{-1} o $DV_{0,9}$ foi de $1048\text{ }\mu\text{m}$, enquanto com 200 L ha^{-1} alcançou $1772\text{ }\mu\text{m}$. Já os volumes de 100 L ha^{-1} e 250 L ha^{-1} apresentaram $1542\text{ }\mu\text{m}$ e $1375\text{ }\mu\text{m}$, respectivamente.

Um experimento realizado em Goiás utilizou pulverizador costal pressurizado por CO_2 e pontas hidráulicas AD 110.01, com aplicação do fungicida feita com e sem adjuvante (Supa CompleteTM), a uma taxa de 80 L ha^{-1} . As avaliações foram realizadas em três alturas da planta (terço superior, médio e inferior) com o uso de papéis hidrossensíveis analisados pelo software DropScopeTM. Os valores médios encontrados de $DV_{0,9}$ por Araújo *et al.* (2024) variaram entre 490 e $530\text{ }\mu\text{m}$, com pequenas variações entre os tratamentos.

A fim de avaliar o impacto da rotação sobre a geração de gotas, Wang *et al.* (2020) utilizaram um VANT modelo P20 da XAG CompanyTM equipado com bico centrífugo, aplicando a $4,0\text{ m}$ de altura e $5,0\text{ m s}^{-1}$. As rotações variaram de 2.000 a 17.000 rpm , sendo testados três diâmetros medianos volumétricos: 100 , 150 e $200\text{ }\mu\text{m}$. O $DV_{0,9}$ em baixa rotação (2000 rpm) foi de $1236\text{ }\mu\text{m}$, e em alta rotação (17.000 rpm) foi de $131\text{ }\mu\text{m}$. Essa diminuição pode comprometer a deposição e aumentar perdas por potencial de risco de deriva, especialmente sob condições ambientais desfavoráveis.

2.5.8 Amplitude Relativa

A amplitude relativa ou SPAN, é uma variável que avalia a uniformidade de pulverização, que é calculada pela diferença entre o diâmetro da gota de 90% do volume acumulado ($DV_{0,9}$) e o diâmetro da gota de 10% do volume acumulado ($DV_{0,1}$), dividida pelo diâmetro mediano volumétrico ($DV_{0,5}$). Essa variável indica que quando o valor for mais próximo de zero, há maior homogeneidade das gotas pulverizadas (Vitória *et al.*, 2014). Para garantir essa uniformidade, é essencial que o equipamento esteja devidamente regulado e calibrado (Contiero; Biffe; Catapan, 2018).

A escolha da ponta de pulverização influencia diretamente o diâmetro das gotas geradas, como evidenciado no estudo de Garcia *et al.* (2024), realizado em Ponta Grossa, PR, na cultura da soja. Com pulverizador de CO_2 operando a 200 kPa, foram comparadas pontas de diferentes classificações de tamanho de gotas. Os resultados mostraram que no terço superior foi mais homogêneo com a ponta de indução de ar com valor de 1,3 e a ponta duplo leque apresentou o valor mais alto de 2,0. No terço médio, os valores ficaram próximos de 1,6 a 1,8 e no terço inferior, o índice variou de 1,3 a 1,5, sendo mais homogêneo nas pontas que geram gotas maiores.

Na pesquisa realizada por Cunha e Silva (2023) se objetivou avaliar a deposição de calda na cultura do milho com aplicação realizada pelo VANT da marca DJITM, modelo AGRAS-MG⁻¹ nas alturas de 1,5 e 3,0 metros em comparação com pulverizador costal. A taxa de aplicação foi de 10 L ha⁻¹ para o VANT e 115 L ha⁻¹ para o costal com pontas de jato plano. Os autores chegaram a valores médios de amplitude relativa de 0,9 e a faixa de deposição efetiva foi de 5,7 e 7,6 m para alturas de voo de 1,5 e 3,0 m.

No estudo desenvolvido por Wang *et al.* (2020), a influência da rotação em bicos centrífugos sobre o tamanho das gotas foi investigada em aplicações realizadas com o VANT P20 (XAG CompanyTM), operando a 4,0 metros do solo e 5,0 m s⁻¹. Foram medidas rotações entre 2.000 e 17.000 rpm e diâmetros medianos de 100, 150 e 200 μm . O SPAN para 2000 rpm foi de 0,78 enquanto para 17.000 rpm foi de 1,67, indicando que gotas grossas possuíram maior homogeneidade pulverizada.

No experimento realizado por Carneiro (2023) no Paraná, avaliou-se a eficiência da dessecação com diferentes volumes de herbicida (5 a 25 L ha⁻¹) aplicados por um VANT AGRAS MG1-P (DJITM), utilizando gotas finas (100 micra) e pontas de jato plano. Os dados obtiveram SPAN constante mesmo com o aumento do volume de aplicação, com um valor

médio de 1,4.

2.5.9 Coeficiente De Variação

Coeficiente de variação (CV) é uma medida estatística que representa a uniformidade de distribuição da pulverização. Ele é calculado como a razão entre o desvio padrão e a média da variável avaliada, sendo geralmente expresso em porcentagem. Para pulverização de produtos fitossanitários, esta métrica é usada para verificar a quantidade ingrediente ativo depositado no alvo. O coeficiente de variação pode ser influenciada por diversos fatores operacionais, como: tipo de ponta, pressão de trabalho, altura do jato em relação ao alvo, condições do ambiente, entre outras (Vitória, *et al.*, 2014).

Um experimento conduzido por Garcia (1989) utilizou dados de 146 projetos de pesquisa para analisar a variabilidade experimental em dados agrícolas. Foram calculados os valores médios do coeficiente de variação e seus respectivos desvios padrões. Com base nos dados verificados, foi estabelecido uma classificação: para o CV ser considerado baixo, os valores devem ser inferiores a 10%; médio variam de 10 a 20%; alto de 20 a 30% e muito alto ficam acima de 30%.

O estudo realizado em Viçosa foi conduzido para avaliar a uniformidade de distribuição de pontas hidráulicas com jato plano com indução de ar com diferentes vazões, sob pressões de 200, 300 e 400 kPa e alturas de 40, 50 e 60 cm em relação a bancada de ensaios. Cunha e Ruas (2007) simularam o CV da distribuição volumétrica em função do espaçamento entre pontas e altura da barra. Definiu-se que coeficiente de variação inferiores a 10% é ideal.

As análises conduzidas por Parkin e Wyatt (1982) concentraram-se na otimização da pulverização aérea de herbicidas visando melhorar a uniformidade de distribuição e eficácia dos produtos fitossanitários. Foram coletados os dados referentes aos números de gotas cm^{-2} realizadas tanto por aviões quanto por helicópteros. De acordo com os autores coeficiente de variação aceitável para garantir a qualidade na pulverização deve ser abaixo de 30% e o CV considerado como ideal para uma pulverização eficaz é de 16%.

As discussões realizadas por Carvalho *et al.* (2020) mostram os desafios encontrados para pulverização com aeronaves. Para a coleta de dados foi utilizado o método IFDTM (Inspeção da Largura de Faixa) com auxílio de um fio de poliéster de 46 m, sendo a pulverização realizada com água e corante vermelho. O estudo envolveu 24 aeronaves equipadas com bicos hidráulicos e rotativos, incluindo: Ag Truck, Ipanema e Air Tractor. Essa pesquisa revelou que,

após ajustes técnicos, o CV médio dos diferentes modelos de aeronaves ficou em torno de 17%. Destacou-se na pesquisa que à medida que o CV aumenta além do recomendado (o trabalho mostra sendo ideal abaixo de 15%) as perdas de produtividade podem superar os ganhos em eficiência operacional.

O estudo de Carneiro (2023), conduzido no Paraná com o uso do VANT AGRAS MG1-P da DJI™ e pontas de jato plano, mostrou que a pulverização com gotas finas (100 micra) resultou em um aumento no coeficiente de variação, à medida que se ampliava o volume de calda de 5,0 a 25 L ha⁻¹. Os autores afirmam que o coeficiente de variação se elevou de 37 a 55%. Ou seja, ao aplicar um maior volume, houve uma elevação na geração de tamanhos de gotas, tendo como consequência o aumento do CV.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O delineamento experimental utilizado para a execução da pesquisa foi o de blocos aleatorizados, com 15 tratamentos e 03 repetições (Figura 1). Os tratamentos consistiram em papéis hidrossensíveis espaçados em 1,0 m que cobriram uma faixa de 15 metros, transversal ao sentido de voo do VANT, dispostos em hastes e suportes metálicos posicionados a 0,5 metros acima do solo, para coletar os impactos de gotas na pulverização de uma solução que possuía água com o corante alimentício azul brilhante, na dose de 100 g ha⁻¹, aplicada por veículo aéreo não tripulado (VANT) e as repetições dos coletores foram espaçadas em 5,0 metros. Os tratamentos foram repetidos para os diâmetros volumétricos de gotas (DMV): 100, 200, 300, 400 e 500 micras (µm) - selecionados no controle do drone - em que foi considerado como parcela cada papéis hidrossensível.

Figura 1 - Croqui representativo do experimento conduzido com o VANT DJI™ AGRAS T40 para avaliação da faixa de deposição, com três repetições (REP. A, REP. B e REP. C), cada uma contendo 15 papéis hidrossensíveis dispostos linearmente com espaçamento de 1,0 m entre eles, com deslocamento do VANT de forma transversal e centralizada, setembro de 2023 e 2024, Ponta Grossa – PR.



Fonte: A autora.

O experimento foi conduzido no dia 12 de setembro de 2023 e repetido no dia 29 de agosto de 2024 na pista de pouso de aviões na Fazenda Sementes Iberá™, localizada em Ponta

Grossa, estado do Paraná, no Brasil (25°5'24'' S e 50°03'23'' W). As pulverizações foram realizadas com um veículo aéreo não tripulado (VANT) da marca DJI™, modelo AGRAS T40 (Figura 2) com capacidade de tanque máxima de 40 litros, com 08 rotores, munido da 02 bicos de pulverização rotativos LX8060 SZ™ com sistema duplo de pulverização atomizado (garante gotas uniformes) e com a trajetória de voo paralela ao vento, previamente configurada. Foi utilizado o volume de calda de 10 L ha⁻¹, velocidade de 5,6 m s⁻¹ e a altura de voo de 4,0 m acima do alvo. Nos dois anos foi o mesmo equipamento utilizado.

Figura 2 – Veículo aéreo não tripulado (VANT) DJI AGRAS T40™, com capacidade de tanque de 40 litros, 08 rotores, munido da 02 pontas de pulverização rotativas LX8060 SZ™, utilizado no experimento sobre faixa de pulverização com diferentes tamanhos de gotas, setembro de 2023 e agosto 2024, Ponta Grossa – PR.



Fonte: A autora.

A calibração do pulverizador foi realizada previamente com líquido coletado em cada ponta em proveta graduada de 1,0 L da marca Petrolider™ e mesa de deposição horizontal da TeeJet™. Também foi conferida a velocidade de pulverização pela relação entre o intervalo de tempo de aplicação de voo pela distância percorrida em 100 m.

Figura 3 – Bico rotativo LX8060 SZTM com sistema duplo de pulverização atomizado



Fonte: Luiz Claudio Garcia

As condições do ambiente (velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar) foram monitoradas com auxílio de um anemotermohigrômetro e registradas. As condições do ambiente registradas foram: temperatura abaixo de 25 graus, umidade relativa do ar acima de 55% e velocidade do vento com variação entre 3 a 10 km h⁻¹. As variáveis analisadas em papéis hidrossensível pelo aparelho DropScopeTM foram: porcentagem de área coberta, volume recuperado (L ha⁻¹), densidade (número de impactos de gotas cm⁻²), potencial de risco de deriva (% de gotas com diâmetro menor que 150 µm), amplitude relativa (SPAN) e CV dos diâmetros (%).

Os dados registrados foram submetidos aos testes de Bartlett, para verificação da homocedasticidade das variâncias, Shapiro-Wilk, para examinar a normalidade dos dados e independência dos erros pelo teste de Durbin-Watson. As variáveis mensuradas foram analisadas pelos testes Fisher-Snedecor e regressão polinomial; sendo 95% o intervalo de confiança.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as variáveis apresentaram homocedasticidade, normalidade das variâncias e independência dos erros dispensando a transformação dos dados. Das 90 variáveis analisadas em papéis hidrossensíveis houve diferenças significativas para blocos em 6% das análises, denotando a homogeneidade das condições experimentais.

