

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA  
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

LUIZ EDUARDO MARTINCOSKI

VOLUMES DE CALDA NA PULVERIZAÇÃO DE HERBICIDA COM VEÍCULO AÉREO  
NÃO TRIPULADO (VANT) PARA O CONTROLE DE BUVA

PONTA GROSSA

2026

LUIZ EDUARDO MARTINCOSKI

VOLUMES DE CALDA NA PULVERIZAÇÃO DE HERBICIDA COM VEÍCULO AÉREO  
NÃO TRIPULADO (VANT) PARA O CONTROLE DE BUVA

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
para obtenção do título de Engenheiro  
Agrônomo na Universidade Estadual de Ponta  
Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Cláudio Garcia  
Coorientador: Prof. Dr. Giliardi Dalazen

PONTA GROSSA

2026



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA  
COLEGIADO DO CURSO DE AGRONOMIA  
COORDENAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

## OTCC - Ano 2026

### AVALIAÇÃO DE TCC

#### RELATÓRIO DA BANCA EXAMINADORA

Título da Monografia:	Jornais de campo na pulverização de herbicida com veículo aéreo não tripulado (AVT) para o controle de erva.		
Autor (a):	Luiz Eduardo Mostinowski		
Data da defesa:	15/05/2026	Horário:	10:00
		Local:	F43

Avaliadores:	
1-Orientador (a):	Luiz Claudio Garcia Assinatura:
2-Avaliador (a):	Altair Nestras Assinatura:
3-Avaliador (a):	Ediardo A. A. Barbosa Assinatura:

Itens a serem avaliados	Notas atribuídas		
	Orientador(a)	1º Avaliador(a)	2º Avaliador(a)
I- Apresentação oral (Até 2,0)	2,0	1,9	2,0
II- Trabalho escrito (Até 6,0)	5,5	5,6	5,5
III- Arguição (Até 2,0)	2,0	1,8	2,5
TOTAL	9,5	9,3	9,0
MÉDIA FINAL *	5,3 + 10% = 5,8		

\* Orientador(a) nota final com uma casa após a vírgula

#### Atenção Professor(a) ORIENTADOR(A):

No caso de apresentação de trabalho, em evento técnico-científico, no qual o acadêmico conste como autor, poderá ser acrescentado ATÉ 10% da nota, na somatória final. Apresentar comprovante junto com os documentos entregues para a Coordenação de TCC.

FORMULÁRIO 4  
OTCC  
AGRONOMIA

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por me conceder a força e sabedoria, pois só ele conhece todas as dificuldades enfrentadas até aqui. Agradeço por transformar os momentos difíceis em aprendizados e por me dar coragem para seguir em frente.

Aos meus pais, Ednilson e Marli, que nunca mediram esforços para que todos os meus sonhos se concretizassem, agradeço por todo amor, apoio, dedicação e por me ensinarem desde cedo o valor do trabalho, da honestidade e da perseverança. A vocês minha eterna gratidão.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa e a todos os professores, agradeço o suporte e contribuição ao longo da minha formação acadêmica. Foi uma honra fazer parte dessa instituição com profissionais que foram essenciais para o meu aprendizado e crescimento. Agradeço ao CNPq, pela oportunidade de realizar a pesquisa, com o suporte e auxílio de bolsa. Sou grato pela confiança e apoio, fundamental para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Cláudio Garcia, pela paciência, dedicação e pelos ensinamentos transmitidos. Sua orientação foi indispensável para o meu amadurecimento profissional. Sou grato pelas oportunidades concedidas e por todo apoio durante minha formação.

Agradeço ao meu coorientador Prof. Dr. Giliardi Dalazen pela disponibilidade, compreensão e aos ensinamentos. Ao meu amigo Gabriel Fielka, sou grato pelo apoio e auxílio durante o desenvolvimento deste trabalho.

À Tratornew, pela disponibilidade do drone e do operador Tainã Diego, agradeço a contribuição. O suporte oferecido foi fundamental para a qualidade dos resultados obtidos.

À minha namorada, Leticia Slusarz, que esteve presente durante toda essa trajetória, oferecendo companheirismo e compreensão em todos os momentos. Agradeço por me apoiar nos momentos difíceis e comemorar comigo cada conquista.

À Milena Martincoski e Vitor Prins, pela parceria e palavras de incentivo. Agradeço por estarem presentes nos momentos importantes e por tornarem essa trajetória mais leve.

Agradeço a todos que contribuíram para a superação de mais uma etapa importante da minha vida.

## RESUMO

MARTINCOSKI, L. E. **Volumes de calda na pulverização de herbicida com veículo aéreo não tripulado (VANT) para o controle de buva.** Orientador: Prof. Dr. Luiz Cláudio Garcia; Coorientador: Prof. Dr. Giliardi Dalazen. Ponta Grossa, 2026. Dissertação (Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2026.

O objetivo com o trabalho foi definir o melhor volume de calda na pulverização de herbicida com veículo aéreo não tripulado (VANT – drone) para o controle da planta daninha buva (*Conyza bonariensis*). O delineamento experimental utilizado foi em blocos aleatorizados, com sete tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos consistiram no controle (sem pulverização de herbicidas), aplicação com pulverizador terrestre de barras com volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup> e pulverização com VANT nos volumes de 05, 10, 15, 20 e 25 L ha<sup>-1</sup>. As variáveis analisadas foram a qualidade da pulverização em papel hidrossensível (área coberta, volume recuperado, densidade, potencial risco de deriva e amplitude relativa) e porcentagem de controle da buva em 06, 12, 18 e 24 dias após a pulverização do herbicida de contato. Conclui-se que todas as variáveis determinadas em cartões hidrossensíveis diferiram significativamente entre a pulverização terrestre e a aérea. Verificando somente os impactos das gotas em cartões hidrossensíveis, para a pulverização com VANT verificou-se elevação linear com o aumento do volume para área coberta, volume recuperado e densidade; sendo indiferente o potencial risco de deriva e amplitude relativa. A porcentagem de controle da buva nas parcelas pulverizadas foi significativamente maior que sem aplicação de herbicida. Não houve distinção entre a eficácia das pulverizações terrestre e aérea em todas as avaliações. Entre os volumes aplicados pelo VANT a porcentagem de plantas de buva controladas foi semelhante nos tratamentos em todas as análises.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Conyza bonariensis*; drone, tecnologia de aplicação.

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

- Fotografia 1 – Aplicação terrestre realizada com um pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>, acoplado com pontas de jato plano de grande ângulo TT 11002 e com espaçamento de 0,5 metros entre os bicos, utilizado em 2024 para o controle de buva no município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil..... 45
- Fotografia 2 – Veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) da marca DJI™, modelo T40, vinculado com duas pontas de pulverização rotativas da marca LX8060SZ, utilizado em 2024 para o controle de buva no município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil. .... 46
- Fotografia 3 – Veículo aéreo não tripulado (VANT – drone) na pulverização de herbicida com ação de contato para o controle de buva (*Conyza bonariensis*) com volumes crescentes de calda, 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil ..... 47
- Fotografia 4 – Avaliação visual da porcentagem de controle de *Conyza bonariensis* pela pulverização de herbicida com ação de contato no município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil..... 48

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Classificação do diâmetro de gotas para pulverização agrícola proposta pela ASABE S572.2 .....26
- Tabela 2 – Escala de avaliação visual de controle de plantas de *Conyza bonariensis* ..... 39
- Tabela 3 – Características da aplicação com pulverizadores terrestre de barra e por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone), com mensuração dos impactos das gotas em cartões hidrossensíveis<sup>1</sup> em diferentes volumes de calda, 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil <sup>2</sup> ..... 50
- Tabela 4 – Porcentagem de plantas de buva (*Conyza bonariensis*) controladas por herbicida com ação de contato pulverizado em diferentes volumes de calda por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone), 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil<sup>1</sup> ..... 65
- Tabela 5 – Porcentagem de plantas de buva (*Conyza bonariensis*) controladas por herbicida com ação de contato pulverizado em diferentes volumes de calda por máquina terrestre em comparação com veículo aéreo não tripulado (VANT - drone), 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil<sup>1</sup> ..... 67

## LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1 – Condições do tempo em Ponta Grossa (Paraná) em 2024.....49
- Gráfico 2 – Área coberta pelo impacto de gotas em papéis hidrossensíveis pulverizadas por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) na aplicação de herbicida com ação de contato para o controle de buva (*Conyza bonariensis*) com volumes crescentes de calda, 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil ( $p < 0,05$ ).  
..... 51
- Gráfico 3 – Volume recuperado pelo impacto de gotas em papéis hidrossensíveis pulverizadas por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) na aplicação de herbicida com ação de contato para o controle de buva (*Conyza bonariensis*) com volumes crescentes de calda, 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil ( $p < 0,05$ ). ..... 53
- Gráfico 4 – Densidade do impacto de gotas em papéis hidrossensíveis pulverizadas por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) na aplicação de herbicida com ação de contato para o controle de buva (*Conyza bonariensis*) com volumes crescentes de calda, 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil ( $p < 0,05$ )..... 55
- Gráfico 5 – Porcentagem do risco de deriva (gotas  $< 150 \mu\text{m}$ ) pelo impacto em papéis hidrossensíveis pulverizadas por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) na aplicação de herbicida com ação de contato para o controle de buva (*Conyza bonariensis*) com volumes crescentes de calda, 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil ( $p < 0,05$ ).....57
- Gráfico 6 – Amplitude relativa em papéis hidrossensíveis pulverizadas por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) na aplicação de herbicida com ação de contato para o controle de buva (*Conyza bonariensis*) com volumes crescentes de calda, 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil ( $p < 0,05$ )..... 63
- Gráfico 7 – Porcentagem de plantas de buva (*Conyza bonariensis*) controladas por herbicida com ação de contato, 06 dias após a pulverização em diferentes volumes de calda

por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone), 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil ( $P > 0,05$ ).....	69
Gráfico 8 – Porcentagem de plantas de buva ( <i>Conyza bonariensis</i> ) controladas por herbicida com ação de contato, 12 dias após a pulverização em diferentes volumes de calda por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone), 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil ( $P > 0,05$ ).....	70
Gráfico 9 – Porcentagem de plantas de buva ( <i>Conyza bonariensis</i> ) controladas por herbicida com ação de contato, 18 dias após a pulverização em diferentes volumes de calda por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone), 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil ( $P > 0,05$ ).....	70
Gráfico 10 – Porcentagem de plantas de buva ( <i>Conyza bonariensis</i> ) controladas por herbicida com ação de contato, 24 dias após a pulverização em diferentes volumes de calda por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone), 2024, Ponta Grossa – Paraná ( $P > 0,05$ ).....	71