4.1 PORCENTAGEM DE ÁREA COBERTA

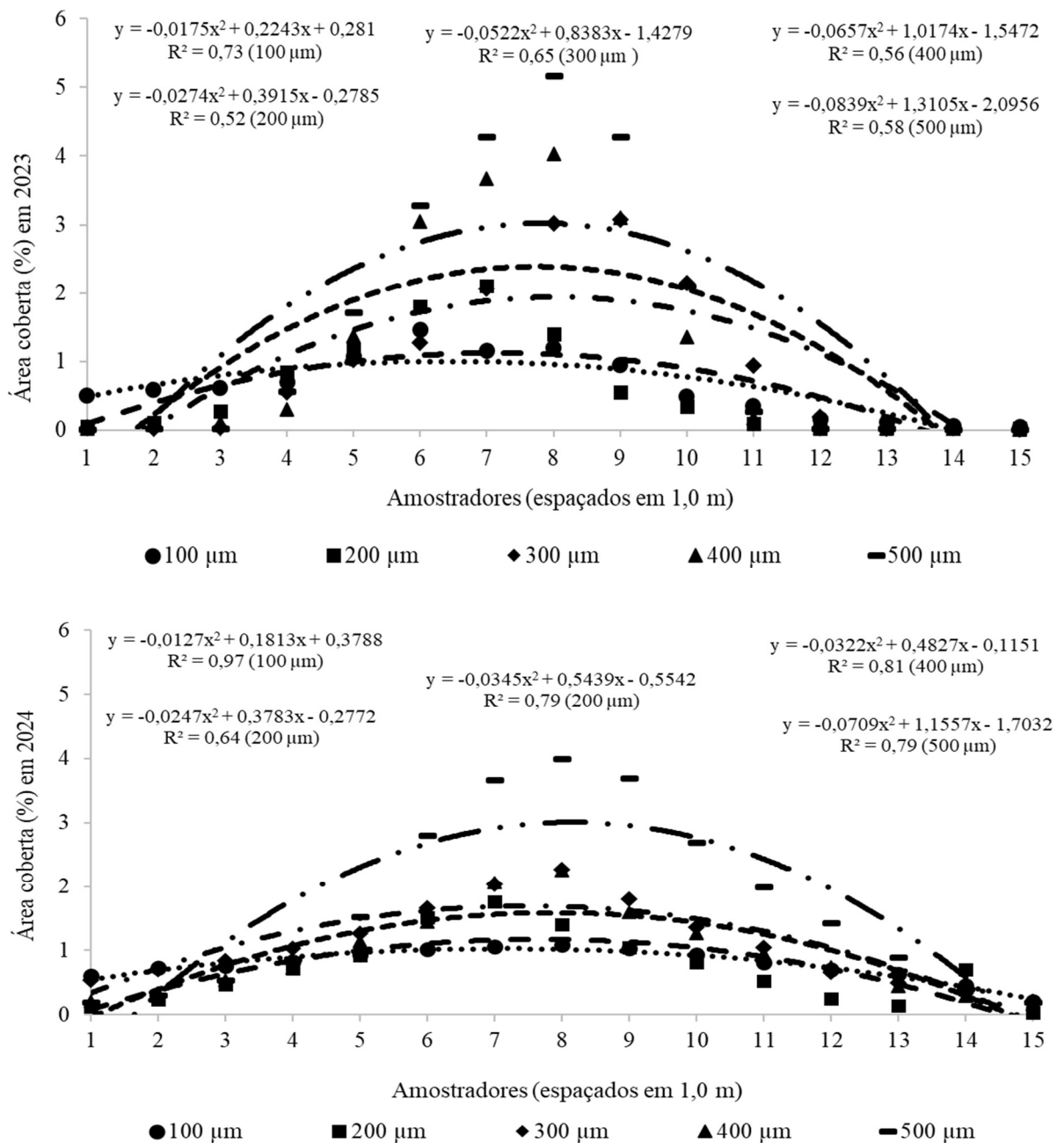
Ao examinar a área coberta dos papéis hidrossensíveis obtida pela pulverização com VANT, em setembro de 2023, se observou que houve registro de dados nos amostradores distribuídos nos 13 m de faixa. Os valores variaram de 0,01% a 5,17%. Destacou-se que todos os tamanhos de gotas foram significativos pelo teste de Fisher-Snedecor. Assim verificou-se que o ajuste indicado na regressão polinomial foi quadrático (Figura 3). Com os ajustes na regressão se identificou a tendência de haver maior concentração de área coberta nos amostradores centrais, reduzindo os valores nas extremidades. Com a elevação do tamanho de gota esta tendência se acentuou. Assim, a faixa com área coberta foi de 13 m para gotas geradas pela ponta rotativa de DMV com 100 e 200 μm e 12 m para gotas de 300 a 500 μm . O experimento foi realizado dentro dos limites de condições do ambiente (Antuniassi; Boller, 2019), contudo possíveis rajadas de vento deslocaram a pulverização à esquerda, ressaltando a influência desses fatores quanto mais distante as gotas são geradas do alvo.

Em setembro de 2024 os resultados foram similares. Houve a mesma tendência de concentração de área coberta nos amostradores centrais, acentuada pela elevação dos tamanhos de gotas gerados pela ponta rotativa do VANT. Entretanto, os valores tiveram menor variação, de 0,01% a 4,00%. Novamente as análises foram significativas para todos tamanhos de gotas gerados na pulverização, sendo o ajuste quadrático o ideal pelo teste estatístico. Assim, a faixa de pulverização com registro de área coberta foi ajustado pelas curvas com 14 m para gotas com DMV de 100 μm , 13 m de 200 a 400 μm e 12 m para 500 μm .

De acordo com Arcoverde *et al.* (2024) para um implemento hidráulico com o volume de calda de 100 L ha⁻¹ a eficiência da dessecação foi maior e com melhor área do alvo coberta, com valor de 36,5%. O presente trabalho apresenta volume de calda de 10 L ha⁻¹ com valor máximo de área coberta de 5,17%. Ao realizar a conversão proporcional, é possível notar que o presente trabalho apresenta um volume de apenas 10% do utilizado por Arcoverde *et al.*

(2024), indicando que a eficiência na deposição do produto foi relativamente superior (aproximadamente 14%) ao esperado em função do menor volume de calda.

Figura 4 - Porcentagem da área coberta dos impactos das gotas pulverizadas sobre papéis hidrossensíveis por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) sobre o oitavo amostrador, com altura de voo de 4,0 m do alvo, volume de calda de 10 L ha⁻¹, velocidade 5,6 m munido de duas pontas rotativas, variando o tamanho de gotas em micra (μm), 2023 e 2024, Ponta Grossa – PR ($p < 0,05$).



Fonte: A autora.

O estudo realizado por Guo *et al.* (2019) teve como foco a análise de vórtices (forte, moderado e com ausência) formados pelo voo do VANT WPH642™ operado a 20 metros acima do solo. Foram utilizados papéis hidrossensíveis nas camadas superior, média e inferior. Obteve-se resultados da área coberta com vórtice mais forte de 6% para a camada média e 7% para camada inferior e de 2% na camada superior sem vórtice. A comparação entre as pesquisas é limitada pela diferença de altura de voo de mais de 4,4 vezes. Contudo os resultados foram superiores à deste experimento, que chegou ao máximo de 5,17% de área coberta nos coletores centrais da faixa pulverizada. Supõe-se então que a altura de voo é mais uma variável a ser estudada em trabalhos futuros.

De acordo com Dengeru *et al.* (2022), o objetivo do estudo foi avaliar a deposição de inseticida com o uso do VANT E610P™, utilizando gotas finas a uma velocidade de 3 m s^{-1} e altura de voo de 1,6 m, resultando em uma faixa de aplicação de 3,8 metros. Nessas condições, foi observada a deposição máxima de 15,7% de área coberta no topo da planta. Neste trabalho há o aumento dos parâmetro de altura (4 metros) e velocidade (de $5,6 \text{ m s}^{-1}$), que indicou maior faixa de pulverização com 13 metros e redução na área coberta. A comparação evidencia que o desempenho da pulverização está relacionado entre o volume de aplicação, diâmetro de gotas e parâmetros operacionais do voo, sendo fundamental ajustar essas variáveis conforme o alvo biológico e as condições ambientais, para maximizar a eficiência da aplicação.

O experimento conduzido por Carneiro (2023) avaliou o volume ideal para dessecação com VANT AGRAS MG1-P, DJI™. Os resultados indicaram que para 5 L ha^{-1} a área coberta foi de 2% e ao se aplicar 25 L ha^{-1} , esse valor aumentou para 14%. Os resultados se alinham com o observado por Carneiro (2023), pois com volume intermediário de 10 L ha^{-1} foi apresentado o máximo de área coberta de 5,17%, que reforça a relação entre volume de calda e cobertura do alvo.

4.2 VOLUME RECUPERADO

A análise do volume recuperado para diferentes tamanhos de gotas revelou variações significativas, pelo teste de Fisher-Snedecor. Com a significância do teste “F”, foram aplicadas as análises de regressão polinomial, sendo o ajuste quadrático indicado como mais adequado para interpretar os resultados (Figura 4).

Em 2023, para gotas de $100 \text{ }\mu\text{m}$ foi observado o volume recuperado em 14 amostradores pela equação de segundo grau, com valores que variaram de $0,03$ a $1,40 \text{ L ha}^{-1}$.

Para 200 μm a faixa manteve-se com 13 metros, mas o volume recuperado variou de 0,02 a 2,09 L ha^{-1} . Já para tamanhos de gotas maiores (300 a 500 μm), a faixa reduziu para 12 metros para tamanhos de gotas de 300 μm a variação foi de 0,03 a 3,24 L ha^{-1} , de 400 μm de 0,03 a 4,14 L ha^{-1} e para 500 μm foi de 0,04 a 5,17 L ha^{-1} .

O volume recuperado no alvo variou 0,2% a 51,7% em relação aos 10 L ha^{-1} pulverizados pelo VANT. Observou-se maior concentração do volume nos amostradores centrais em que para gotas menores a faixa foi maior, porém com um menor volume recuperado e para gotas maiores a faixa foi menor, mas, com maior volume recuperado. Ao realizar uma comparação do maior volume recuperado do DMV de 100 μm (1,40 L ha^{-1}) com o DMV de 500 μm (5,17 L ha^{-1}), conclui-se que gotas maiores proporcionam um volume recuperado de 3,69 vezes maior.

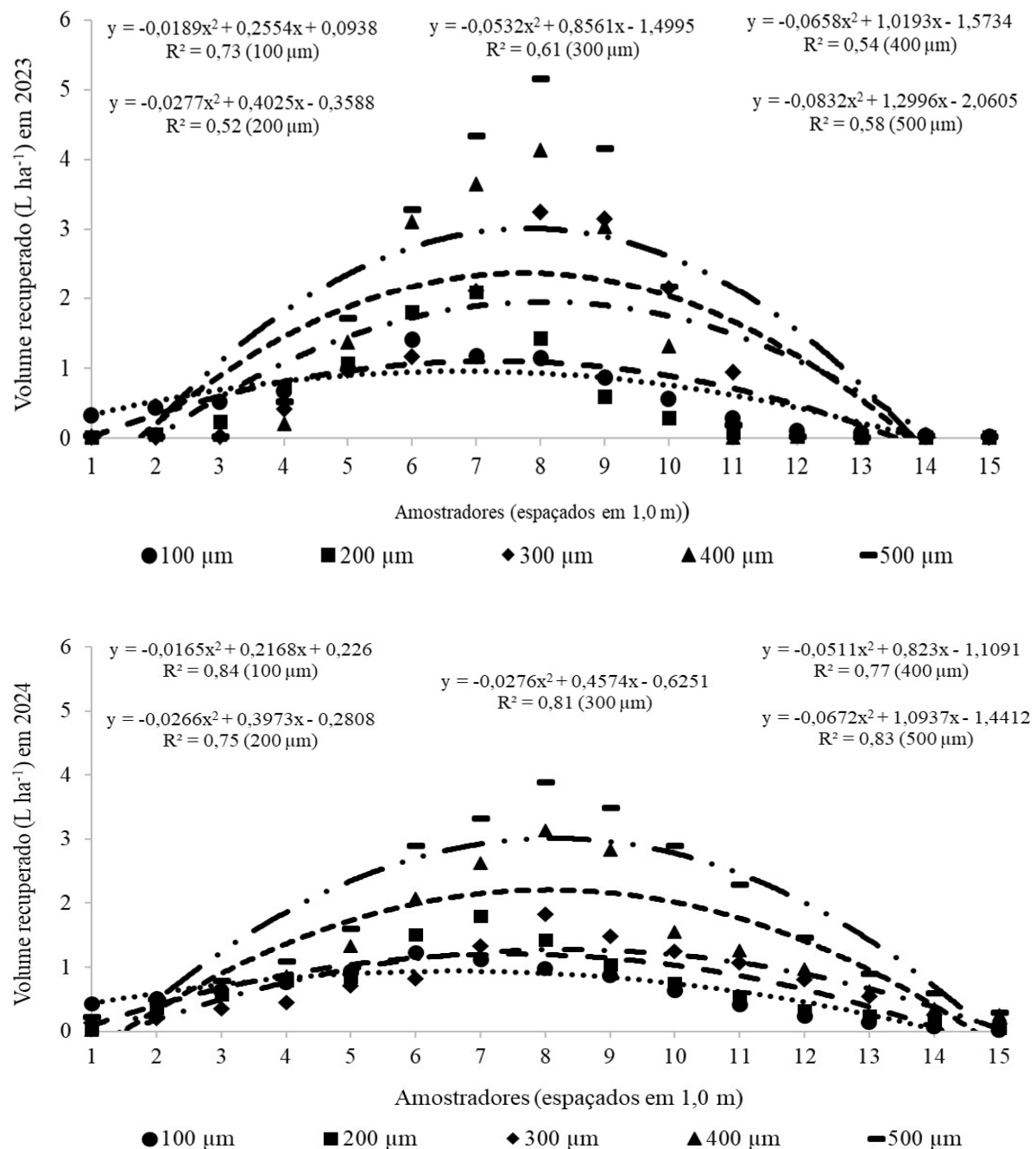
Os registros dos dados em 2024 destacaram que houve menor concentração do volume recuperado no centro da faixa de pulverização, tal fator pode ser atribuído a influência das condições do ambiente em função da altura de 4 metros acima do alvo. A distribuição na faixa foi de 14 metros para gotas menores (100 e 200 μm) e de 13 metros para gotas maiores (300, 400 e 500 μm). O volume recuperado para 100 μm variou de 0,02 a 1,23 L ha^{-1} , de 200 μm de 0,04 a 1,80 L ha^{-1} , 300 μm foi de 0,13 a 1,82 L ha^{-1} , de 400 μm de 0,03 a 3,14 L ha^{-1} e para 500 μm foi de 0,30 a 3,90 L ha^{-1} . Ao comparar os volumes máximos recuperados de 100 μm (1,23 L ha^{-1}) com de 500 μm (3,14 L ha^{-1}), conclui-se que gotas maiores indicam um volume recuperado 3,61 vezes maior.

Houve uma redução na concentração central da pulverização em relação a 2023, com aumento de 1,0 metro na faixa de pulverização. Gotas menores foram mais influenciadas pelas condições do ambiente, mantendo uma faixa de 14 metros, enquanto gotas maiores foram 13 metros. Como as gotas de diâmetros maiores tem mais massa, houve redução da influência das condições momentâneas do ambiente que em gotas menores, reduzindo a faixa pela diminuição da ação do vento no carregamento destas. Ao aumentar o tamanho de gota elevou-se o valor de volume recuperado, podendo ser atribuído à maior quantidade de líquido a ser evaporado entre a formação da gota na ponta rotativa e o impacto no papel hidrossensível.