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
2.1.	OBJETIVO GERAL .....	13
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
3.1.	AGRICULTURA .....	14
3.2.	PLANTAS DANINHAS.....	15
3.2.1.	Manejo Integrado de Plantas Daninhas .....	16
3.2.2.	Buva ( <i>Conyza bonariensis</i> ).....	17
3.2.3.	Glufosinato de Amônio.....	19
3.3.	TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO.....	20
3.3.1.	Pulverização.....	21
3.3.2.	Pulverização Terrestre.....	22
3.3.3.	Pulverização Aérea com VANT .....	23
3.3.4.	Volumes de Calda .....	24
3.4.	QUALIDADE DA PULVERIZAÇÃO .....	25
3.4.1.	Porcentagem de Área Coberta .....	27
3.4.2.	Volume Recuperado .....	28
3.4.3.	Densidade de Impactos .....	30
3.4.4.	Potencial Risco de Deriva.....	31
3.4.5.	Diâmetro da Gota com 10% do Volume Acumulado.....	32
3.4.6.	Diâmetro da Gota com 50% do Volume Acumulado.....	34
3.4.7.	Diâmetro da Gota com 90% do Volume Acumulado.....	35
3.4.8.	Amplitude Relativa (SPAN) .....	37
3.5.	PORCENTAGEM DE CONTROLE DE BUVA.....	38
<b>4.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>44</b>

<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>49</b>
5.1.	QUALIDADE DA PULVERIZAÇÃO .....	50
5.1.1.	Porcentagem de Área Coberta .....	51
5.1.2.	Volume Recuperado .....	53
5.1.3.	Densidade de Impactos .....	54
5.1.4.	Potencial Risco de Deriva.....	56
5.1.5.	Diâmetro da Gota com 10% do Volume Acumulado.....	58
5.1.6.	Diâmetro da Gota com 50% do Volume Acumulado.....	60
5.1.7.	Diâmetro da Gota com 90% do Volume Acumulado.....	61
5.1.8.	Amplitude Relativa (SPAN) .....	62
5.2.	PORCENTAGEM DE CONTROLE DE BUVA.....	64
5.2.1.	Controle Sem Uso de Herbicida e Aplicação Via VANT.....	64
5.2.2.	Controle da Aplicação Terrestre e com VANT .....	67
5.2.3.	Controle em Volumes de Calda com VANT .....	69
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>73</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>74</b>
	<b>ANEXO A. RESUMO EAIC.....</b>	<b>89</b>
	<b>ANEXO B. CERTIFICADO EAIC .....</b>	<b>90</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Com a descoberta da agricultura no período Neolítico, os humanos passaram a cultivar o próprio alimento. Dentre os fatores que limitam a produção, estão as plantas daninhas. A buva (*Conyza bonariensis*) é uma das espécies de plantas daninhas mais desafiadoras de controlar em todo o mundo. É considerada altamente nociva devido à sua capacidade de competir por água, espaço, luz e nutrientes com culturas de importância econômica (Valencia-Gredilla *et al.*, 2020).

Dentre as estratégias do manejo integrado de plantas daninhas, destaca-se o controle químico por herbicidas. A eficácia desses produtos está diretamente relacionada à tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. Essa tecnologia pode ser conceituada como o conjunto de conhecimentos necessários para depositar o ingrediente ativo no alvo, na quantidade adequada, de forma econômica e com o mínimo de contaminação ambiental. A pulverização é uma das modalidades dessa tecnologia, e o processo consiste em pressurizar a calda (ingrediente ativo + diluente) em um circuito hidráulico até sua passagem por um restritor, onde a calda é fragmentada em gotas. Entre as máquinas utilizadas na pulverização, destaca-se o emprego de veículos aéreos não tripulados (VANTs), popularmente conhecidos como “drones”, uma técnica recente fundamentada na agricultura de precisão (Matthews, 2015; Hafeez *et al.*, 2022).

O volume de calda na pulverização é consequência, e não causa, da calibração do equipamento. Ele é definido por diversos parâmetros, como o tipo de alvo, o índice de área foliar, o modo de ação do ingrediente ativo, o momento do controle e as condições meteorológicas (Garcia; Justino; Ramos, 2002).

Diante do desafio de controlar a buva e da escassez de pesquisas sobre pulverização com VANT, o objetivo com o experimento foi definir o volume de calda mais adequado na aplicação de herbicidas via VANT para o controle da planta daninha buva (*Conyza bonariensis*). Os tratamentos consistiram em: controle (sem aplicação de herbicidas), padrão (aplicação com pulverizador terrestre de barras), utilizando volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup>, e pulverização com VANT nos volumes de 5, 10, 15, 20 e 25 L ha<sup>-1</sup>.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste experimento foi determinar o volume de calda mais adequado para a aplicação de herbicida de contato com o uso de veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) no controle de buva (*Conyza bonariensis*).

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para responder ao objetivo geral, verificou-se a qualidade da pulverização obtida com diferentes volumes de calda aplicados por VANT, em comparação à aplicação terrestre, por meio do uso de papéis hidrossensíveis. Além disso, avaliou-se visualmente o nível de controle da buva após a aplicação do herbicida, em função dos diferentes volumes de calda aplicados por VANT, comparando-os à aplicação terrestre e ao tratamento controle (sem aplicação do herbicida).

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. AGRICULTURA

A agricultura pode ser conceituada como a intervenção humana nos ecossistemas para fins econômicos, desde que não resultem em danos permanentes no ambiente (Malavolta, 2006). Esta atividade passou a ser realizada no período neolítico, uma vez que as sociedades rudimentares iniciaram o cultivo de plantas e domesticação de animais, trazendo a evolução no hábito de sobrevivência desses povos que era exclusivamente nômade (Mazoyer; Roudart, 2010; Hebelstrup *et al.*, 2023).

Nesse contexto, aliado ao avanço da industrialização, surge a Agricultura 4.0, caracterizada pela integração de tecnologias digitais às atividades agrícolas por meio de sistemas, sensores, equipamentos e softwares inovadores, com o objetivo de otimizar os processos produtivos e auxiliar na tomada de decisão no campo (Almeida; Vilela, 2021). Paralelamente, a modernização da agricultura no Brasil promoveu mudanças significativas nos espaços rurais, especialmente nos sistemas de produção. Como consequência, determinados produtos agrícolas passaram a apresentar maior valorização e contribuindo para o crescimento econômico de algumas regiões (Balsan, 2006; Pessetti, 2021). Com isso, o Brasil apresenta potencial para consolidar-se como um dos principais produtores mundiais de alimentos, desde que esse crescimento esteja associado à sustentabilidade, à inovação tecnológica e à adoção de estratégias que reduzem os impactos ambientais (Lopes; Martha Júnior, 2025).

Nas últimas décadas, o aumento da produção agrícola no Brasil tem sido atribuído à maior produtividade. Esse efeito pode ser determinado pela Produtividade Total dos Fatores (PTF), indicador que relaciona a produção com os insumos utilizados. Entre 1975 e 2022, o uso de insumos aumentou 30,8%, enquanto a produção agrícola cresceu 504%. Representando um aumento na PTF de 3,23%, considerado um elevado índice que indica o aumento da produtividade, como resultado dos avanços tecnológicos, do aumento da qualidade durante a realização das operações e da aplicação de diversos conhecimentos no campo (Gasques *et al.*, 2023).

Levantamentos recentes do banco de dados da FAO reforçam essa tendência, ao indicar que o valor da produção agrícola brasileira, em dólares constantes de 2014-2016, passou de 27,2 bilhões de dólares em 1961 para cerca de 211,4 bilhões de dólares em 2024, representando um aumento expressivo ao longo de 63 anos. Na última década registrada pela mesma organização, o valor era de aproximadamente 165 bilhões de dólares, que evoluiu até cerca de

28% neste período (FAOSTAT, 2024). Apesar desse avanço, a agricultura ainda é afetada por diversos fatores que comprometem a produtividade e a qualidade dos produtos, destacando-se as plantas daninhas como a principal limitação biótica na produção agrícola (Martins; Andreani Junior, 2023).

### 3.2. PLANTAS DANINHAS

O conceito de planta daninha refere-se a qualquer espécie vegetal que interfere no meio ambiente e nas atividades de interesse humano, sendo caracterizada por sua presença indesejada em produções agropecuárias, reservas ambientais, ferrovias, rodovias, hidrovias e entre outros locais de grande importância. Essas espécies passaram a ser reconhecidas com o início das atividades agropecuárias desenvolvidas pelo homem, sendo consideradas indesejáveis quando não apresentavam utilidade como alimento, fibra ou forragem (Pitelli, 2015).

Diversas pesquisas discutem os benefícios de algumas espécies de plantas daninhas para o funcionamento de um agroecossistema (Blaix *et al.*, 2018). Algumas dessas plantas podem atuar como hospedeiras ou aumentar a biodiversidade ambiental (Nicholls; Altieri, 2013). Além disso, outra forma de contribuir para a proteção das culturas é com a resistência associativa, uma vez que a presença dessas plantas incentiva algumas respostas naturais que suportam os ataques de algumas pragas e doenças (Ninkovic; Glinwood; Dahlin, 2009).

No entanto, as plantas daninhas se destacam pela interferência negativa sobre as espécies cultivadas, elevando os custos de produção, dificultando o processo de colheita e afetando a qualidade e o valor comercial dos produtos (Vasconcelos; Silva; Lima, 2012). Essas plantas indesejadas afetam diretamente as principais culturas, frequentemente superando-as na competição por recursos essenciais, como água, luz, nutrientes e espaço físico (Deuber, 2006). Outra interferência direta seria a liberação de compostos alelopáticos, que contribui para o avanço dessas espécies em locais além de sua distribuição nativa (Lorenzo, 2025). Além disso, algumas plantas daninhas são capazes de causar danos indiretos, atuando como hospedeiras de insetos, doenças, nematoides e plantas parasitas (Biffe; Constantin; Oliveira Junior, 2018).

Embora os herbicidas sejam eficazes, algumas espécies apresentam resistência sobre vários mecanismos de ação e/ou ingrediente ativos, uma vez que o uso isolado dessa estratégia não é suficiente para superar a diversidade genética e a capacidade adaptativa dessas espécies, o que aumenta a complexidade de seu controle (Paul; Mazumder; Naidu, 2024). Dessa forma,

o manejo dessas plantas daninhas por meio de outras ferramentas torna-se fundamental, sendo indispensável a adoção de medidas integradas de controle (Barroso *et al.*, 2021).

### 3.2.1. Manejo Integrado de Plantas Daninhas

O Manejo Integrado de Plantas Daninhas (MIPD) parte do uso combinado de diferentes estratégias de controle, atribuindo maior sustentabilidade nas atividades agrícolas (Baliyar; Dahiya, 2024). A adoção integrada e diversificada desses métodos é fundamental no manejo das plantas daninhas, resultando em um aumento da produtividade e eficiência nos sistemas de produção a longo prazo, além de reduzir o uso e os impactos ambientais associados aos herbicidas (Nunes; Trezzi; Debastiani, 2010). Com o tempo, o MIPD passou a ser entendido como a integração de medidas preventivas com métodos culturais, mecânicos, físicos, biológicos e químicos (Albrecht *et al.*, 2021).

As medidas preventivas baseiam-se em práticas que impedem a chegada e disseminação de plantas daninhas sobre uma área, especialmente de espécies ou biótipos resistentes a herbicidas. Dentre as principais ações, destacam-se a limpeza de máquinas, equipamentos e outros materiais após o término das operações em áreas infestadas, bem como a eliminação de plantas daninhas em áreas próximas a rios, lagos, canais de irrigação e represas. Além disso, é fundamental o monitoramento de áreas próximas, como lavouras vizinhas, curvas de nível, bordaduras e estradas, também de animais recém adquiridos e de adubos orgânicos que possam conter sementes de plantas indesejáveis. Por fim, outra prática fundamental consiste no uso de barreiras físicas ou quebra-ventos em áreas cultiváveis, dificultando a chegada de sementes de plantas daninhas de fácil dispersão pelo vento, como os aquênios de *Conyza spp.* (Constantin, 2011).

O método cultural de controle baseia-se na adoção de práticas que, sob condições favoráveis, aumentam a capacidade competitiva das plantas cultivadas em relação às daninhas, beneficiando seu desenvolvimento e restringindo o crescimento das comunidades infestantes (Agostinetto; Ulguim; Vargas, 2022). Essas práticas envolvem a escolha de cultivares adaptadas às condições edafoclimáticas da área, associada à adoção de manejos adequados, como adubação, rotação de culturas, ajuste da densidade de semeadura, redução do espaçamento entre linhas, profundidade e época de semeadura correta. Além disso, a cobertura morta constitui uma importante estratégia, atuando como barreira física, podendo apresentar efeitos alelopáticos e modificar o microclima sobre o solo, tornando-o desfavorável ao desenvolvimento de determinadas espécies daninhas (Agostinetto *et al.*, 2015). Esse efeito é especialmente relevante

para espécies fotoblásticas positivas, como a buva (*Conyza spp.*), que podem apresentar menor densidade sob plantas de cobertura, como aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.), nabo (*Raphanus sativus* L.), ervilhaca (*Vicia sativa* L.), azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e trigo (*Triticum aestivum* L.) (Lamego *et al.*, 2013).

O método mecânico de controle de plantas daninhas baseia-se no corte ou até mesmo no arranquio dessas espécies. Entre as técnicas mais utilizadas, destacam-se a capina manual, a roçada e o cultivo mecanizado. Por sua vez, o controle físico fundamenta-se no uso de métodos que afetam fisicamente o metabolismo das espécies infestantes, como a solarização, o fogo, a inundação, a drenagem e a eletricidade (Oliveira; Brighenti, 2018). Já o controle biológico consiste no uso de agentes biológicos, como parasitas, patógenos e alguns predadores, capazes de reduzir a densidade de plantas daninhas (Silva *et al.*, 2007).

O controle químico é uma das principais estratégias no MIPD, que parte do uso de diversas substâncias sintéticas e biológicas para atuar, em nível metabólico e fisiológico, na germinação, no crescimento de plântulas e no desenvolvimento de plantas adultas (Barroso *et al.*, 2021). Nesse contexto, o controle químico destaca-se como uma ferramenta indispensável para os agricultores (Moss, 2019). Atualmente, é considerado o método mais eficaz, conveniente e econômico, desde que seja utilizado de maneira correta (Quan *et al.*, 2025). No Brasil, sua importância é potencializada pelas condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento de uma série de plantas daninhas, incluindo espécies agressivas e de difícil controle, como a buva (*Conyza spp.*), que afeta o desenvolvimento de diversas culturas agrícolas (Vanhie *et al.*, 2021; Sena *et al.*, 2021).

### 3.2.2. Buva (*Conyza bonariensis*)

O gênero *Conyza*, pertencente à família Asteraceae, se destaca entre as plantas daninhas de maior ocorrência no mundo, principalmente pela alta capacidade de adaptação em ambientes diversos, à alta variabilidade genética e à dificuldade de distinguir suas espécies (Albrecht; Albrecht, 2021). Considerando as cerca de 50 espécies pelo mundo, a *Conyza bonariensis* é a predominante no Sul, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, com alta capacidade de adaptação em sistemas de semeadura direta e cultivo mínimo nessas regiões (Lazaroto; Fleck; Vidal, 2008). Sendo considerada uma das espécies de plantas daninhas mais nocivas, especialmente pela competição com culturas de importância econômica por água, luz, espaço e nutrientes (Valencia-Gredilla *et al.*, 2020).

A buva ou *Conyza bonariensis*, é uma planta herbácea e ereta, com altura variando de 60 a 120 centímetros, apresentando folhas densamente pubescentes e podendo ser diferenciada de outras espécies, como a *Conyza canadenses*, por apresentar panículas menores e não possuir margem foliar denticulada (Lorenzi, 2014). Já a inflorescência dessa espécie é composta por panículas, com flores de coloração branca e diâmetro maior que 10 milímetros. Além disso, essa espécie é nativa da América do Sul e apresenta ciclo anual ou bienal, com germinação das sementes ao longo do ano. Essa planta daninha é predominantemente autógama, embora possa ocorrer alogamia entre as populações infestantes (Kissmann; Groth, 1999; Santos, 2012).

Uma planta de *Conyza bonariensis* é capaz de produzir cerca de 110 mil sementes (aquênios), sendo que cada capítulo floral pode conter entre 190 e 550 sementes, com média aproximada de 400 aquênios. Essas sementes não apresentam dormência e germinam em condições favoráveis de umidade e temperatura, especialmente após eventos de chuva, que resultam em surtos de emergência. Além disso, os aquênios são facilmente disseminados pelo vento em razão da presença de pappus (Wu; Walker, 2004). As sementes são fotoblásticas positivas e apresentam maior potencial germinativo na faixa de temperatura entre 20 e 25°C, sendo as temperaturas mínima e máxima para germinação em torno de 4,2°C e 35°C, respectivamente (Yamashita; Guimarães, 2011).

No Brasil, os primeiros relatos de buva resistente ao herbicida glifosato ocorreram na safra 2004/2005, em que a perda de eficácia e a crescente aplicação do herbicida resultaram em biótipos resistentes ao mecanismo de ação, que inibe a enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase, principal herbicida utilizado para o controle de *Conyza spp.* até então (Vargas *et al.*, 2007). Nesse contexto, a autopolinização, associada à elevada produção e à ampla disseminação dos aquênios, contribui para a adaptação e a sobrevivência de biótipos resistentes (Moreira *et al.*, 2007).