De acordo com os dados de Souza; Castro e Palladini (2007) em que se avaliou a deposição da pulverização na cultura do algodão com pulverizador automotriz, o volume recuperado no alvo variou conforme o espectro de gotas: as gotas finas apresentaram 27,5% de recuperação; médias a grossas com 47,6% (150 L ha^{-1}) e gotas grossas a muito grossas a eficiência caiu para 39,3% (200 L ha^{-1}). Foi observado neste trabalho recuperações que

variaram de 14% (100 μm) a 51,7% (500 μm) em 2023 e os valores oscilaram entre 12,3% e 39% em 2024. Apesar do uso de volumes muito inferiores (10 L ha⁻¹), foi alcançado índices de recuperação superiores aos obtidos pelos autores citados.

Figura 5 - Volume recuperado (L ha⁻¹) dos impactos das gotas pulverizadas sobre papéis hidrossensíveis por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) sobre o oitavo amostrador, com altura de voo de 4,0 m do alvo, volume de calda de 10 L ha⁻¹, velocidade 5,6 m s⁻¹, munido de duas pontas rotativas, variando o tamanho de gotas em micra (μm), 2023 e 2024, Ponta Grossa – PR ($p < 0,05$).



Fonte: A autora.

No estudo conduzido por Sarghini *et al.* (2019) os resultados mostraram que a deposição máxima recuperada foi de 31% em relação ao volume total pulverizado, enquanto a deposição média variou entre 13% e 16%, indicando que mais de 84% do produto foi perdido. Os valores de volume recuperado neste trabalho variaram de 14% a 51,7% em 2023 e de 12,3% a 39% em 2024, com médias superiores a 20% em diversos tratamentos, mesmo com a aplicação de apenas 10 L ha⁻¹. Os dados ressaltam que a escolha adequada do diâmetro de gotas com o uso de VANT podem possuir eficiência superior aos de Sarghini *et al.* (2019) mesmo com volume menor.

O dados de Carneiro (2023) indicaram que, para um volume de calda de 10 L ha⁻¹, o volume recuperado foi de 6 L ha⁻¹. O presente trabalho obteve o volume máximo recuperado de 5,17 L ha⁻¹, o que ficou próximo dos registros divulgados por Carneiro (2023), a diferença pode ser explicada por fatores como condições do ambiente diferentes e parâmetros de voo distintos como altura de voo, velocidade e diâmetros de gotas.

4.3 DENSIDADE DE IMPACTO DE GOTAS

No experimento realizado em 2023 a densidade do impacto de gotas por cm⁻² foi de 01 a 132 para 100 µm, de 01 a 105 para 200 µm, de 01 a 70 para 300 µm; de 01 a 63 para 400 µm e de 01 a 41 para 500 µm (Figura 5). A faixa de pulverização seguiu a tendência das variáveis já analisadas, com 13 m de impacto das gotas com diâmetro médio de 100 e 200 µm e faixa de 12 m com anotações dos dados de gotas acima de 300 µm.

Em 2024 a quantidade de impacto de gotas por cm⁻² foi de 02 a 91 para 100 µm; de 02 a 83 para 200 µm; de 02 a 55 para 300 µm; de 03 a 48 para 400 µm e de 02 a 36 para 500 µm. Assim, manteve-se a faixa de 14 metros atingidos nos amostradores para diâmetros de gotas de até 200 µm, enquanto gotas maiores que 300 µm ficaram em 13 metros.

Enfatiza-se que foram registrados impactos de gotas acima da faixa de 10 m, estipulada para a pulverização nas condições experimentais. Entretanto, o controle do organismo indesejado também está relacionado a forma de ação do produto (sistêmico, contato ou translaminar) no alvo químico e biológico. Assim, o fato de se anotar pelo menos um impacto de gota no alvo não significa que o processo pode ser eficiente em toda faixa atingida na pulverização.

Apesar de as pontas rotativas funcionarem por força centrífuga, o que sugeriria maior alcance lateral para gotas mais grossas, observou-se nos dois anos de experimento uma maior

concentração dessas gotas nos amostradores centrais. Esse comportamento pode ser atribuído à influência da corrente de ar descendente gerada pelas hélices do VANT, que tende a direcionar gotas maiores mais rapidamente ao solo, limitando sua dispersão. Além disso, a interação entre o espectro de gotas, a turbulência do ar e as condições ambientais pode favorecer o arraste de gotas menores para distâncias maiores. Esses fatores aerodinâmicos ajudam a explicar essa distribuição, o que mostra a complexidade da dinâmica de pulverização com VANT.

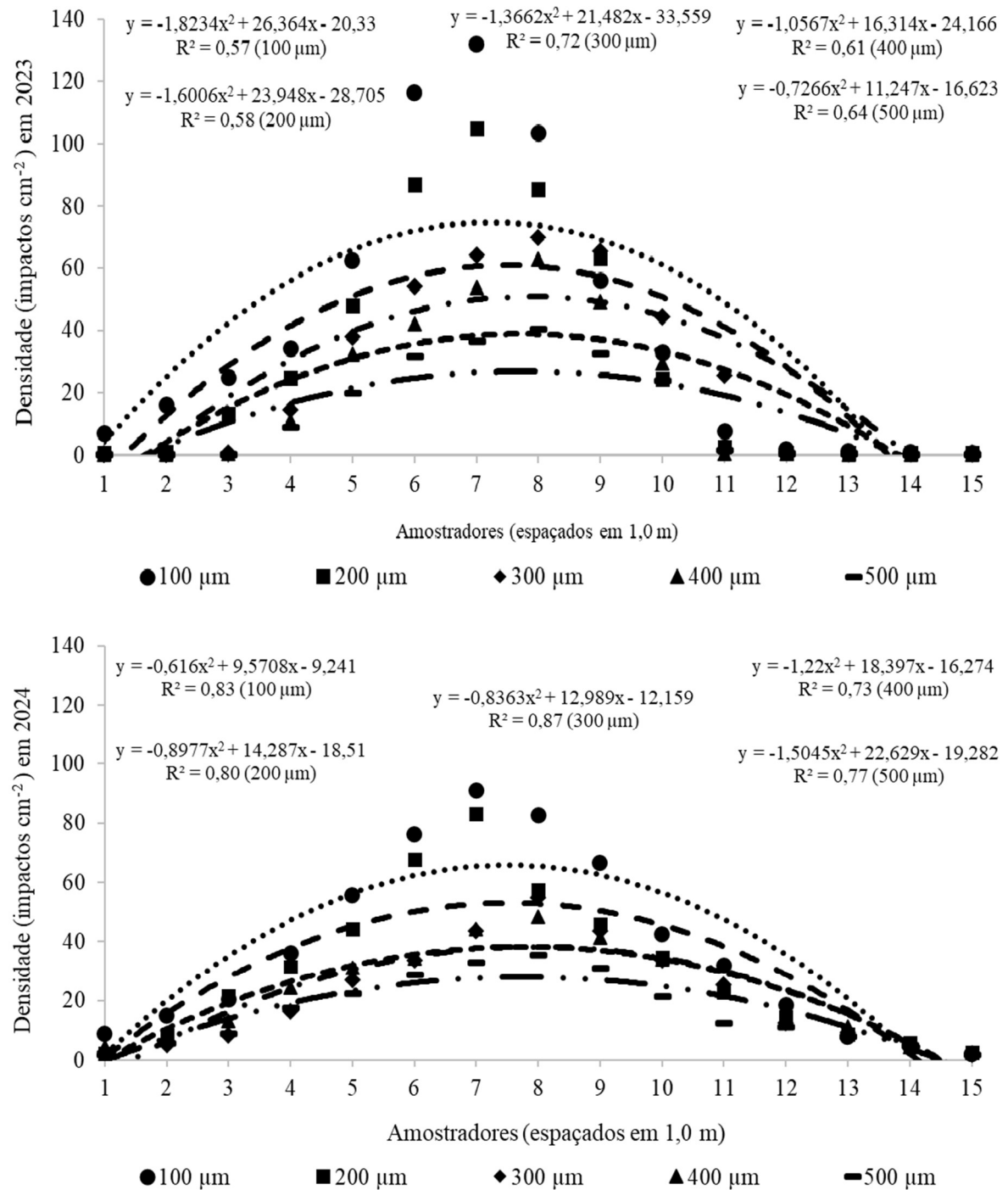
Na pesquisa realizada por Cunha e Silva (2023) objetivou-se avaliar a deposição de calda na cultura do milho com aplicação realizada pelo VANT AGRAS-MG-1 nas alturas de 1,5 e 3,0 metros em comparação com pulverizador costal. A taxa de aplicação foi de 10 L ha^{-1} para o VANT e 115 L ha^{-1} para o costal com pontas de jato plano (gotas finas). Chegaram a valores médios de densidade de gotas entre 26 e 39 gotas cm^{-2} . O presente trabalho utiliza a altura de 4,5 metros, mesma taxa de aplicação (10 L ha^{-1}) e densidade máxima de 132 gotas cm^{-2} para gotas finas. Esse resultado expressivamente maior pode indicar que, mesmo com elevada altura de voo, é possível obter alta densidade de impactos, o que pode estar relacionado à escolha adequada do espectro de gotas e às condições ambientais durante a aplicação.

O estudo sobre a qualidade de pulverização com um VANT de quatro rotores e um pulverizador convencional de pomar foram comparados na China. Foi conduzido em macieiras por Liu *et al.* (2020) aplicando 60 L ha^{-1} . Os cientistas registraram uma faixa de aplicação do VANT de 2,2 metros e a densidade máxima de gotas foi de 132 gotas cm^{-2} . Os resultados corroboram com Liu *et al.* (2020), pois foi encontrado exatamente a mesma densidade máxima.

No entanto, a faixa de deposição obtida foi significativamente maior, atingindo 14 metros, o que evidencia que o potencial de cobertura aumentou sob determinadas condições operacionais, como o espectro de gotas, altura de voo e condições meteorológicas no momento da aplicação.

Um estudo foi realizado no Paraná com VANT AGRAS MG1-P, DJITM, com pontas de jato plano com gotas finas (100 micra) e pulverização com volumes de 5, 10, 15, 20 e 25 L ha^{-1} de herbicidas. O experimento de Carneiro (2023) mostrou que densidade cresceu de 21 gotas cm^{-2} com 05 L ha^{-1} para 219 gotas cm^{-2} com 25 L ha^{-1} . Em comparação, o presente trabalho, utilizando volume fixo de 10 L ha^{-1} alcançou uma densidade máxima de 132 gotas cm^{-2} , valor superior ao reportado por Carneiro (2023) para o mesmo volume. Essa diferença pode estar relacionada a fatores como condições do ambiente, altura de voo, espectro de gotas, ou à distribuição do jato no momento da aplicação. Mesmo com volumes reduzidos, é possível alcançar altas densidades de impacto, desde que as condições técnicas e ambientais estejam bem ajustadas.

Figura 6 - Densidade (impactos cm^{-2}) das gotas pulverizadas sobre papéis hidrossensíveis por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) sobre o oitavo amostrador, com altura de voo de 4,0 m do alvo, volume de calda de 10 L ha^{-1} , velocidade 5,6 m s^{-1} , munido de duas pontas rotativas, variando o tamanho de gotas em micra (μm), 2023 e 2024, Ponta Grossa – PR ($p < 0,05$).



Fonte: A autora.

O experimento à campo na Índia, foi implantado para estudar características de deposição de inseticida com VANT E610P™ com pontas que geraram gotas finas. Dengeru *et al.* (2022) utilizou papéis hidrossensíveis na parte superior, meio e inferior das plantas, com VANT na velocidade de 3 m s^{-1} , altura de 1,6 metros em uma faixa de aplicação de 3,8 metros. Concluiu-se que houve maior densidade de impacto de gotas com 51 gotas cm^{-2} no topo da planta quando comparado com as demais. Em comparação, o presente trabalho, com altura de voo de 4,5 metros, obteve densidade máxima de $132 \text{ gotas cm}^{-2}$ e faixa de aplicação maior, de 14 metros. Mesmo com maior altura, o sistema de aplicação adotado foi eficiente demonstrando maior efetividade operacional quando comparado ao estudo de Dengeru *et al.* (2022).

4.4 POTENCIAL DE RISCO DE DERIVA

Os dados obtidos em 2023 sobre o potencial de risco de deriva, ajustados pelas curvas de regressão quadrática, destacaram que as gotas com diâmetros menores apresentam maiores valores que as gotas geradas com diâmetros maiores pelas pontas rotativas. A Figura 6 demonstra que para os menores diâmetro de gotas (100 e 200 μm) o potencial de deriva ao longo da faixa ficou acima de 80%. Para gotas de maiores diâmetros (300 a 500 μm) houve um declínio acentuado no potencial de risco de deriva, em que os pontos centrais da faixa pulverizada apresentaram porcentagens próximas a zero. Também ressalta que nas extremidades da faixa de 14 m há maior perda de produto, independentemente do tamanho de gotas.

Em 2024, como em 2023, as gotas com menores DMV (100 e 200 μm) indicam um potencial de deriva alto, com valores próximos a 100% nos dois primeiros metros de amostragem. As gotas com maiores DMV (300 a 500 μm) têm uma redução pouco acentuada ao longo da faixa pulverizada, quando comparado aos valores registrados em 2023. Houve uma distribuição mais homogênea da pulverização em 2024 que em 2023. Ao realizar uma comparação entre os dois anos de experimento, pode-se destacar que 2024 teve uma redução geral no risco de deriva, com distribuição mais uniforme e redução nas diferenças entre os impactos das gotas coletadas nos amostradores periféricos e centrais. Tal homogeneidade pode estar relacionada a menor influência das condições do ambiente no momento da realização do experimento. Evidencia-se a possibilidade de interferência das condições do ambiente (velocidade e direção do vento, umidade relativa do ar e temperatura) na pulverização aérea, onde a distância da geração de gota e alvo são maiores do que a operação terrestre.

Esses dados reforçam a importância da seleção do tamanho correto de gotas para pulverização agrícola. O uso de gotas menores - abaixo de 200 μm - podem atingir uma maior faixa de pulverização, mas ser utilizadas com muita cautela, pois apresentam um alto risco de deriva e são influenciadas pelas condições do ambiente, especialmente pelo vento, restringindo o controle da direção a ser tomada pelas gotas geradas nas pontas. Já gotas de 300, 400 e 500 μm indicam redução do risco de deriva, contudo, reduzindo a faixa atingida na aplicação.