Dessa forma, se faz necessário o uso de herbicidas com diferentes mecanismos de ação para o controle eficaz da buva, especialmente em áreas com histórico de resistência (Moreira *et al.*, 2010). Além disso, o estágio de desenvolvimento das plantas influencia diretamente na eficácia do controle químico, pois plantas em estádios mais avançados apresentam maior dificuldade de manejo, reduzindo as opções para o controle. Nesse contexto, o glufosinato de amônio destaca-se como uma importante alternativa para o controle da buva, podendo ser utilizado isoladamente, em mistura com outros herbicidas ou em aplicações sequenciais (Constantin *et al.*, 2013; Bornelli *et al.*, 2022; Schneider *et al.*, 2022).

### 3.2.3. Glufosinato de Amônio

O glufosinato de amônio é um herbicida pós-emergente, de contato e não seletivo, que atua na rota do nitrogênio nas plantas, afetando a função da glutamina sintetase (GS), considerada a segunda proteína mais abundante nas folhas das plantas. Esse herbicida foi descoberto a partir de estudos com bactérias do gênero *Streptomyces spp.*, sendo utilizado comercialmente pela primeira vez em 1993 (Takano, 2024). Com a introdução de culturas geneticamente modificadas resistentes ao glufosinato de amônio, o estudo desse herbicida tornou-se ainda mais relevante, principalmente pelo controle de plantas daninhas após a implantação da cultura (Oliveira; Brunharo, 2016).

Quanto ao mecanismo de ação, o glufosinato de amônio atua inibindo a GS, enzima fundamental para a assimilação de nitrogênio pela planta, responsável pela ligação entre uma molécula de amônia e outra de glutamato, formando glutamina. No entanto, esse herbicida liga-se irreversivelmente aos receptores da GS, por apresentar alta similaridade com o glutamato, gerando um aumento da concentração de amônia livre nas células e na formação de espécies reativas de oxigênio (EROs) (Dayan *et al.*, 2019). Esse processo provoca o estresse oxidativo nas membranas fosfolipídicas e seu respectivo rompimento, resultando na morte celular em função da disponibilidade de elétrons livres, oxigênio e luminosidade (Takano; Dayan, 2020).

Este herbicida é um composto pouco volátil, justamente por apresentar baixa pressão de vapor ( $10^{-4}$  Pascal), sendo normalmente disponibilizado na forma de sal de amônio e dissociando-se em água (Takano *et al.*, 2020). Quanto às demais características físico-químicas, destacam-se o seu caráter hidrofílico (Log Kow: -4,0) e por apresentar diferentes constantes de ionização (pKa: 2,0; 2,9; e 9,8), por causa dos grupos amina e hidroxila presentes na sua estrutura molecular (Takano *et al.*, 2019).

Embora, em baixas concentrações, a absorção do glufosinato de amônio possa ser mediada por transportadores ativos, sua entrada nos tecidos vegetais é influenciada especialmente pelo gradiente de concentração, ocorrendo de forma passiva por difusão entre as células. Após a absorção, o herbicida é redistribuído pela planta por rota apoplástica até o xilema, onde a ação do herbicida é diretamente influenciada pela taxa transpiratória (Takano, 2024).

Dessa forma, o horário de aplicação pode interferir na eficácia do glufosinato de amônio, uma vez que condições de altas temperaturas, umidade relativa do ar e luminosidade potencializam o efeito do herbicida. Sendo assim, as aplicações realizadas ao meio-dia tendem a acumular mais EROs e apresentar maior eficácia de controle em comparação ao amanhecer,

entardecer e à noite (Takano; Dayan, 2021). Apesar do glufosinato de amônio apresentar características capazes de promover altos níveis de controle, sua eficácia é influenciada por uma série de parâmetros da tecnologia de aplicação, como o tamanho de gotas ou o volume de calda utilizado (Butts *et al.*, 2018).

### 3.3. TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO

A tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas consiste no conjunto de conhecimentos voltados à correta deposição do produto sobre o alvo, buscando a máxima eficiência, na quantidade necessária, de forma econômica e com o mínimo de contaminação ambiental e das áreas ao redor (Matuo, 1990; Chaim, 2009). Esse conceito envolve diferentes aspectos relacionados à aplicação, como o estudo do alvo biológico, o uso de adjuvantes, o fator humano, a tecnologia da informação, as condições ambientais, o tipo e a formulação dos defensivos agrícolas e o processo de pulverização. Dessa forma, a tecnologia de aplicação visa atingir a maior eficiência e eficácia no controle fitossanitário, de maneira responsável e fundamentada nas boas práticas agrícolas (Antuniassi *et al.*, 2022).

Nesse contexto, a atuação do aplicador é um fator determinante para o sucesso da operação, uma vez que a aplicação de defensivos agrícolas exige conhecimento técnico, experiência e responsabilidade (Gazziero *et al.*, 2001). Além disso, a segurança do trabalhador também deve ser considerada, pois as atividades agrícolas podem promover riscos de acidentes e contaminações. Dessa forma, o uso de equipamentos de proteção individual (EPI) torna-se indispensável durante o preparo da calda e a aplicação dos produtos, contribuindo para a proteção da saúde do operador e para a realização segura da atividade (Meirelles; Veiga; Duarte, 2016).

Outro fator essencial da tecnologia de aplicação está relacionado às condições ambientais no momento da aplicação, podendo interferir diretamente no desempenho dos produtos fitossanitários e na qualidade da deposição das gotas sobre o alvo (Antuniassi, 2009; Cieslik; Vidal; Trezzi, 2013). Entre os principais fatores ambientais, destacam-se a chuva, o orvalho e a luminosidade, que podem causar perdas por escorrimento do produto não absorvido, diluição da calda e fotodegradação de determinados ingredientes ativos, respectivamente (Adegas; Grazziero, 2020). Sendo assim, as aplicações devem ser preferencialmente realizadas quando a umidade relativa do ar for acima de 55%, com velocidade do vento de 3 até 7 km h<sup>-1</sup> e temperaturas abaixo de 30°C (Raetano, 2019).

Quanto ao estado físico, os produtos fitossanitários podem ser aplicados nas formas gasosa, sólida ou líquida, sendo a última mais utilizada no manejo das culturas (Di Oliveira; Ferreira; Fenólio, 2008). Diante disso, a tecnologia de aplicação otimiza a eficiência e eficácia desses produtos fitossanitários, além do aumento da sustentabilidade e responsabilidade socioambiental no campo (Verozeni; Delgado, 2025). Nesse contexto, o processo de pulverização pode ser considerado o princípio básico da tecnologia de aplicação (Antuniassi *et al.*, 2022).

### 3.3.1. Pulverização

A pulverização consiste na fragmentação de uma calda líquida (ingrediente ativo + diluente) em gotas, com o objetivo de direcioná-las ao alvo (Marouelli; Lage; Braga, 2014). Essa prática constitui uma das principais modalidades da tecnologia de aplicação, e ao atender seus preceitos, o sucesso no processo de pulverização se eleva significativamente. Esse processo parte da pressurização da calda em um circuito hidráulico até a sua passagem por um restritor (Matthews, 2015). Dessa forma, a calda é conduzida do reservatório até a saída do sistema de pulverização, onde é transformada em gotas (Carreira; Liu; Leite, 2022).

O sucesso da aplicação líquida de produtos fitossanitários está diretamente relacionado à forma como as gotas atingem e se distribuem sobre o alvo, sendo o tamanho e a uniformidade dessas gotas fatores essenciais para uma aplicação eficiente (Zampiróli *et al.*, 2021). Dentre as máquinas desenvolvidas para operações agrícolas, os pulverizadores destacam-se como os equipamentos mais empregados na aplicação de produtos fitossanitários, como fungicidas, inseticidas e herbicidas, desde que estejam devidamente regulados e calibrados (Antuniassi; Gandolfo, 2001).

A regulagem pode ser definida como a adequação dos componentes de um pulverizador às condições de aplicação, envolvendo a seleção dos bicos de pulverização, a altura de aplicação, a pressão de trabalho, o espaçamento entre bicos e a velocidade de deslocamento (Matuo, 1990; Chaim, 2009). Quando esses ajustes não são realizados adequadamente, o uso de pulverizadores pode resultar em maiores perdas de produtos fitossanitários, redução da eficiência operacional e aumento do risco de contaminação ambiental (Martini *et al.*, 2021).

A calibração do pulverizador visa ajustar o equipamento para melhorar a deposição e cobertura da calda sobre o alvo, utilizando o volume necessário para a realização eficiente da aplicação. Esse processo envolve um conjunto de procedimentos, como a determinação da

vazão em cada bico de pulverização, o cálculo da quantidade de produto fitossanitário a ser utilizada e a verificação do volume de calda consumido durante a operação (Matuo, 1990; Chaim; Pessoa, 2002). Dessa forma, a calibração é fundamental para garantir a maior qualidade e uniformidade no processo de pulverização (Chaim; Pessoa, 2006).

Diante disso, os métodos de pulverização podem ser classificados de acordo com o princípio utilizado na formação das gotas. Entre os sistemas mais utilizados destaca-se a pulverização com pontas hidráulicas, onde o líquido é pressurizado e forçado a sair por um restritor, promovendo a fragmentação da calda em gotas. Uma alternativa é a pulverização realizada por bicos centrífugos ou rotativos, que deposita o líquido sobre discos em movimento que rompe a calda e as pulveriza (Chaim, 2009). Essas pontas e bicos de pulverização são acoplados a máquinas pulverizadoras, e, em razão da busca por maior produtividade e redução de custos, diversas tecnologias são adotadas, como a substituição de equipamentos terrestres por aéreos (Costa, 2017).

### 3.3.2. Pulverização Terrestre

A pulverização terrestre, realizada a partir de equipamentos que operam em contato com o solo, representa uma das principais formas de aplicação de produtos fitossanitários sobre o alvo (Miranda *et al.*, 2010). Neste contexto, os pulverizadores de barras com pontas hidráulicas são os mais utilizados, constituindo o principal sistema empregado na aplicação terrestre (Dedordi *et al.*, 2014).

Esses equipamentos podem ser classificados quanto à forma de acionamento e deslocamento, podendo citar os pulverizadores autopropelidos, que possuem motor e transmissão próprios, permitindo a aplicação em culturas de maior porte ou mais desenvolvidas; tratorizados, que são acoplados diretamente no trator, o qual é responsável por fornecer a potência e sustentação do equipamento; de tração animal, em que os animais realizam o deslocamento do pulverizador ou de uma carreta que transporta o equipamento; ou manuais, que são acionados e transportados pelo próprio operador (Balastreire, 2004)

Dentre os pulverizadores manuais utilizados, destaca-se o modelo pressurizado por dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que dispensa a necessidade de bombeamento manual (Shivaraja; Parameswaramurthy, 2014). Sendo amplamente utilizado em parcelas experimentais, permitindo aplicar pequenas quantidades de calda com facilidade. No entanto, este equipamento pode resultar em variações da pressão no circuito hidráulico, podendo influenciar significativamente no tamanho de gotas gerado (Gabriel; Baio, 2013). Esses equipamentos são

compostos por uma estrutura de suporte em forma de mochila, alças ajustáveis sobre os ombros e cintura do operador, cilindros de alumínio contendo CO<sub>2</sub>, mangueiras de ar, recipiente plástico contendo a calda de aplicação, manômetro para monitoramento da pressão de trabalho e um sistema de pulverização, composto por mangueiras, barra e bicos, acoplados às pontas de pulverização. Com isso, o gás proveniente do cilindro é conduzido ao reservatório, promovendo a pressurização da calda, que é então transportada pelas mangueiras até as pontas hidráulicas, onde é fragmentada em gotas (Gairhe; Kanissery, 2018).

Dessa forma, torna-se fundamental comparar a qualidade da pulverização e a eficiência da aplicação realizada por equipamentos inovadores com a obtida por pulverizadores convencionais, a fim de avaliar a eficiência e eficácia de novas tecnologias (Cunha; Silva, 2021). Como alternativa a aplicação terrestre, surge o uso de veículos aéreos não tripulados (Pranaswi *et al.*, 2024), que contribuem para a redução da compactação nas camadas superficiais do solo (Kim *et al.*, 2021), facilitando as operações em relevos acidentados e de difícil acesso, permitindo aplicações em solos com alta umidade e reduzindo o amassamento das culturas (Maritan *et al.*, 2025).

### 3.3.3. Pulverização Aérea com VANT

A pulverização aérea pode ser definida como uma prática que visa depositar a calda de aplicação com o uso de aeronaves (Lan *et al.*, 2010). Dentre as máquinas utilizadas na pulverização aérea, destaca-se o uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs), popularmente conhecidos como “drones”, sendo uma técnica fundamentada na agricultura de precisão e pode apresentar eficiência operacional e eficácia de controle similares ou superiores às obtidas com pulverizadores convencionais (Hafeez *et al.*, 2022).

De acordo com dados da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), o Brasil possui aproximadamente 142.163 aeronaves não tripuladas cadastradas para diferentes finalidades, conforme os critérios estabelecidos pelo Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial nº 94 (RBAC-E nº 94). Desse valor, cerca de 11.151 unidades são destinadas à aplicação de insumos agrícolas (ANAC, 2026). As operações com esses equipamentos devem atender às normas estabelecidas pela Portaria MAPA nº 298, de 22 de setembro de 2021, que regulamenta o uso de veículos aéreos não tripulados para a aplicação de insumos agrícolas (BRASIL, 2021).

Uma das principais características da aplicação via VANT deve-se ao princípio de formação de gotas empregado, apesar de muitos drones utilizarem pontas de pulverização hidráulicas, modelos recentes normalmente operam com bicos centrífugos (Qingqing *et al.*,

2017). Esses bicos apresentam discos em alta velocidade que fragmentam a calda líquida, gerando uma maior uniformidade de gotas em relação às pontas hidráulicas. Reduzindo a formação de gotículas pequenas, que são transportadas por correntes de ar e gerando o processo de deriva, assim como de gotas extremamente grandes, podendo resultar em escorrimento (Oliveira; Ferreira; Román, 2010). Outro efeito característico na aplicação com VANTs é o efeito “downwash” gerado pela alta rotação dos rotores do drone, uma vez que o fluxo de ar descendente gerado pelas hélices transporta as gotas em direção ao alvo (Zheng *et al.*, 2018). Esse efeito é capaz de aumentar significativamente a deposição e a penetração das gotas no dossel das plantas (Hu *et al.*, 2022).

O emprego de aeronaves não tripuladas na agricultura proporciona uma série de vantagens, que contribuem para uma aplicação mais segura e eficiente de defensivos agrícolas (Oliveira *et al.*, 2020). Dentre essas vantagens, destaca-se o alto rendimento operacional, uma vez que os VANTs não necessitam de pistas para decolagem e pouso, apresentam facilidade de transporte e maior eficiência na realização de manobras (Gatkal *et al.*, 2025). Um exemplo é o VANT Agras T40 (DJI™), capaz de aplicar até 21,3 hectares  $\text{h}^{-1}$  em grandes áreas, com um volume de calda de 15 L  $\text{ha}^{-1}$ , 11 metros de largura de faixa, velocidade de 7 m  $\text{s}^{-1}$  e 3 metros de altura (DJI, 2026).

O uso de drones se destaca como uma tecnologia inovadora na produção agrícola, contribuindo para uma agricultura sustentável, próspera e resiliente, pois promove o aumento da eficiência no manejo das culturas e com alta precisão (Guebsi; Mami; Chokmani, 2024). No entanto, o uso adequado da tecnologia de aplicação é fundamental na pulverização aérea com drones, em razão das particularidades operacionais desse sistema, as quais podem gerar maiores desafios para a obtenção de um controle eficaz (Piasecki, 2024). Dessa forma, os VANTs podem apresentar características operacionais distintas em relação aos equipamentos convencionais, como o emprego de diferentes volumes de calda (Oliveira Neto *et al.*, 2024).

#### 3.3.4. Volumes de Calda

O volume de calda corresponde à quantidade de um líquido aplicado sobre uma área, sendo constituído por produtos fitossanitários e diluente (Antuniassi; Baio, 2009). Esse parâmetro é a consequência da calibração da pulverização, e não a sua causa, sendo definido por fatores como o tipo de alvo, índice de área foliar, modo de ação do ingrediente ativo, momento de controle e as condições climáticas no momento da aplicação (Garcia; Justino; Ramos, 2002). Do ponto de vista operacional, o volume de calda é o resultado da relação entre

a vazão nos bicos de pulverização, a faixa de aplicação e a velocidade de deslocamento do equipamento (Maciel *et al.*, 2025).

Na aplicação dos produtos fitossanitários, a variação do volume de calda pode apresentar resultados distintos quanto à mobilidade do ingrediente ativo. Muitos herbicidas de contato exigem uma maior cobertura para o aumento da sua eficácia. Herbicidas sistêmicos não precisam dessa condição para seu respectivo efeito, justamente pela translocação do produto pelo xilema, floema ou até em ambos os vasos condutores (Correia, 2021).

O volume de calda utilizado na aplicação de produtos fitossanitários varia conforme o equipamento de pulverização empregado. Em grandes áreas produtoras de grãos, por exemplo, são utilizadas taxas de aplicação entre 50 e 200 L ha<sup>-1</sup> para pulverizadores terrestres (Antuniassi *et al.*, 2021). Já na pulverização com veículos aéreos não tripulados (VANTs), os volumes de calda normalmente se enquadram na faixa de baixo volume, variando de 5 a 30 L ha<sup>-1</sup>. Em situações específicas, também podem ser utilizados volumes ultrabaixos, inferiores a 5 L ha<sup>-1</sup>, ou volumes médios, entre 30 e 50 L ha<sup>-1</sup> (Soares; Schröder, 2025).

Por meio disso, a tendência é utilizar o menor volume de calda possível, pois promove um aumento da autonomia e eficiência operacional das máquinas pulverizadoras, além de reduzir significativamente o custo da aplicação, a perda por escorrimento no alvo e o uso desnecessário de água e adjuvantes (Rodrigues, 2011). No entanto, a redução do volume de calda com herbicidas levanta dúvidas quanto ao limite mínimo necessário para o controle satisfatório, sendo necessário o uso dos conhecimentos relacionados à tecnologia de aplicação para manter a qualidade da pulverização (Souza; Cunha; Pavanin, 2012; Arcoverde *et al.*, 2024).