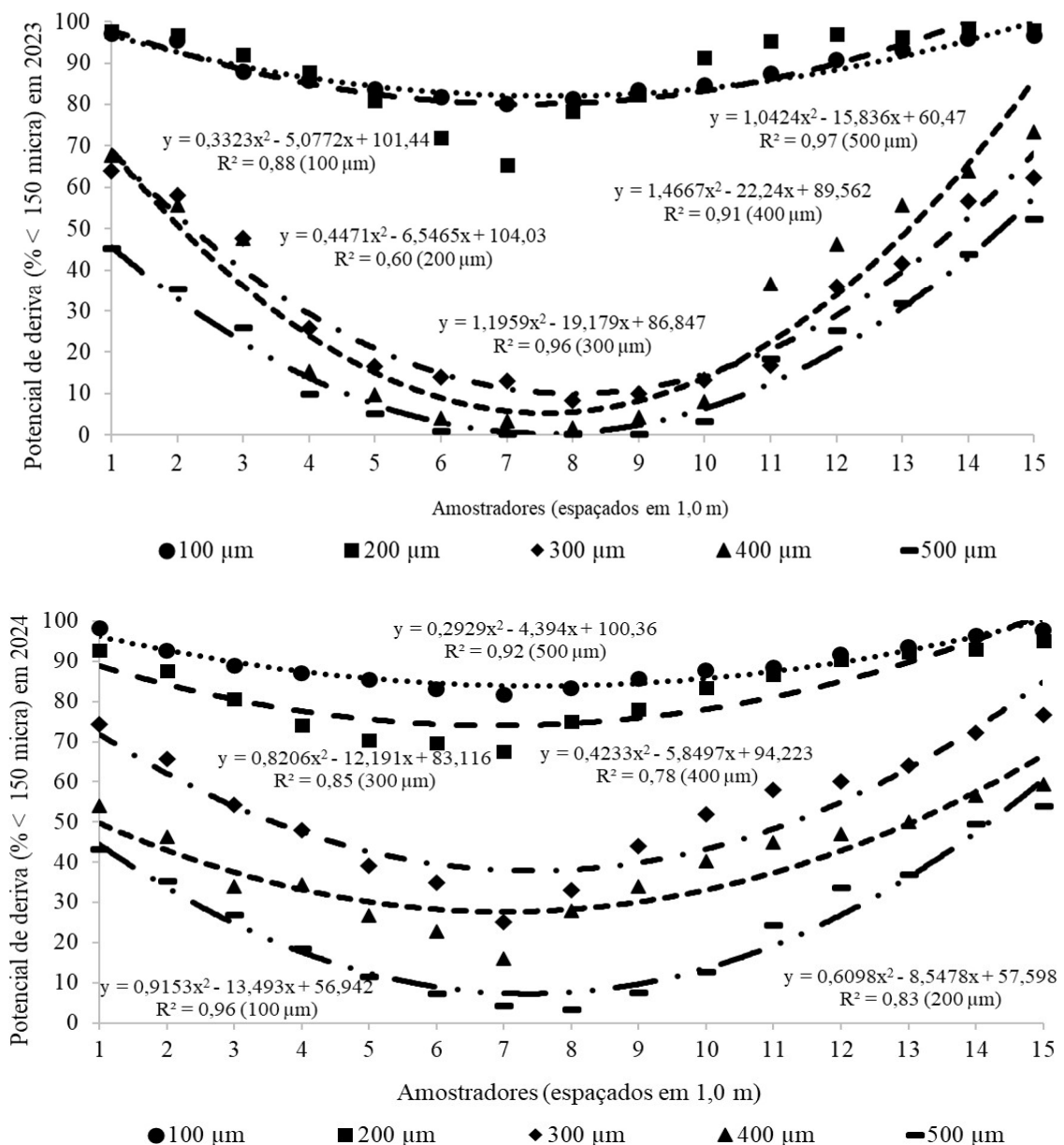
O experimento realizado por Vieira *et al.* (2019) foi utilizado um túnel de vento, analisou o potencial de risco de deriva com três pontas de pulverização, leque simples (fina a média), leque duplo (média a fina) e leque duplo com indução de ar (média a grossa). Os autores afirmam que a ponta leque duplo com indução de ar proporcionou maior uniformidade de pulverização e menor potencial de deriva, em função do maior diâmetro de gotas. Os dados do presente estudo corroboram com Vieira *et al.* (2019), pois mostram que para gotas maiores (300-500 μm) apresentaram menor risco de potencial de risco de deriva, mas com uma faixa de pulverização reduzida e maior uniformidade da pulverização.

Com objetivo de avaliar o potencial de risco de deriva em pulverizações aéreas, Moreira e Antuniassi (2024) realizou um experimento com simulador de aplicação com ventiladores com inseticida isolado e mistura com três adjuvantes na taxa de 20 L ha⁻¹ com ponta jato plano com três ângulos. Com um ângulo de 30°, os valores de percentual de risco de deriva foram de 10% a 13%, enquanto de 90° foram de 23% apenas com o inseticida. O adjuvante promoveu 20% de deriva no ângulo de 90°, a calda com óleo mineral nos ângulos de 30° e 55°, o percentual foi de 13% e 18%, respectivamente. Neste estudo, gotas menores (100 - 200 μm) apresentaram potencial de risco de deriva de até 100% nos primeiros metros da faixa pulverizada, enquanto gotas maiores (300 - 500 μm) reduziram esse risco para valores próximos de zero nas regiões centrais, torna-se evidente que os diferentes métodos empregados influenciam diretamente nos resultados obtidos.

Ao investigar os efeitos da velocidade de voo do VANT na pulverização de pessegueiros, Li *et al.* (2021) observaram que o aumento da velocidade de 1,0 para 3,0 m s⁻¹ resultou no incremento do diâmetro médio das gotas, passando de 302 para 496 μm . Esse aumento também favoreceu a formação de vórtices nas pontas das hélices, intensificando a dispersão de gotas finas e, conseqüentemente, elevando potencial de risco de deriva aérea. Por outro lado, o potencial de risco de deriva ao nível do solo apresentou uma redução significativa, passando de 20,2% para 1,1%. Entretanto, potencial de risco de deriva em altura aumentou, atingindo valores de até 1,0% a 8 metros do solo. No presente estudo, constatou-se que o risco

de potencial de risco de deriva foi diretamente proporcional à redução do diâmetro das gotas. As menores (100 e 200 μm) apresentaram potencial de risco de deriva próximo de 100% nos dois primeiros metros da faixa de pulverização. Por sua vez, gotas maiores (300 a 500 μm) reduziram expressivamente esse risco, mantendo valores próximos de zero nas regiões centrais.

Figura 7 - Potencial de risco de deriva (% de gotas com diâmetro menor que 150 micra) dos impactos das gotas pulverizadas sobre papéis hidrossensíveis por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) sobre o oitavo amostrador, com altura de voo de 4,0 m do alvo, volume de calda de 10 L ha⁻¹, velocidade 5,6 m s⁻¹, munido de duas pontas rotativas, variando o tamanho de gotas em micra (μm), 2023 e 2024, Ponta Grossa – PR ($p < 0,05$).



Fonte: A autora.

O experimento realizado por Wang *et al.* (2020) teve como objetivo comparar o potencial de risco de deriva de três diferentes diâmetros medianos volumétricos (DMV) de 100, 150 e 200 μm com rotação variando de 2.000 rpm a 17.000 rpm de um VANT P20, XAG CompanyTM a 04 metros do solo e velocidade de 5 m s^{-1} com o uso de um bico centrífugo. À medida que a rotação passou de 2.000 rpm para 17.000 rpm, o percentual de gotas menores que 150 μm aumentou de 03% para 96%, e o volume de gotas abaixo de 100 μm foi de 02% para 58%. O presente estudo obteve que gotas menores (100 e 200 μm) apresentaram maior potencial de risco de deriva, atingindo até 100% nos primeiros metros da faixa pulverizada e que gotas maiores (300 a 500 μm) apresentaram valores próximos de zero de potencial de risco de deriva nas regiões centrais da faixa. Os resultados corroboram com Wang *et al.* (2020), confirmando que o espectro de gotas gerado está diretamente relacionado ao potencial de risco de deriva.

Na pesquisa conduzida por Santos *et al.* (2024) na cultura do café conilon para determinar potencial de risco de deriva da calda pulverizada pelo VANT AGRAS T10, DJITM utilizou taxas de aplicação de 10 e 15 L ha^{-1} repetidos para as alturas de 3,0 e 4,0 metros. Os maiores percentuais de potencial de risco de deriva foram observados na altura de 4,0 metros, com destaque para a aplicação de 15 L ha^{-1} , que atingiu 29% de deriva a apenas 3 metros da faixa de aplicação. Em contrapartida, a menor perda foi registrada na menor altura de 3,0 m com volume de 10 L ha^{-1} , totalizando 1,7% de deriva a 15 metros. Este estudo indica que gotas menores (100 e 200 μm) têm um potencial de risco de deriva muito elevado, com valores próximos de 100% com faixa de pulverização de 14 metros, e maior perda em suas extremidades. Isso é consistente com os achados de Santos *et al.* (2024), que também indicam que o potencial de risco de deriva pode ser mais elevado quando o volume de calda aumenta pelo incremento da pressão e a altura de voo é maior.

4.5 DIÂMETRO DA GOTA COM 10% DO VOLUME ACUMULADO

No ano de 2023, foi observado para diâmetro da gota com 10% do volume acumulado ($DV_{0,1}$ μm): 100 μm obteve variação entre 62 a 93 μm , 200 μm foi 61 a 141 μm , 300 μm foi 64 a 161 μm , 400 μm foi 60 a 223 μm e para 500 μm foi 60 a 324 μm . Para diâmetros de gotas menores (100 e 200 μm) a faixa foi de 13 metros, enquanto para diâmetros maiores (acima de 300 μm) foi de 12 metros. Quanto maior o tamanho de gota, maior o pico de $DV_{0,1}$ μm e menor chance do potencial de risco de deriva (Figura 7).

Em 2024, o diâmetro da gota de 10% do volume acumulado mostra que: 100 μm houve variação de 62 a 95 μm , 200 μm foi 63 a 126 μm , 300 μm foi 71 a 141 μm , 400 μm foi 74 a 202 μm e 500 μm foi 64 a 241 μm . Todos tamanhos de gotas atingiram 14 metros, gotas maiores (300 a 500 μm) tiveram um padrão de distribuição alto no centro da faixa pulverizada. Em ambos os anos houve uma distribuição com valores mais elevados no centro da faixa. Em 2024, para gotas maiores o $DV_{0,1}$ μm foi menor que em 2023, isso reflete que gotas maiores são menos suscetíveis a evaporação ou fragmentação que foram influenciadas por condições externas como umidade relativa do ar.

De acordo com o experimento realizado por Garcia *et al.* (2024) com pulverizador de CO_2 , a ponta com menor $DV_{0,1}$ no terço superior foi a duplo leque (159 μm), enquanto a maior foi com indução de ar (446 μm). Nos demais terços, os menores valores foram da ponta duplo leque, com 84 μm (médio) e 81 μm (inferior), enquanto os maiores ficaram com a ponta de indução de ar (188 μm e 130 μm , respectivamente). No presente estudo os $DV_{0,1}$ variaram de 60 a 324 μm (2023) e de 62 a 241 μm (2024).

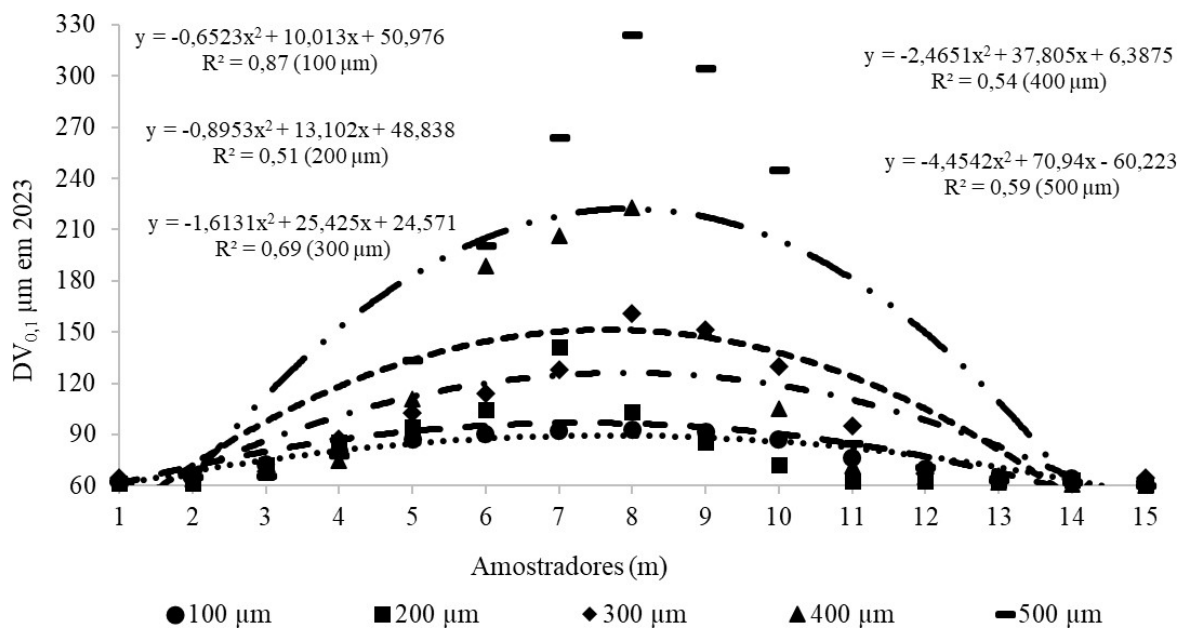
Assim como no estudo de Garcia *et al.* (2024), observou-se que gotas maiores apresentaram $DV_{0,1}$ mais elevados, reforçando que o tipo de ponta e o tamanho da gota influenciam diretamente na formação de gotas finas e, portanto, no potencial de risco de deriva. Apesar das diferenças nos equipamentos (CO_2 e VANT), ambos os estudos corroboram a importância da escolha da ponta e da tecnologia de geração de gotas na qualidade da aplicação.