### 3.4. QUALIDADE DA PULVERIZAÇÃO

A qualidade da pulverização abrange diversos componentes relacionados com a aplicação de produtos fitossanitários sobre uma área, como a uniformidade do espectro, o tamanho de gotas gerado e o fenômeno de deriva (Talaiezhadeh *et al.*, 2025). Além da deposição no alvo e a eficácia do controle (Baesso *et al.*, 2014). Essa qualidade pode ser influenciada por uma série de fatores, como o efeito do produto utilizado, o alvo biológico, o equipamento de pulverização, o momento de aplicação e as condições ambientais (Ramos, 2004).

O tamanho de gotas gerado, normalmente expresso pelo diâmetro mediano volumétrico (DMV) em micrômetros ( $\mu\text{m}$ ), é um dos principais parâmetros relacionados à qualidade da pulverização (Maciel *et al.*, 2025). A classificação do espectro de gotas pode ser realizada com base na norma ASABE S572.2 (2018), apresentada na Tabela 1. Para a aplicação

de herbicidas, a escolha do tamanho de gotas deve-se sustentar principalmente quanto à mobilidade do herbicida selecionado, condições do momento da aplicação e ao estágio fenológico em que a planta daninha se encontra no momento do controle. Sendo recomendado o uso de gotas que variam de finas a extremamente grossas (Butts *et al.*, 2018; Trogello; Faustino, 2019; Moraes *et al.*, 2021)

Tabela 1 - Classificação do diâmetro de gotas para pulverização agrícola proposta pela ASABE S572.2

Categoria	Símbolo	Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV)
Extremamente Fina	XF	< 119 $\mu\text{m}$
Muito Fina	VF	119 - 177 $\mu\text{m}$
Fina	F	177 - 235 $\mu\text{m}$
Média	M	235 - 317 $\mu\text{m}$
Grossa	C	317 - 370 $\mu\text{m}$
Muito Grossa	VC	370 - 458 $\mu\text{m}$
Extremamente Grossa	XC	458 - 622 $\mu\text{m}$
Ultra Grossa	UC	> 622 $\mu\text{m}$

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

Para quantificar a qualidade da pulverização, utilizam-se papéis hidrossensíveis de coloração amarela como amostradores, formando marcas azuis pela ionização do bromofenol ao entrarem em contato com a água (Cunha; Farnese; Olivet, 2013). Após a aplicação, esses papéis podem ser analisados por softwares específicos, como o e-Sprinkle™ ou o Conta-Gotas™, que facilitam a avaliação de parâmetros como porcentagem de área coberta, densidade de impactos, amplitude relativa (SPAN) e potencial risco de deriva (Garcia; Ramos; Justino, 2004).

Diante do uso de caldas mais concentradas e de volumes cada vez menores, por causa da maior eficiência operacional e da limitada capacidade do reservatório dos drones, é fundamental melhorar a qualidade da pulverização a partir do uso de gotas com diâmetros menores. No entanto, essa redução no tamanho das gotas tende a um aumento no risco de deriva, evidenciando um dos principais desafios na pulverização aérea com VANTs (Chen *et al.*, 2022).

### 3.4.1. Porcentagem de Área Coberta

A porcentagem de área coberta corresponde à fração da superfície do alvo atingida pelas gotas, sendo um fator fundamental na avaliação da qualidade da pulverização. A melhor cobertura de um alvo é variável, pois depende principalmente da mobilidade do ingrediente ativo utilizado para o controle (Baesso *et al.*, 2014).

Buscando avaliar o efeito do volume de calda na deposição e controle de pragas e doenças na cultura do trigo, Wang *et al.* (2019) utilizaram um VANT modelo 3WQF120-12 (marca Quanfeng Aviation<sup>TM</sup>) operando nos volumes de 9,0; 16,8; e 28,1 L ha<sup>-1</sup>, obtidos com as pontas LU120-01, LU120-02 e LU120-03 (marca Lechler<sup>TM</sup>), respectivamente. Além disso, os autores empregaram um pulverizador terrestre para aplicar os volumes de 225 e 450 L ha<sup>-1</sup>. No terço superior da cultura, a área coberta nos tratamentos com VANT não diferiram significativamente entre si, com valores de 1,4 ( $\pm 0,3$ ) %, 2,6 ( $\pm 0,4$ ) % e 3,4 ( $\pm 0,5$ ) % para os volumes de 9,0; 16,8 e 28,1 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Já as aplicações realizadas pelo pulverizador terrestre diferiram significativamente entre si e em relação ao VANT, com valores de 17,9 ( $\pm 3,8$ ) % e 45,2 ( $\pm 4,0$ ) % com 225 e 450 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Na pesquisa desenvolvida por Shan *et al.* (2021), os autores buscaram avaliar os efeitos do tamanho e deposição de gotas na aplicação de herbicida em trigo, analisando a porcentagem de área coberta promovida por um drone P30 (marca XAG<sup>TM</sup>) equipado com bicos de atomização centrífuga. O estudo partiu de quatro volumes de calda (7.5 L ha<sup>-1</sup>, 15.0 L ha<sup>-1</sup>, 22.5 L ha<sup>-1</sup>, e 30.0 L ha<sup>-1</sup>) e três diâmetros medianos volumétricos (150  $\mu\text{m}$ , 200  $\mu\text{m}$ , e 300  $\mu\text{m}$ ). Os autores concluíram que houve uma maior porcentagem de área coberta com o aumento do volume de calda, uma vez que em 7,5 L ha<sup>-1</sup> as médias de área coberta variaram de 2,3 a 2,8%, já com 30 L ha<sup>-1</sup> as médias oscilaram entre 10,2 e 12,8%. Além disso, os diferentes tamanhos de gotas influenciaram apenas os maiores volumes de calda, com variações de 2,4; 1,8 e 2,6% em 15, 22,5 e 30 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Ao avaliar o efeito de diferentes pontas e volumes de calda na aplicação de fungicida na cultura do milho (*Zea mays* L.), Meneghel *et al.* (2021) utilizaram um pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>, da marca Herbicat<sup>TM</sup>, configurado para gerar as taxas de 40, 80, 120, 160, 200 L ha<sup>-1</sup>, com as pontas de jato cônico vazio e leque simples. Os autores não observaram interação significativa entre o tipo de ponta e o volume de calda utilizado. No entanto, ao analisarem a relação entre a porcentagem de área coberta e o incremento do volume de calda, por meio de regressão polinomial, verificaram o aumento da cobertura de 12,3% para 31,0% quando o volume foi elevado de 40 para 200 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Com o objetivo de avaliar o controle de doenças na cultura do trigo utilizando diferentes pulverizadores, Zhou *et al.* (2023) compararam três VANTs, sendo o XP2020 (marca XAG™) equipado com atomizadores rotativos e 15 L ha<sup>-1</sup>; T16 (DJI™), equipado com pontas de jato plano F110-01 (Teejet™) e 15 L ha<sup>-1</sup>; e CE20 (Wuxi Hanhe Aviation Technology Co.™), equipado com pontas de jato plano F110-025 (Teejet™) e volume de calda entre 13,5 e 15 L ha<sup>-1</sup>. Assim como um pulverizador de barra do modelo 3WPZ-700™, operando a 240 L ha<sup>-1</sup> com pontas de jato plano F110-02 (Lanao™), e a um pulverizador elétrico costal 3WBD-18™, operando a 270 L ha<sup>-1</sup> com pontas de jato cônico. Na camada superior do dossel da cultura, o pulverizador de barra apresentou a maior porcentagem de área coberta (57%), seguido pelo pulverizador elétrico costal (24,83%). Já os pulverizadores aéreos XP2020, T16 e CE20 apresentaram o valor de cobertura máximo de 8%, não havendo diferenças significativas entre si.

Na pesquisa conduzida por Sandman *et al.* (2025), foi avaliada a deposição da calda aplicada por um drone DJI™ AGRAS T30, equipado com pontas de jato cônico vazio da marca TeeJet™ e modelo TXA8001VK, operando nos volumes de 7, 11 e 15 L ha<sup>-1</sup> e nas velocidades de 15, 20 e 25 km h<sup>-1</sup>. Esses resultados foram comparados à aplicação realizada por um pulverizador terrestre nos volumes de 70, 110 e 150 L ha<sup>-1</sup>. Na posição superior do dossel, os autores concluíram que a maior porcentagem de área coberta foi alcançada na pulverização terrestre com volume de 150 L ha<sup>-1</sup>, com cobertura média de 18,8%, diferindo significativamente dos volumes de 110 e 70 L ha<sup>-1</sup>, que apresentaram coberturas de 14,7% e 9,5%, respectivamente. Além de superar as aplicações aéreas com volumes e velocidades distintas, que apresentaram menores percentuais de cobertura, variando entre 0,82% a 5,72%.

#### 3.4.2. Volume Recuperado

O volume recuperado (L ha<sup>-1</sup>) é uma fração da calda pulverizada, composta pelas gotas que atingem efetivamente a superfície do alvo. Esse parâmetro pode ser influenciado pelas características da planta daninha, pelas propriedades de formação das gotas e pela dinâmica das correntes de ar entre o bico de pulverização e o alvo (Contiero; Biffe; Catapan, 2018).