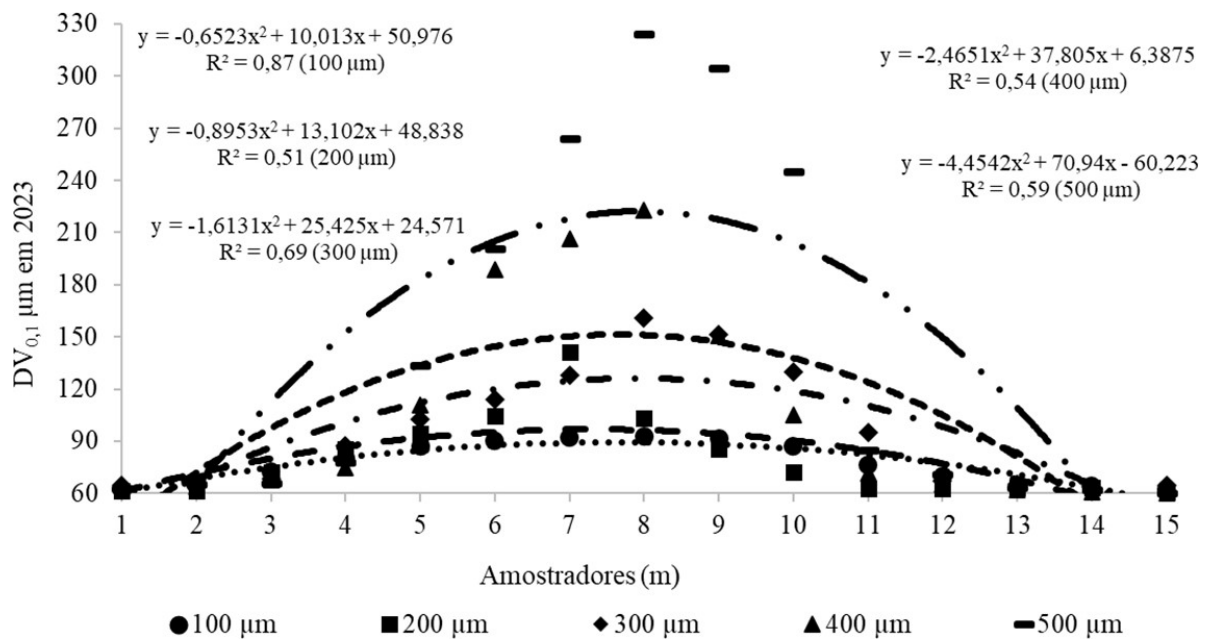
A pesquisa realizada por Arcoverde *et al.* (2024) com implemento hidráulico obteve resultados de $DV_{0,1}$: 80 L ha^{-1} foi de 245,1 μm , para 100 L ha^{-1} foi de 416,7 μm , 200 L ha^{-1} foi 474,8 μm e 250 L ha^{-1} foi 351,5 μm . Os menores valores foram obtidos com volume de 80 L ha^{-1} e os maiores com 200 L ha^{-1} . No presente estudo, com uso de VANT e pontas rotativas, os valores de $DV_{0,1}$ foram inferiores, variando de 60 a 324 μm em 2023 e de 62 a 241 μm em 2024. Essa diferença destaca a influência do sistema de aplicação, especialmente na geração das gotas, e demonstra que, apesar de o volume de calda impactar o $DV_{0,1}$ a tecnologia de pulverização tem papel determinante no potencial de risco de deriva.

No ensaio realizado por Araújo *et al.* (2024) utilizou pulverizador costal pressurizado por CO_2 e pontas hidráulicas AD 110.01, com aplicação do fungicida feita com e sem adjuvante a uma taxa de 80 L ha^{-1} . Os resultados encontrados mostram que o uso de adjuvante proporcionou aumento médio de 16% no terço superior das plantas. Sem adjuvante o $DV_{0,1}$ ficou em torno de 100 μm , enquanto com adjuvante, o valor subiu para aproximadamente 116 μm . No presente estudo, mesmo sem o uso de adjuvantes, os valores de $DV_{0,1}$ foram superiores

a 100 μm para várias condições, com destaque para as gotas maiores, que atingiram até 324 μm em 2023 e 241 μm em 2024. Essa diferença pode ser atribuída ao sistema de aplicação com VANT e pontas rotativas, que favorece a formação de gotas mais homogêneas e menos suscetíveis à formação de frações muito finas.

Figura 8 – Diâmetro da gota com 10% do volume acumulado ($DV_{0,1}$ μm) dos impactos das gotas pulverizadas sobre papéis hidrossensíveis por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) sobre o oitavo amostrador, com altura de voo de 4,0 m do alvo, volume de calda de 10 L ha^{-1} , velocidade 5,6 m s^{-1} , munido de duas pontas rotativas, variando o tamanho de gotas em micra (μm), 2023 e 2024, Ponta Grossa – PR ($p < 0,05$).





Fonte: A autora.

O experimento conduzido por Wang *et al.* (2020) definiu $DV_{0,1}$ para 2000 rpm de 251 μm , enquanto 17.000 rpm foi de 59 μm . No presente estudo, os valores de $DV_{0,1}$ oscilaram entre 60 e 324 μm em 2023 e entre 62 e 241 μm em 2024. Essa semelhança nos resultados reforça a influência direta da rotação dos bicos centrífugos na formação de gotas finas, sendo um fator crítico para o gerenciamento do potencial de risco de deriva. A menor altura de voo e as características operacionais do VANT utilizado também contribuíram para uma faixa de deposição mais controlada.

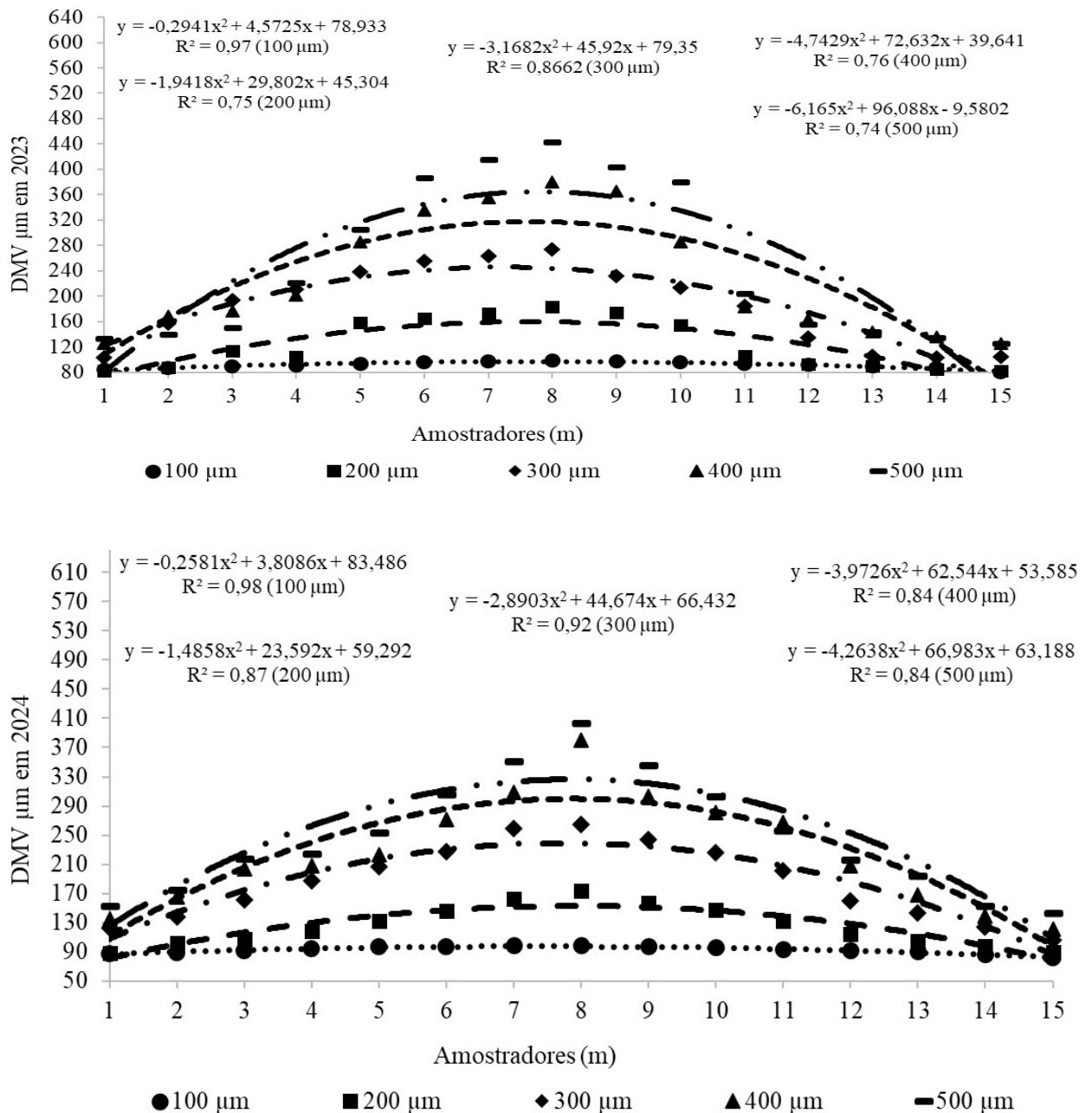
4.6 DIÂMETRO DA GOTA COM 50% DO VOLUME ACUMULADO

No primeiro ano de experimento, em 2023, para diâmetro de gota com 50% do volume acumulado ($DV_{0,5}$ μm) os dados registrados apresentaram as seguintes variações: 100 μm variou de 81 a 97 μm , 200 μm foi 56 a 459 μm , 300 μm foi 55 a 246 μm , 400 μm foi 62 a 317 μm e 500 μm foi 45 a 365 μm . Pode-se observar que diâmetros de gotas menores (100 e 200 μm) mantiveram valores relativamente baixos e uma curva menos acentuada quando comparada aos maiores diâmetros de gotas (acima de 300 μm). Nota-se um pico de $DV_{0,5}$ μm relevante nos amostradores centrais das gotas maiores, indicando uma maior concentração de pulverização nesta região (Figura 8).

No segundo ano de coleta dos dados o $DV_{0,5}$ μm foi: 100 μm variou de 82 a 97 μm , 200 μm foi de 78 a 152 μm , 300 μm entre 86 a 239 μm , 400 μm variou de 97 a 299 μm e 500 μm foi 108 a 326 μm . O gráfico seguiu o mesmo padrão que 2023, com picos acentuados no centro da faixa pulverizada. Gotas de diâmetros maiores tiveram valores de $DV_{0,5}$ μm menores no centro da faixa que 2023, o que pode indicar a influência de condições ambientais; sugerindo menor ação do vento, evaporação ou fragmentação de gotas, maior umidade relativa do ar e menor temperatura.

O estudo de Arcoverde *et al.* (2024), com pulverizador hidráulico terrestre equipado com pontas de cone vazio, apresentou valores de DMV variando de 478,4 μm a 1238,7 μm , de acordo com o volume e o horário de aplicação, caracterizando um espectro de gotas de grossa a extremamente grossa. No presente estudo, utilizando VANT com pontas rotativas, os valores de $DV_{0,5}$ foram significativamente menores, variando de 81 a 97 μm para gotas de 100 μm e de 45 a 365 μm para gotas de 500 μm em 2023, enquanto em 2024 os valores foram de 82 a 97 μm (100 μm) e de 108 a 326 μm (500 μm), mantendo o mesmo padrão. A comparação entre os estudos demonstra que, além do volume de calda, o tipo de equipamento e o mecanismo de geração de gotas influenciam diretamente o DMV, sendo que o pulverizador terrestre produziu gotas maiores, com possível influência da coalescência nos cartões, enquanto o VANT gerou DMV menores, com maior uniformidade e menor risco de superestimação.

Figura 9 – Diâmetro da gota com 50% do volume acumulado ($DV_{0,5}$ μm) dos impactos das gotas pulverizadas sobre papéis hidrossensíveis por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) sobre o oitavo amostrador, com altura de voo de 4,0 m do alvo, volume de calda de 10 L ha^{-1} , velocidade $5,6 \text{ m s}^{-1}$, munido de duas pontas rotativas, variando o tamanho de gotas em micra (μm), 2023 e 2024, Ponta Grossa – PR ($p < 0,05$).



Fonte: A autora.

O estudo realizado por Guo *et al.* (2019) obteve os seguintes valores de DMV: a parte inferior apresentou até 345 μm , com menor média registrada de 144 μm , já nas camadas médias os valores variaram de 317 a 370 μm . No presente estudo os maiores diâmetros (400 e 500 μm)

apresentaram picos no centro da faixa, com valores máximos de até 365 μm (2023), enquanto em 2024 esses valores foram menores, com máximos de até 326 μm . Apesar da diferença de altura entre os dois trabalhos o DMV foi semelhante e indicou uma pulverização mais eficiente que a apresentada por Guo *et al.* (2019).

A pesquisa conduzida por Liu *et al.* (2020) demonstraram uma faixa de aplicação do VANT de 2,2 metros e DMV das gotas de 139 μm . O presente estudo conta com uma faixa aproximada de 14 metros e DMV máximo de 459 e mínimo de 46 μm . Mesmo com um volume 6 vezes maior, o DMV e faixa pulverizado de Liu *et al.* (2020) foram menores. Tais discrepâncias podem ser atribuídas às distintas técnicas de aplicação empregadas (pontas, pressão, altura de voo, velocidade, condições do ambiente).

O experimento efetuado por Wang *et al.* (2020) apresentou DMV de 591 a 93 μm . O DMV neste estudo apresentou para menores diâmetros de gotas 78 a 459 μm e para maiores diâmetros de 55 a 365 μm . Embora ambos os estudos apresentem a mesma tendência de redução do DMV com o aumento da rotação, a diferença nos valores absolutos pode ser atribuída às configurações operacionais específicas de cada modelo de VANT.