Na pesquisa conduzida por Balan, Saab e Silva (2006), os autores buscaram avaliar o depósito de gotas com turboatomizador em videiras (*Vitis spp.*). Foi utilizado um trator acoplado a um turboatomizador de arrasto modelo KO A-500, da marca KO Máquinas™, equipado com pontas de pulverização da marca Jacto™. Foram utilizados as pontas de jato cônico vazio JA-1 e JA-2, responsáveis pela formação de gotas de menor diâmetro, e pontas de

jato plano 110-LD-015, formando gotas grossas. Os autores concluíram que nos volumes de calda de 406 e 1675 L ha<sup>-1</sup> com pontas configuradas para gerar gotas grossas, houve um depósito de calda de 1,98 e 6,32 µL cm<sup>-2</sup>, ou 198 e 632 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Já nos volumes de 401, 1674 e 358 L ha<sup>-1</sup> com pontas configuradas para gerar gotas finas, foram obtidos os valores de 138, 529 e 154 L ha<sup>-1</sup>.

Em uma pesquisa realizada sobre áreas de pousio no estado do Texas (EUA), Martin *et al.* (2020a) utilizaram uma aeronave agrícola modelo Air Tractor 402B (Air Tractor Inc.<sup>TM</sup>) para o controle de plantas daninhas. No primeiro ano, foi empregado a ponta eletrostática do modelo TX-VK8 (marca Spectrum Electrostatic Sprayers<sup>TM</sup>) e bicos de jato plano CP-11TT (CP Products<sup>TM</sup>), nos volumes de 9,4 e 28,1 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente, resultando nos volumes recuperados de 3,81 e 15,24 L ha<sup>-1</sup>. No segundo ano, os autores adicionaram os bicos atomizadores rotativos AU-5000 (Micron Sprayers<sup>TM</sup>) e o sistema eletrostático com a carga ligada e desligada. Onde os bicos CP-11TT e AU-5000 foram utilizados com volume de 28,1 L ha<sup>-1</sup>, enquanto o sistema eletrostático operou com 9,4 L ha<sup>-1</sup>, obtendo-se os volumes recuperados de 2,04 L ha<sup>-1</sup> (eletrostática desligada), 3,28 L ha<sup>-1</sup> (eletrostática ligada), 18,97 L ha<sup>-1</sup> (CP-11TT) e 14,04 L ha<sup>-1</sup> (AU-5000).

No estudo realizado por Carneiro *et al.* (2024), foi avaliado a dessecação de plantas de cobertura com diferentes volumes de calda (5, 10, 15, 20 e 25 L ha<sup>-1</sup>) aplicados por um VANT da marca DJI<sup>TM</sup>, modelo AGRAS MG1-P, equipado com pontas de pulverização TeeJet<sup>TM</sup> do modelo XR 11001. Os autores verificaram um aumento linear do volume recuperado com o incremento do volume de calda, uma vez que em 5 L ha<sup>-1</sup> foi depositado aproximadamente 3 L ha<sup>-1</sup>, que se elevou linearmente a cerca de 18,6 L ha<sup>-1</sup> com 25 L ha<sup>-1</sup>.

Buscando avaliar a deposição de gotas na cultura do trigo com o uso de um pulverizador aéreo, Mathias e Rosa (2025) empregaram um drone do modelo Agras T50 (DJI<sup>TM</sup>) equipado com pontas de pulverização centrifuga do modelo LX8060SZ (DJI<sup>TM</sup>), em diferentes alturas de aplicação (4 e 6 metros) e volumes de calda (10 e 15 L ha<sup>-1</sup>). Os volumes recuperados sob 4 metros de altura não diferiram entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância, uma vez que os valores variaram de 0,09 a 0,12 µL cm<sup>-2</sup>, ou seja, de 9 à 12 L ha<sup>-1</sup> aos 10 e 15 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Em um estudo promovido por Ribeiro, Ribeiro e Vitória (2025), os autores avaliaram o efeito de diferentes volumes de calda (8, 12 e 16 L ha<sup>-1</sup>) na cultura da melanciaira (*Citrullus lanatus* Schrad) com VANT. O drone agrícola utilizado é da marca DJI<sup>TM</sup> modelo Agras T10, equipado com pontas de jato plano modelo XR110-015 VS (TeeJet<sup>TM</sup>). Na face adaxial das folhas da cultura, os autores determinaram diferenças significativas entre o maior e o menor

volume de calda utilizado, uma vez que a deposição foi de 3,7; 5,1 e 7,3 L ha<sup>-1</sup> nos volumes de 8, 12 e 16 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

### 3.4.3. Densidade de Impactos

A densidade de impactos pode ser definida como o número de gotas depositadas por unidade de área, normalmente expressa em impactos por cm<sup>2</sup>. Esse fator é fundamental para o melhor controle possível de plantas daninhas, sendo variável conforme as particularidades do herbicida utilizado e do alvo a ser controlado (Gazziero *et al.*, 2001).

Com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes volumes de calda e adjuvantes no controle de doenças e pragas na cultura do arroz (*Oryza sativa* L.), Wang *et al.* (2020a) utilizaram um drone modelo R10 (marca TXA<sup>TM</sup>), equipado com pontas hidráulicas ST110-01 (Lechler<sup>TM</sup>) e operando nos volumes de 9 e 18 L ha<sup>-1</sup>. Os autores observaram que o aumento do volume de calda resultou no incremento significativo na densidade de impactos, independentemente do uso de adjuvante. Na ausência do uso, a densidade de gotas aumentou de 27,9 ± 1,2 para 42,1 ± 2,5 impactos cm<sup>-2</sup> nos volumes de 9 para 18 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Quando associado ao adjuvante, os valores evoluíram de 39,1 ± 1,8 para 53,4 ± 2,7 impactos cm<sup>-2</sup> nas mesmas taxas de aplicação.

No trabalho de Martin *et al.* (2020b), os autores buscaram avaliar a aplicação de defensivos agrícolas realizada por VANT em relação à pulverização terrestre. Na aplicação aérea, foi utilizado um VANT do modelo V6A (Homeland Surveillance and Electronics<sup>TM</sup>) operando nas taxas de 18,7 e 37,4 L ha<sup>-1</sup>. Já na aplicação terrestre foi empregado um pulverizador costal pressurizado por CO<sub>2</sub> com 140 L ha<sup>-1</sup> de volume de calda. As densidades de impactos obtidas com VANT não diferiram entre si, com valores oscilando de 16,9 impactos cm<sup>-2</sup> (18,7 L ha<sup>-1</sup>) para 38,7 impactos cm<sup>-2</sup> (37,4 L ha<sup>-1</sup>), já a aplicação terrestre diferiu significativamente da aérea, sendo obtido o valor de 51,1 impactos cm<sup>-2</sup>.

Na pesquisa conduzida por Vitória *et al.* (2023) sobre o controle de doenças fúngicas em cafezais com VANT, os autores utilizaram um drone da marca DJI<sup>TM</sup>, modelo Agras MG-1P, equipado com pontas de pulverização de jato plano e operando com volumes de calda de 5, 10 e 15 L ha<sup>-1</sup>. Esses tratamentos foram comparados à aplicação realizada por um pulverizador terrestre com volume de 400 L ha<sup>-1</sup>. Na posição superior do dossel das plantas, os pesquisadores observaram que a densidade média do impacto de gotas com VANT variou de 10,11 impactos cm<sup>-2</sup> com 5 L ha<sup>-1</sup>, até 15,7 impactos cm<sup>-2</sup> com 15 L ha<sup>-1</sup>. Já a aplicação realizada pelo pulverizador terrestre foi de 129,75 impactos cm<sup>-2</sup>.

Em um estudo promovido por Lopes, Cunha e Nomelini (2023), os autores avaliaram a qualidade da pulverização na cultura da soja (*Glycine max* L.), utilizando um VANT com diferentes bicos de pulverização em comparação à um pulverizador terrestre. O drone utilizado é um Agras MG-1 (DJI™) com volume de calda de 10 L ha<sup>-1</sup>, acoplado às pontas XR 11001 (TeeJet™) de jato plano, AirMix 11001 (Jacto™) com jato plano de indução a ar e COAP 9001 (Solcera™) de jato cônico vazio. Para comparação, foi utilizado um pulverizador terrestre pressurizado com CO<sub>2</sub>, equipado com pontas de jato plano XR 110015 (TeeJet™) e com volume de calda de 100 L ha<sup>-1</sup>. Na posição superior do dossel, não houve diferenças significativas entre as pontas de pulverização utilizadas por VANT, com densidades de 8,18; 4,90; e 12,20 impactos cm<sup>-2</sup> para as pontas COAP 9001, AirMix 11001 e XR 11001, respectivamente. Já a aplicação terrestre diferiu significativamente da aérea, apresentando 47,48 impactos cm<sup>-2</sup>.

Ao avaliar a deposição da calda aplicada por VANT em uma área com cultivo de café (*Coffea spp.*), Cunha *et al.* (2024) avaliaram os volumes de calda de 10 e 20 L ha<sup>-1</sup> pulverizados por um drone Agras MG-1P (DJI™). No terço superior da cultura, os autores observaram diferenças significativas entre os volumes avaliados. Com 10 L ha<sup>-1</sup> a densidade foi de 14 impactos cm<sup>-2</sup> e com 20 L ha<sup>-1</sup> o valor foi de 18,98 impactos cm<sup>-2</sup>.

#### 3.4.4. Potencial Risco de Deriva

A deriva corresponde à fração das gotas que são deslocadas para fora do alvo desejado, podendo ocorrer na forma de gotículas ou vapores. Esse processo pode ser influenciado por uma série de fatores, como o design e desempenho dos bicos de pulverização, as condições meteorológicas, as propriedades da calda de aplicação, a velocidade de operação do pulverizador e a distância entre o bico de pulverização e o alvo. Dessa forma, o potencial risco de deriva é determinado pela porcentagem de gotículas com diâmetro inferior a um determinado limite, como 150 µm (Miller, 2016).