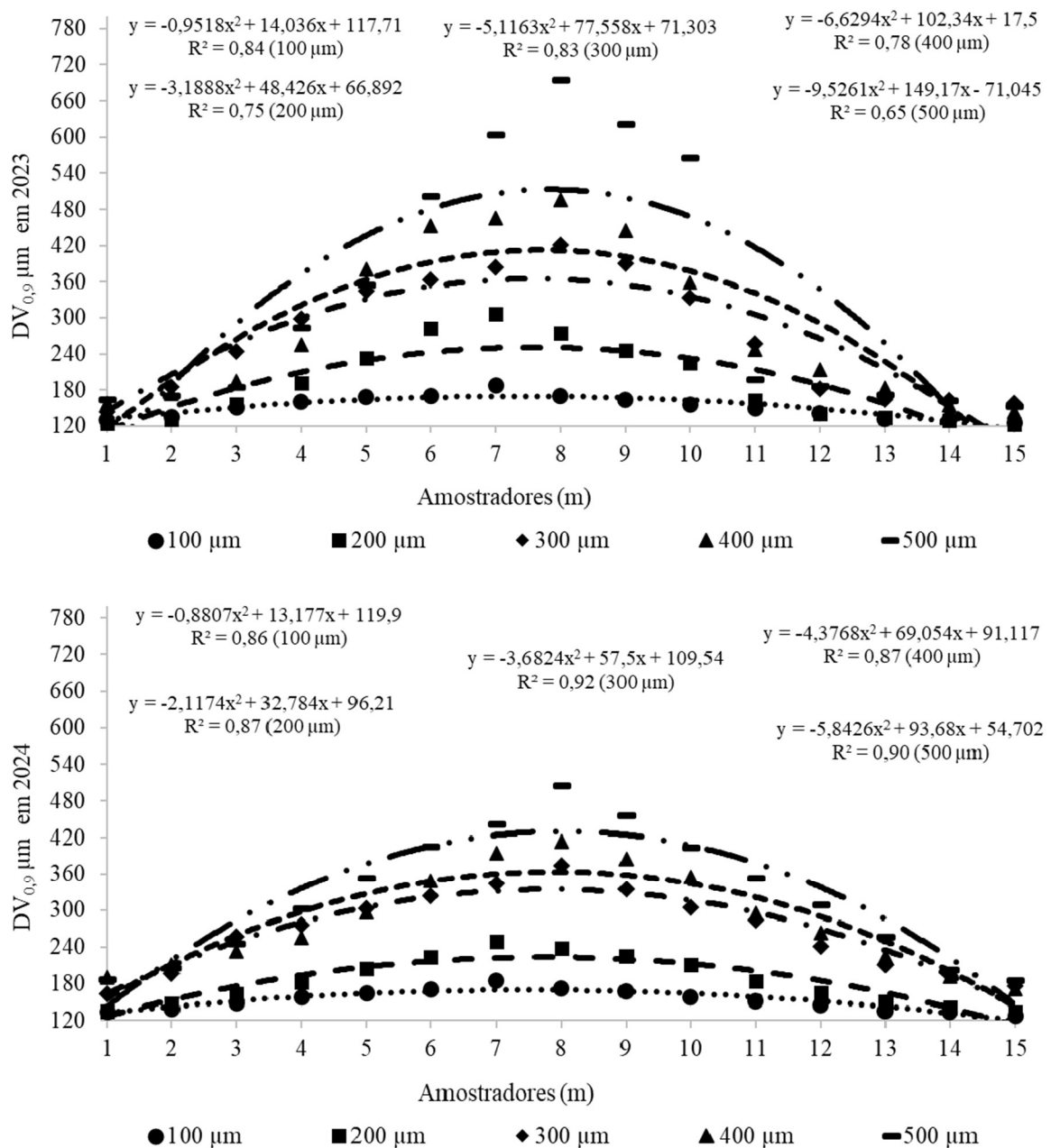
4.7 DIÂMETRO DA GOTA COM 90% DO VOLUME ACUMULADO

O diâmetro de gota com 90% do volume acumulado ($DV_{0,9}$ μm) em 2023, ajustado com equação quadrática, apresentou os seguintes intervalos: 100 μm variou de 114 a 169 μm , 200 μm foi 76 a 250 μm , 300 μm foi 84 a 364 μm , 400 μm foi 61 a 412 μm e 500 μm foi 23 a 513 μm (Figura 9). A maior deposição de gotas atingiu os papéis hidrossensíveis centrais da faixa pulverizada e diminui nas extremidades. Gotas de diâmetros menores (100 e 200 μm) mostram curvas menos inclinadas quando comparada a maiores diâmetros de gotas (acima de 300 μm).

A segunda coleta ressaltou que o diâmetro de gota com 90% do volume acumulado obteve os seguintes intervalos para os diâmetros de gotas regulados no VANT: 100 μm variou de 119 a 169 μm , 200 μm foi 111 a 223 μm , 300 μm foi 143 a 333 μm , 400 μm foi 142 a 363 μm e 500 μm foi 142 a 430 μm . O gráfico de 2024 apresenta curva menos acentuada em comparação a 2023, especialmente para diâmetros de gotas maiores (300 a 500 μm). Este comportamento pode estar relacionado a condições ambientais mais favoráveis, como menor velocidade do vento e umidade relativa do ar, reduzindo a evaporação das gotas. Destaca-se a

influência do ambiente em pulverização aérea, onde a gota deve percorrer cerca de 4,0 m para atingir o alvo, como nas condições experimentais.

Figura 10 – Diâmetro da gota com 90% do volume acumulado ($DV_{0,9}$ μm) dos impactos das gotas pulverizadas sobre papéis hidrossensíveis por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) sobre o oitavo amostrador, com altura de voo de 4,0 m do alvo, volume de calda de 10 L ha^{-1} , velocidade $5,6 \text{ m s}^{-1}$, munido de duas pontas rotativas, variando o tamanho de gotas em micra (μm), 2023 e 2024, Ponta Grossa – PR ($p < 0,05$).



Fonte: A autora.

O experimento realizado por Garcia *et al.* (2024) indicou que no terço superior, as maiores gotas foram obtidas com a ponta de indução de ar (1.681 μm) e as menores com a duplo leque (858 μm). Já no terço médio, com 986 μm para indução de ar e 405 μm para duplo leque e no terço inferior, os valores oscilaram entre 742 μm (indução de ar) e 275 μm (duplo leque). O presente estudo obteve intervalos de $DV_{0,9}$ μm entre 76 a 250 μm para gotas de diâmetros menores e 23 a 513 μm para gotas de diâmetros maiores. A diferença entre os experimentos se deve ao tipo de maquinário utilizado, apesar deste fator, os dados corroboram com Garcia *et al.* (2024) pois o aumento do tamanho de gotas influencia o $DV_{0,9}$.

O estudo realizado por Arcoverde *et al.* (2024) indicou que com 80 L ha⁻¹ o $DV_{0,9}$ foi de 1048 μm , enquanto com 200 L ha⁻¹ alcançou 1772 μm . Já os volumes de 100 L ha⁻¹ e 250 L ha⁻¹ apresentaram 1542 μm e 1375 μm , respectivamente. Neste estudo o $DV_{0,9}$ foi de 23 a 513 μm para 10 L ha⁻¹ com pulverização realizada por VANT. Essa diferença destaca novamente a influência do sistema de aplicação, especialmente na geração das gotas.

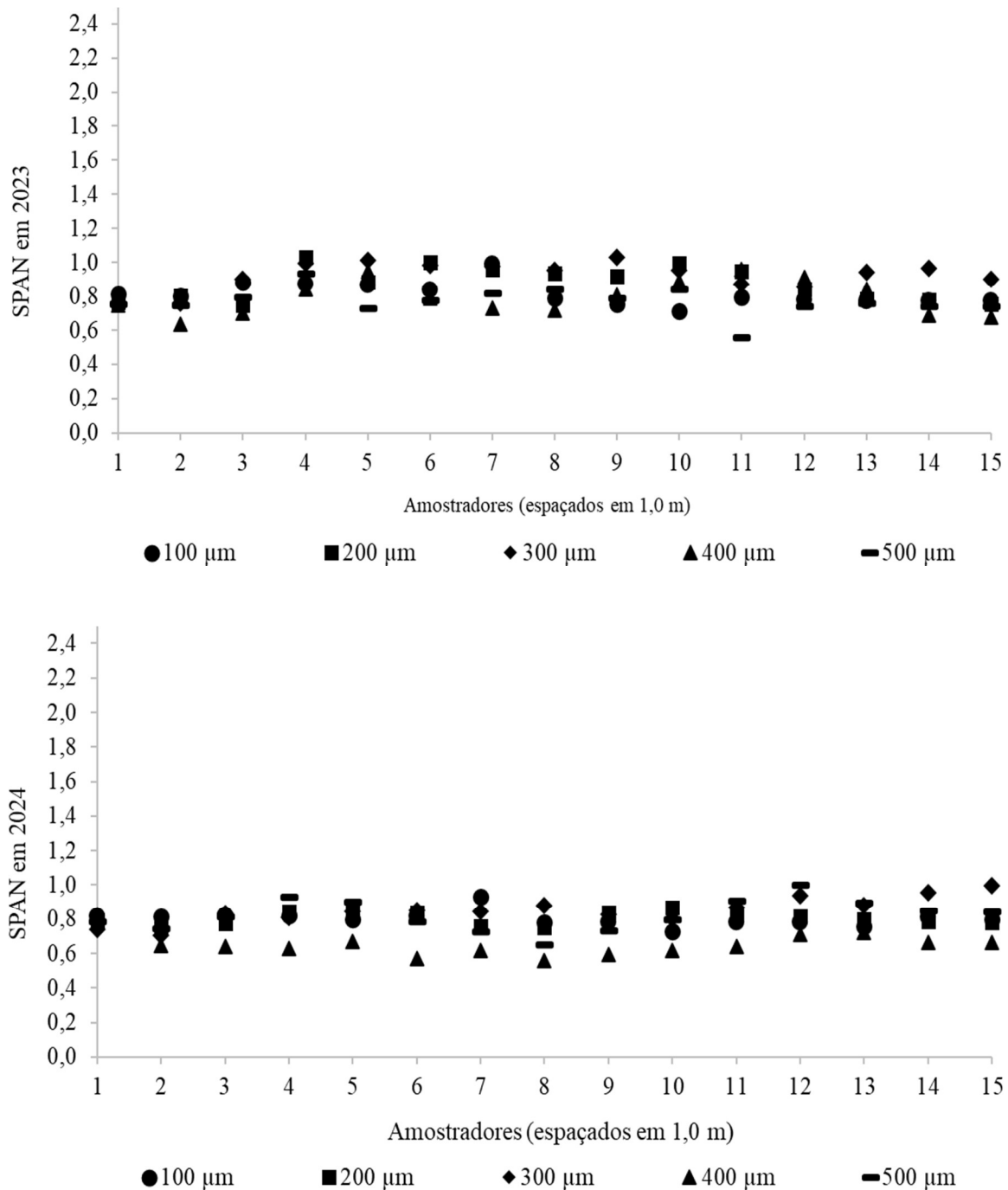
Os resultados encontrados por Araújo *et al.* (2024) sobre $DV_{0,9}$ por variaram entre 490 e 530 μm , enquanto este trabalho apresenta o máximo de 513 μm . O trabalho apresenta maior eficiência quando comparado ao de Araújo *et al.* (2024) que foi realizado com um pulverizador pressurizado por CO₂, a influência das pontas rotativas do VANT podem favorecer uma aplicação mais homogênea.

O experimento realizado por Wang *et al.* (2020) chegou aos resultados de $DV_{0,9}$ em baixa rotação (2000 rpm) de 1236 μm , e em alta rotação (17.000 rpm) de 131 μm . Este experimento obteve dados sobre $DV_{0,9}$ μm entre 76 a 250 μm para gotas de diâmetros menores e 23 a 513 μm para gotas de diâmetros maiores. Wang *et al.* (2020) utilizou um bico centrífugo, onde a rotação extrema do disco promove uma quebra intensa das gotas, gerando uma fração maior de gotas finas, o que reduz fortemente o $DV_{0,9}$.

4.8 AMPLITUDE RELATIVA (SPAN)

Em relação à amplitude relativa (SPAN), não foram observadas diferenças significativas pelo teste de Fisher-Snedecor. Isso indica que a uniformidade do tamanho de gotas manteve-se estável entre os amostradores analisados. Esses resultados podem levar a conclusão de que a amplitude do espectro de gotas (distância entre a maior e a menor gota) na faixa pulverizada não sofreu grandes variações, contribuindo para uma aplicação mais uniforme do produto (Figura 10).

Figura 11 – Amplitude relativa (SPAN) dos impactos das gotas pulverizadas sobre papéis hidrossensíveis por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) sobre o oitavo amostrador, com altura de voo de 4,0 m do alvo, volume de calda de 10 L ha⁻¹, velocidade 5,6 m s⁻¹, munido de duas pontas rotativas, variando o tamanho de gotas em micra (μm), 2023 e 2024, Ponta Grossa – PR ($p < 0,05$).



Fonte: A autora.

Tanto no experimento realizado em 2023 quanto no de 2024, os valores permaneceram abaixo de 1,0, sugerindo uma distribuição uniforme do espectro de gotas na faixa pulverizada.

Esse comportamento indica pulverização homogênea de acordo com classificação de Vitória *et al.*, 2014 com menor variação no tamanho das gotas ao longo dos amostradores, que indica um fator importante para a eficiência da aplicação e a redução de perdas por deriva. Também sugere que os fatores ambientais, como vento e umidade relativa do ar, não exerceram influência suficiente para alterar a uniformidade do tamanho das gotas em ambas pulverizações.

De acordo com a pesquisa de Garcia *et al.* (2024), foi registrado os resultados em que no terço superior com a ponta de indução de ar o índice foi de 1,3 e a ponta duplo leque apresentou o valor mais alto de 2,0. No terço médio, os valores ficaram próximos de 1,6 a 1,8 e no terço inferior, o índice variou de 1,3 a 1,5, sendo mais homogêneo nas pontas que geram gotas maiores. No presente estudo, os valores de SPAN foram abaixo de 1,0, independentemente do tamanho das gotas, indicando uma pulverização mais uniforme em comparação aos dados de Garcia *et al.* (2024). Esses resultados sugerem que o uso de pontas rotativas no VANT pode proporcionar maior eficiência na pulverização, com uma formação de gotas mais homogênea.

No estudo implementado por Cunha e Silva (2023) se quantificou a deposição de calda na cultura do milho com aplicação realizada pelo VANT. Os autores asseguram que os valores médios de amplitude relativa fora de 0,9 e a faixa de deposição efetiva foi de 5,7 e 7,6 m para alturas de voo de 1,5 e 3,0 m. Os dados deste trabalho corroboram com Cunha e Silva (2023), pois os índices foram abaixo de 01, indicando homogeneidade do espectro de gotas.

O experimento realizado por Wang *et al.* (2020) destacou os seguintes resultados de SPAN: para 2000 rpm foi de 0,78 enquanto para 17.000 rpm foi de 1,67, indicando que gotas grossas possuíram maior homogeneidade pulverizada. No presente estudo se registrou que o índice foi o mesmo (abaixo de 01) independente do diâmetro de gotas, indicando homogeneidade em todas pulverizações.

Os resultados para SPAN obtidos por Carneiro (2023) foram constantes mesmo com o aumento do volume de aplicação, com um valor médio de 1,4. O presente trabalho mostrou que com volume constante de 10 L ha⁻¹ o índice de amplitude relativa foi menor que 01 para diferentes tamanhos de gotas, indicando maior homogeneidade da pulverização quando relacionada com a de Carneiro (2023), pode ser explicado por condições ambientais e pela diferença do modelo de VANT utilizado.

4.9 COEFICIENTE DE VARIAÇÃO

Os dados coletados para coeficiente de variação dos diâmetros dos impactos das gotas foram estatisticamente significativos pelo teste Fisher-Snedecor, com intervalo de confiança de 95% de probabilidade, indicando diferenças significativas nos dados que foram de 0 a 22%. No ano de 2023, o coeficiente de variação apresentou os seguintes dados: de 100 μm foi de zero a 22,0%; 200 μm foi zero a 13,0 %; 300 μm foi zero a 11,0%; 400 μm foi zero a 7,0% e 500 μm foi zero a 6,0%. O menor diâmetro de gota testado (100 μm) apresentou maior dispersão de dados que as demais, mantendo esta tendência ao se elevar o diâmetro das gotas pulverizadas. O resultado segue a lógica de que quanto mais impactos de gotas nos papéis hidrossensíveis, maior dispersão de tamanhos com elevação do coeficiente de variação (Figura 11).

Em 2024, o coeficiente de variação foi: zero a 9,0% para 100 μm de 200 μm foi zero a 10,0%; 300 μm foi 0,3 a 12,0%; 400 μm foi 0,7 a 14,0% e 500 μm foi zero a 20,0%. Nos dois anos em que o experimento foi instalado os resultados seguiram o mesmo padrão. Quanto maior o número de gotas mais elevado foi coeficiente de variação. Assim, com maior densidade de gotas menores e nos amostradores centrais, obteve-se um decréscimo nos valores com diâmetros de gotas geradas se elevando. A menor variabilidade do coeficiente de variação em 2024 sugere que a pulverização pode ter sido menos influenciada por fatores do ambiente, como velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura.

A classificação proposta por Garcia (1989) para o CV poder ser considerado baixo, devem ser abaixo de 10%; médio variam de 10 a 20%; alto de 20 a 30% e muito alto ficam acima de 30%. Aplicando tal classificação ao experimento com VANT, pode-se afirmar que o CV para os diferentes tamanhos de gotas gerados foram: alto para gotas de 100 μm , médio para 200 e 300 μm e baixo para 400 e 500 μm .

A simulação do CV da distribuição volumétrica em função ao espaçamento entre pontas e altura da barra foi analisada por Cunha e Ruas (2007). Os autores definiram que coeficiente de variação inferiores a 10% é ideal. Partindo deste pressuposto, no que se refer aos diâmetros de gotas analisados pelos impactos das gotas em papéis hidrossensíveis, somente os diâmetros de 400 e 500 μm atingiram valores ideais.

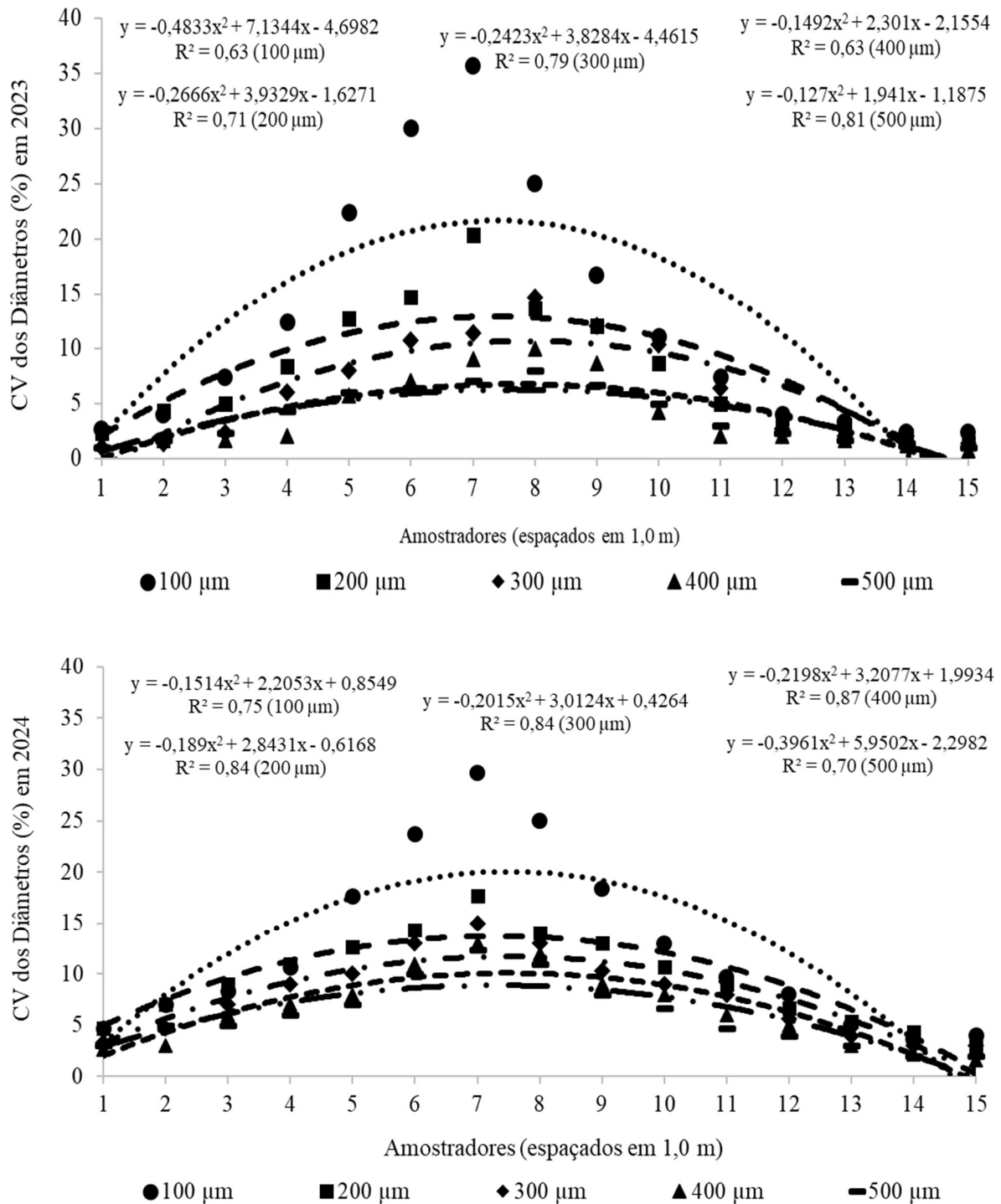
O estudo conduzido por Parkin *et al.* (1982) concentrou-se na otimização da pulverização aérea de herbicidas coletando dados sobre o número de gotas cm^{-2} . De acordo com os autores o coeficiente de variação aceitável para garantir a qualidade na pulverização é abaixo de 30% e o CV considerado como ideal para uma pulverização aérea eficaz com resultados

consistentes é de 16%. Neste experimento todos os resultados apresentaram CV para o tamanho de gota inferior aos 30%, denotando a qualidade da pulverização com pontas rotativas, mesmo a 4,0 m entre o alvo e a formação da gota. Os valores acima de 16% foram registrados com as gotas de diâmetro com 100 e 200 μm , pela lógica da elevação de variação pelo maior número de impactos de gotas analisados. Os resultados corroboram com Vitória *et al.*, 2014.

As discussões realizadas por Carvalho *et al.* (2020) mostram os desafios encontrados para pulverização com aeronaves. Os autores revelaram que o CV médio das aplicações dos diferentes modelos de aeronaves ficou em torno de 16,5% e destacou-se que valores acima do recomendado (o ideal é abaixo de 15%) podem levar a perdas de produtividade, superando os ganhos em eficiência operacional. Neste estudo, os maiores valores de CV, superiores a 16%, foram associados aos diâmetros de gotas de 100 e 200 μm .

Os dados registrados neste trabalho ficaram abaixo dos apresentados por Carneiro (2023) para as gotas finas (100 micra). O pesquisador variou o volume da calda de 5, 10, 15, 20 e 25 L ha^{-1} , na aplicação de herbicidas com VANT munido de pontas de jato plano. O menor valor registrado foi de 37%. Destaca-se mais uma vez a qualidade da pulverização de gotas geradas por pontas rotativas em comparação com as pontas de jato plano.

Figura 12 – Coeficiente de Variação (CV) dos diâmetros dos impactos das gotas pulverizadas sobre papéis hidrossensíveis por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) sobre o oitavo amostrador, com altura de voo de 4,0 m do alvo, volume de calda de 10 L ha⁻¹, velocidade 5,6 m s⁻¹, munido de duas pontas rotativas, variando o tamanho de gotas em micra (μm), 2023 e 2024, Ponta Grossa – PR ($p < 0,05$).



Fonte: A autora.

5 CONCLUSÕES

Em relação a área coberta, volume recuperado, densidade de gotas e coeficiente de variação houve a mesma tendência de aumento do valor nos amostradores centrais, acentuada pela elevação dos tamanhos de gotas gerados pela ponta rotativa do VANT. Na média das coletas destas variáveis as faixas registradas foram de 13,6 m para gotas de DMV com 100 e 200 μm e de 12,4 m para gotas de 300 a 500 μm .

O potencial de risco de deriva destacou que houve um declínio acentuado nos pontos centrais da faixa pulverizada, com porcentagens próximas a zero. Também ressalta que nas extremidades da faixa de 14 m há maior perda de produto, independentemente dos tamanhos de gotas. A faixa pulverizada para menores diâmetros de gotas (100 e 200 μm) foi de 13 metros, enquanto para maiores diâmetros (300 a 500 μm) foi de 12 metros.

Os diâmetros de gotas contabilizados foram maiores nos amostradores centrais, com redução ao se afastar do centro pulverizado. Para diâmetros de gotas menores (100 e 200 μm) a faixa foi de 14 a 12 metros, enquanto para diâmetros maiores (acima de 300 μm) foi de 13 a 12 metros. Em relação à amplitude relativa (SPAN), não foram observadas diferenças significativas, sendo que os valores permaneceram abaixo de 1,0, indicando uma pulverização homogênea.

REFERÊNCIAS

ALTHMAN, M. F. **Avaliação da faixa de deposição em função do modelo de aeronave e volume de calda aplicado**. 2021. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, 2021.

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil. **Portaria nº 11.121/SAR, de 24 de abril de 2023. IS E94.5-001A - Autorização de projeto de Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada (RPAS) destinado à aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes**. São Paulo: ANAC, 2023.

ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações. **Portaria ANATEL nº 2843, de 25 de julho de 2024. Instrução de fiscalização para uso e regularização de aeronaves remotamente pilotadas e voos em proveito da agência nacional de telecomunicações no âmbito da superintendência de fiscalização**. Brasília: ANATEL, 2024.

ANSARIPOUR, M; DAFSARI, R. A.; YU, S; CHOI, Y; LEE, J. Characteristics of a tip-vortex generated by a single rotor used in agricultural spraying drone. **Experimental Thermal and Fluid Science**, v. 149, 110995, nov. 2023. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2023.110995.

ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2. ed. Passo Fundo: Aldeia Norte - FEPAF, 2019.

ARAUJO, A. B.; GABRIEL JÚNIOR, W. S.; ANDRADE, C. L. L.; CABRAL FILHO, F. R.; TEIXEIRA, M. B.; MORAIS, W. D.; DUARTE, J. R.; VENTURA, M. V. A.; FERREIRA, W. Comportamento de gotas em função da taxa de aplicação e velocidade de trabalho. **Revista Brasileira de Pulverização Agrícola**, Rio Verde, v. 1, n. 1, p. 37–46, 2024. DOI: 10.14295/rbpa.v1i1.4.

ARCOVERDE, S. N. S; TEZOLIN, G. N.; SANTOS, R. M.; DOS NASCIMENTOS, J. M.; SECRETI, M. L. Diferentes volumes e horários de aplicação de herbicidas no controle de plantas daninhas em cana-de-açúcar. **Scientific Electronic Archives**, São Paulo, v. 17, n. 5, set. /Out. 2024. DOI: 10.36560/17520241980.

ASABE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **S572.2: Spray nozzle classification by droplet spectra**. St. Joseph, 2018.

AZEVEDO, F. R.; FREIRE, F. C. O. **Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas**. 1. ed. 47, p. Fortaleza: **Embrapa Agroindústria Tropical**, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/426350/1/Dc102.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2025.

BRASIL. Ministério Da Agricultura Pecuária E Abastecimento. **Portaria nº 298, de 22 de setembro de 2021**. Estabelece regras para operação de aeronaves remotamente pilotadas destinadas à aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes. Diário Oficial da União, Brasília, DF, ed. 182, p. 14, 2021

BOLLER, W.; MACHRY, M. Efeito da pressão de trabalho e de pontas de pulverização sobre

a eficiência de herbicidas de contato em soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 722-727, dez. 2007. DOI: 10.1590/S0100-69162007000400015.

CARNEIRO, P. C. **Variação do volume de calda com glifosato na dessecação de plantas de cobertura com drone**. 2023. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR, 2023.

CARVALHO, F. K.; CHECHETTO, R. G.; MOTA, A. A. B.; ANTUNIASSI, U. R. Challenges of aircraft and drone spray applications. **Outlooks on Pest Management**, v.31, n.6, p.83-88, abr. 2020. DOI: 10.1564/v31_apr_07.

CARVALHO, F. K.; CHECHETTO, R. G.; MOTA, A. A. B.; ANTUNIASSI, U. R. **Entendendo a tecnologia de aplicação: aviões, helicópteros e drones de pulverização**. 2. ed. Botucatu: FEPAF, 2021.

CARVALHO, W. P. A.; CUNHA, J. P. A. da. Introdução à tecnologia de aplicação por via aérea. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2. ed. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2019. p. 169-181.

CONTIERO, R. L.; BIFFE, D. F.; CATAPAN, V. Tecnologia de Aplicação. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T.; FREITAS, P.S.L.; BERIAN, L.O.S.; GOTO, R. **Hortaliças-fruto**. Maringá: EDUEM, 2018.

CUNHA, J. P. A. R.; RUAS, R. A. A. Uniformidade de distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato plano duplo com indução de ar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 36, n. 1, p. 61-67, 2007.

CUNHA, J. P. A. R.; SILVA, M. R. A. Spray deposition from a remotely piloted aircraft on the corn crop. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 54, n. 1, p. 01-08, 2023. DOI: 10.5935/1806-6690.20230027.

DAFSARI, R. A; YU, S; YU, S; CHOI, Y; LEE, J. Drift potential and coverage ratio analysis of an air induction nozzle under an agricultural drone with various operating condition; an indoor test. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 224, p. 109171, set. 2024. DOI: 10.1016/j.compag.2024.109171.

DENGERU, Y; RAMASAMY, K; ALIMUNTHU, S; BALAKRISHNAN, S; KUMAR, A. P. M.; KANNAN, B; KARUPPASAMI, K. M. Study on spray deposition and drift characteristics of UAV agricultural sprayer for application of insecticide in redgram crop (*Cajanus cajan* L. Millsp.). **Agronomy**, v. 12, n. 12, p. 3196, dez. 2022. DOI: 10.3390/agronomy12123196.

DE OLIVEIRA, A. J.; SILVA, G. F. DA; SILVA, G. R. DA; SANTOS, A. A. C. DOS; CALDEIRA, D. S. A.; VILARINHO, M. K. C.; BARELLI, M. A. A. OLIVEIRA, T. C. DE. Potencialidades da utilização de drones na agricultura de precisão. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 6, n. 9, p. 64140-64149, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n9-010.

DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Decreto nº 928/DNOR8, de 15 de maio de 2023**. Rio de Janeiro: Comando da Aeronáutica, 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologia no canavial: benefícios do uso de drone na aplicação da cotesia**, 2021. Documento online. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/63310662/tecnologia-no-canavial-beneficios-do-uso-de-drone-na-aplicacao-da-cotesia>. Acesso em: 28 out. 2024.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Pulverização com drones na agricultura é destaque na Reunião de Pesquisa de Soja**, 2023. Documento online. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/83042416/pulverizacao-com-drones-na-agricultura-e-destaque-na-reuniao-de-pesquisa-de-soja>. Acesso em: 13 out. 2024.

FAGGION, F.; ANTUNIASSI, U. R. Desempenho de pontas de pulverização quanto a indução de ar nas gotas. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 4, p. 72-82, 2010. DOI: 10.17224/EnergAgric.2010v25n4p72-82.

FERREIRA, M. C.; COSTA, G. M.; SILVA, A. R.; TAGLIARI, S. R. A. Fatores qualitativos para a ponta hidráulica de jato plano ADGA 110015 na pulverização agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p.471-478, ago. 2007. DOI: 10.1590/S0100-69162007000300016.

FRAZON, J. F.; CORSO, N. M. **Aplicação de agrotóxicos: tecnologia de aplicação**. Curitiba: SENAR – PR, 2013.

GARCIA, C. H. Tabelas para classificação do coeficiente de variação. Piracicaba: **Instituto de pesquisa e estudos florestais - IPEF**, Circular técnica, n 171, 1989.

GARCIA, L. C.; RAMOS, H. H.; JUSTINO, A. Avaliação de softwares para análise de parâmetros da pulverização realizada sobre papéis hidrossensíveis. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, Ponta Grossa, v. 2, n. 1, p. 19-28, jun. 2004.

GARCIA, L. C., CHRISTMANN, P. E. T. P., GOMES, R. S., COSMO, G., GONÇALVES, D. R. P., & RAMOS, H. H. Effect of nozzles on disease control with spraying fungicides in soybean crops. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 1, n.1, p. 1–12, set. 2024. DOI: 10.1080/01140671.2024.2392674.

GIMENES, M. J.; RAETANO, C. G.; DAL POGETTO, M. H. F. A.; PRADO, E. P.; CHRISTOVAM, R. S.; REZENDE, D. T.; COSTA, S. I. A. Air-assistance in spray booms which have different spray volumes and nozzle types for chemically controlling *Spodoptera frugiperda* on corn. **Journal of Plant Protection Research**, Botucatu, v. 52, n. 2, p. 247-253, 2012. DOI: 10.2478/v10045-012-0039-y.

GUO S.; LI J.; YAO W.; ZHAN Y.; LI Y.; SHI Y. Distribution characteristics on droplet deposition of wind field vortex formed by multirotor UAV. **Plos one**, 14(7), 1-16, jul. 2019. DOI: 10.1371/journal.pone.0220024.

HAFEEZ, A.; HUSAIN, M. A.; SINGH, S. P.; CHAUHAN, A.; KHAN, M. T.; KUMAR, N. C.; CHAUHAN, A.; SONI, S. K. Implementation of drone technology for farm monitoring & pesticide spraying: A review. **Information Processing in Agriculture**, v. 10(2), p. 192-203, 2022. DOI: 10.1016/j.inpa.2022.02.002.

JONES, F. Pulverização por drones. **Revista de pesquisa FAPESP**. São Paulo: v. 283, setembro, 2019. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/pulverizacao-por-drones/>. Acesso em: 20 jan. 2025.

JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. In BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa Instrumentação, 2014.

LAMPARELLI, R. A. C. **Agricultura de precisão**. Portal Embrapa. Documento online, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/avanco-tecnologico/agricultura-de-precisao>. Acesso em: 30 out. 2024.

LAN, X; WANG, J; CHEN, P; LIANG, Q; ZHANG, L; MA, C. Risk assessment of environmental and bystander exposure from agricultural unmanned aerial vehicle sprayers in golden coconut plantations: Effects of droplet size and spray volume. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 282, p. 116675, set. 2024. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.116675

LI, X.; GILES, D. K.; NIEDERHOLZER, F. J.; ANDALORO, J. T.; LANG, E. B.; WATSON, L. J. Evaluation of an unmanned aerial vehicle as a new method of pesticide application for almond crop protection. **Pest Management Science**, v. 77, n. 1, p. 527–537, ago. 2021. DOI:10.1002/ps.6052.

LIU, Y.; LI, L.; LIU, Y.; HE, X.; SONG, J.; ZENG, A.; WANG, Z. Assessment of spray deposition and losses in an apple orchard with an unmanned agricultural aircraft system in China. **Transactions of the ASABE**, v. 63, n. 3, p. 619-627, 2020. DOI: 10.13031/trans.13233

LUCHETTI, A. **Utilização de drones na Agricultura: impactos no setor Sucroalcooleiro**. 2019. Monografia (Bacharel em Ciências Aeronáuticas) – Ciências Aeronáuticas, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2019.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 5 ed. São Paulo: Ceres, 1989.

MARTINI, A. T.; BOLLER, W.; FARIAS, M. S. de Máquinas para proteção de culturas. In: FRANCETTO, T. R.; SILVA, R. P.; GIRIO, L.A.S. **Manual de máquinas agrícolas**. V1. Jaboticabal: Funep, 2024. p.511-574.

MATTHEWS, G. A. Developments in application technology. **Environmentalist**, v 28, p 19-24, 2008. DOI: 10.1007/s10669-007-9039-2.

MATTHEWS, G. A. **A history of pesticides**. Boston: CABI, 2018

MATTHEWS, G. A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. **Pesticide application methods**. 4.ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2014.

MEESARAGANDLA, S.; JAGTAP, M. P.; KHATRI, N; MADAN, H; VADDURI, A. A. Herbicide spraying and weed identification using drone technology in modern farms: A

comprehensive review. **Results in Engineering**, v. 21. p. 101870, 2024. DOI: 10.1016

MELO, A. A.; MARTINI, A. T.; DALAZEN, G.; GARCIA, L. C.; BOLLER, W. Uso de Drones para Pulverização na Agricultura. **Informações Agronômicas: Proteção de plantas**. Piracicaba, n. 5. p. 5-17, 2024. Disponível em: <https://www.npct.com.br/publication/IAPSite.nsf/pub/available/IAP-2024-5?OpenDocument&toc=2024> Acesso em: 04 fev. 2025.

MOLIN, J.; AMARAL, L. R. do; COLAÇO, A. **Agricultura de precisão**. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

MOREIRA, R. B.; ANTUNIASSI, U. R. Potencial de deriva na pulverização aérea com ponta de jato plano de impacto. **Energia na agricultura**, v. 3, p. 1-5, 2024. DOI: 10.17224

OLIVEIRA, D. P. **Espectrofotometria de fio e depósito de calda do drone T40**. 2023. Monografia (Bacharel em Agronomia) - Instituto Federal Goiano, Morrinhos, 2023.

OLIVEIRA, J. R. G.; FERREIRA, M. C.; ROMÁN, R. A. A. Diferentes diâmetros de gotas equipamentos para aplicação de Inseticida no controle de *Pseudoplusia includens*. **Engenharia Agrícola**, v.30, p.92-99, 2010. DOI: 10.1590/S0100-69162010000100010

OZEKI, Y. **Manual de aplicação aérea**. São Paulo: STA, 2006.

PARKIN, C.S.; WYATTT, J.C. The determination of flight-lane separations for the aerial application of herbicides. **Crop Protection**, Amsterdam, v.1, n.3, p.309-32. 1982. DOI: 10.1016/0261-2194(82)90006-0

PATERNIANI, E. Agricultura sustentável nos trópicos. **Estudos Avançados**, v. 15, n. 43, p. 303-326, 2001. DOI: 10.1590/S0103-40142001000300023.

QUEIROZ, D. M.; VALENTE, D. S. M.; PINTO, F. A. C.; BORÉM, A. **Agricultura digital**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.

RAMOS, H. H. Interação do produto e alvo na pulverização. **Visão agrícola**. Jundiaí-SP. v. 1. e. 2. p. 112-116, 2005. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va02-praticas-associadas03.pdf> Acesso em: 05 fev. 2025.

SARGHINI, F., VISACKI, V., SEDLAR, A., CRIMALDI, M., CRISTIANO, V., VIVO, A.D. First measurements of spray deposition obtained from UAV spray application technique. **International Metrology for Agriculture and Forestry** p 58–61, 2019. DOI: 10.1109/MetroAgriFor.2019.8909233

SANTOS, T. M.; AIALA, M. L. C.; SANTOS, T. G.; NUNES, J. G. P.; RIBEIRO, M. E. A.; BARBOSA, M. E. S.; RIBEIRO, L. F. O.; CIRQUEIRA, A. L. O.; VITÓRIA, E. L. Deriva na pulverização de calda aplicada por aeronave remotamente pilotada em uma lavoura de café conilon. **Epitaya E-books**, v. 1, n. 79, p. 73-84, 2024. DOI: 10.47879/ed.ep.2024493p73

SATO, A. The RMAX helicopter UAV. **Relatório público**. Shizuoka, Japão: Aeronautic Operations, Yamaha Motor Co. Ltda., 2003.

- SCHNEIDER, J. L.; OLIVEIRA, G. M.; BALAN, R. E.; CANTER, M. G.; SAAB, O. J. G. Abi. Cobertura de gotas de pulverização obtida com diferentes pontas e taxas de aplicação na parte aérea da cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, p. 797-802, maio 2013. DOI: 10.1590/S0103-84782013000500007
- SINGH, N. K.; MUTHUKRISHNAN, P.; SANPINI, S. **Industrial system engineering for drones: A guide with best practices for designing**. 1. ed. Berlim, Alemanha: APRESS, 2019.
- SINHA, R., JOHNSON, J., POWER, K., MOODIE, A., WARHURST, E., BARBOSA, R. (2022). Understanding spray attributes of commercial uas as impacted by operational and design parameters. **Drones**, 6(10), 281, 2022. DOI: 10.3390
- SOUZA, R. T.; CASTRO R. D.; PALLADINI, L. A. Depósito de pulverização com diferentes padrões de gotas em aplicações na cultura do algodoeiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, p.75-82. 2007. DOI: 10.1590/S0100-69162007000200011
- VIEIRA, L. C.; JUNIOR, J. D. G.; RUAS, R. A. A.; FARIA, V. R.; FILHO, A. C. Interações entre adjuvante e pontas hidráulicas no controle da deriva de glifosato. **Energia na Agricultura**, v. 34, n. 3, p. 331-340, 2019. DOI: 10.17224
- VIOLA, E.; MENDES, V. Agricultura 4.0 e mudanças climáticas no Brasil. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v. 25, p. 1-20, 2022. DOI: 10.1590
- VITÓRIA, E. L. da; ROCHA NETO, F. de C.; CHAGAS, K.; TEIXEIRA, M. M.; QUIRINO, A. L. da S.; SANTIAGO, H. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de jato cônico vazio DDC2 novas e usadas. **Revista agro@mbiente on-line**. Boa Vista. v. 8. n. 3, p. 368-376, 2014. DOI: 10.5327/Z1982-8470201400031831
- WANG G, HAN Y, LI X, ANDALORO J, CHEN P, HOFFMANN WC, HAN X, CHEN S, LAN Y. Field evaluation of spray drift and environmental impact using an agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer. **Science of The Total Environment**. 2020. DOI: 10.1016.
- YEPES, I.; BARONE, D. A. C. Robótica educativa: drones e novas perspectivas. **RENOTE**. Porto Alegre. v. 16, n. 2, p. 210-219, 2018. DOI: 10.22456/1679-1916.89293
- ZHANG, X. Q.; SONG, X. P.; LIANG, Y.; QIN, Z. Q.; ZHANG, B. Q.; WEI, J.J.; LI, Y.R.; WU, J.M. Effects of spray parameters of drone on the droplet deposition in sugarcane canopy. **Sugar Tech**, v. 22, n. 01, p. 583–588, 2020. DOI: 10.1007/s12355-019-00792