Com o objetivo de avaliar o risco de deriva e o impacto ambiental com um VANT modelo P20 (XAG Company™) operando com 12 L ha<sup>-1</sup>, Wang *et al.* (2020b) observaram que o aumento da rotação dos bicos atomizadores gerou uma maior quantidade de gotas finas. Com o aumento de 2.000 para 17.000 rpm, o percentual do volume composto por gotas menores que 100 µm aumentou de 2,0% para 58,4%, enquanto a porcentagem de gotas menores que 150 µm foi de 3,9% para 96,5%, evidenciando que a velocidade de rotação dos bicos atomizadores interfere no potencial risco de deriva.

No trabalho realizado por Cunha *et al.* (2022), os autores buscaram avaliar o uso de gotas ultra grossas em diferentes volumes de calda no controle de plantas daninhas. Os volumes de 58, 72, 96, 144 e 177 L ha<sup>-1</sup> foram aplicados por um pulverizador terrestre, acoplado aos bicos MUG 110015 (MagnoJet™) e TTI 110015 (Teejet™). Os autores observaram diferenças significativas na deriva gerada entre os volumes de calda em cada ponta de pulverização. Na TTI 110015, o maior valor foi obtido no volume de 96 L ha<sup>-1</sup>, com 1,81%, enquanto os menores resultados ocorreram com 72 e 177 L ha<sup>-1</sup>, apresentando 1,45 e 1,46%, respectivamente. Para a ponta MUG 110015, o maior percentual foi observado em 58 L ha<sup>-1</sup>, com 1,46%, e os menores valores foram obtidos em 72, 96, 144 e 177 L ha<sup>-1</sup>, variando de 1,21 a 1,36%.

No estudo realizado por Cunha e Silva (2023), o objetivo foi avaliar a qualidade da pulverização na cultura do milho, utilizando um VANT AGRAS MG-1 (DJI™) sob duas alturas de voo (1,5 e 3,0 m) e configurado para aplicar 10 L ha<sup>-1</sup> de volume de calda. Para título de comparação, foi realizada uma aplicação por um pulverizador costal pressurizado por CO<sub>2</sub> na taxa de 115 L ha<sup>-1</sup>. Sendo utilizado pontas de jato plano em ambos os pulverizadores. Os autores observaram que a porcentagem de gotas menores que 100 µm nas aplicações com VANT variaram de 9 até 11%. Já na pulverização terrestre, a fração de gotas menores que 100 µm foi próxima a 5%.

Na cultura do café, o estudo de Santos *et al.* (2024) determinou a deriva de gotículas pulverizada em 3, 6, 9, 12 e 15 metros fora da área-alvo, em diferentes taxas de aplicação (10,0 e 15,0 L ha<sup>-1</sup>) e alturas de voo (3,0 e 4,0 metros), com um VANT modelo Agras T10 (DJI™). Os pesquisadores observaram que em três metros, o potencial risco de deriva não apresentou diferenças significativas, com valores que variaram de 27,87% com 10 L ha<sup>-1</sup> e 3 metros de altura, até 29,98% em 15 L ha<sup>-1</sup> e 4 metros de altura. Já em maiores distâncias, os valores apresentaram diferenças significativas, uma vez que os tratamentos de 10 e 15 L ha<sup>-1</sup> com 4 metros de altura apresentaram valores superiores de potencial de deriva quando comparados com os obtidos em 3 metros.

Em uma pesquisa conduzida por Lan *et al.* (2024) sobre uma área comercial com coqueiros (*Cocos nucifera* L.), os autores avaliaram a aplicação realizada por um VANT Agras T40 (DJI™) equipado com atomizadores rotativos LX8060SZ (DJI™), em função dos diferentes tamanhos de gotas (muito finas, médias e grossas) e volumes de calda (75 L ha<sup>-1</sup> e 60 L ha<sup>-1</sup>). Os autores verificaram que o tamanho de gotas e o volume de calda influenciaram significativamente na deriva gerada pela pulverização aérea. Para gotas médias, a redução do volume de 75 para 60 L ha<sup>-1</sup> promoveu uma redução de 73,87% na porcentagem de deriva acumulada.

#### 3.4.5. Diâmetro da Gota com 10% do Volume Acumulado

O  $DV_{0,1}$  corresponde ao diâmetro da gota onde 10% do volume aplicado é constituído por diâmetros inferiores a esse valor. Essa variável é fundamental para entender a fração mais fina do espectro de gotas gerado pelo processo de pulverização, estando relacionada com o potencial risco de deriva diante das condições climáticas (Cunha *et al.*, 2020).

Na região do Vale do Paraíba, Dario (2019) buscou avaliar o uso de diferentes volumes de calda na aplicação de fungicidas na cultura do arroz, utilizando um pulverizador aéreo ultraleve modelo Falcon, acoplado a bicos rotativos da marca Micronair™ modelo AU5000 e configurado para gerar 10 L ha<sup>-1</sup> de volume de calda. Como comparação, foi empregado um pulverizador terrestre equipado com pontas de jato plano da marca Jacto™, modelo AXI 110015, operando nos volumes de 100 e 200 L ha<sup>-1</sup>. O autor observou que os valores de  $DV_{0,1}$  variaram de 77 até 97 µm na pulverização aérea. Na pulverização terrestre com 100 L ha<sup>-1</sup>, os valores foram entre 119 e 136 µm, enquanto, com 200 L ha<sup>-1</sup>, oscilaram de 127 a 151 µm.

Em um estudo de Machado e Reynaldo (2019), os autores verificaram a qualidade da pulverização aérea e terrestre na cultura da soja. Dessa forma, empregaram uma aeronave agrícola Embraer™, modelo Ipanema, equipada com atomizadores do modelo AU-5000 (Micronair™) e operando com 20 L ha<sup>-1</sup> de volume de calda. Já a pulverização terrestre foi realizada com um pulverizador autopropelido, marca John Deere™, modelo JD 4730, com 100 L ha<sup>-1</sup> de volume de calda. No terço superior da cultura, os autores observaram que os valores médios de  $DV_{0,1}$  foram de 189,5 µm para a aplicação aérea, enquanto na aplicação terrestre foi obtido 229,2 µm.

Ao avaliarem o efeito de diferentes pontas de pulverização na aplicação de fungicidas em uma área cultivada com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), Garcia *et al.* (2023) utilizaram um pulverizador terrestre com 130 L ha<sup>-1</sup> de volume de calda, acoplado às pontas de jato cônico vazio (TXA 8002™), jato plano duplo (TJ60 11002™), jato plano de alcance estendido (XR 11002™), jato plano de grande ângulo (TT 11002™) e jato plano por indução de ar (AI 11002™). No terço superior do dossel da cultura, os valores médios de  $DV_{0,1}$  foram de 237, 209, 332, 407 e 657 µm, respectivamente. A análise estatística evidenciou diferenças significativas entre os tratamentos, exceto entre as pontas de jato cônico vazio e jato plano duplo, que não diferiram entre si.

No trabalho de Önlér *et al.* (2023), os autores realizaram uma caracterização da pulverização realizada por um VANT DJI™ Agras MG-1P, nas alturas de 1,5; 2 e 2,5 metros e nos volumes de 10, 15, 20, 25 e 30 L ha<sup>-1</sup>. Os autores determinaram que as pulverizações aéreas normalmente geram gotas mais finas, onde os valores de  $DV_{0,1}$  variaram de 139,6 (2,5 m e 15 L ha<sup>-1</sup>) para 194,7 µm (2,5 m e 20 L ha<sup>-1</sup>).

Com o objetivo de avaliar a qualidade da pulverização entre um pulverizador aéreo e terrestre na cultura da soja, Gabriel *et al.* (2025) utilizaram um VANT DJI™ Agras T20 P, equipado

com atomizadores rotativos e configurado para gerar 20 L ha<sup>-1</sup> de volume de calda. Na aplicação terrestre, foi utilizado um pulverizador Uniport 2500, marca Jacto<sup>TM</sup>, com pontas de jato cônico vazio e operando nos volumes de 80 e 100 L ha<sup>-1</sup>. Os autores observaram que os resultados de DV<sub>0,1</sub> não diferiram significativamente entre si, com valores de 103,7; 126,4 e 148,2 µm para as taxas de 20, 80 e 100 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

#### 3.4.6. Diâmetro da Gota com 50% do Volume Acumulado

O diâmetro de gota com 50% do volume acumulado (DV<sub>0,5</sub>), ou também chamado de diâmetro mediano volumétrico (DMV), é utilizado para avaliar o espectro de gotas de uma amostra pulverizada. Este fator divide a pulverização em basicamente duas partes, sendo uma metade com diâmetros de gota inferior ao DMV e a outra parte com diâmetros de gota acima desse valor. A análise desse parâmetro é fundamental na avaliação da qualidade da pulverização, assim como na classificação do tamanho das gotas e na determinação da uniformidade da pulverização (Matthews; Bateman; Miller, 2016).

A avaliação do controle de plantas daninhas com diferentes pulverizadores foi realizada por Kumar *et al.* (2022), onde empregaram um VANT modelo JT Sprayer 10-2016<sup>TM</sup>, equipado com pontas 11003VP (Licheng<sup>TM</sup>), operando com volume de calda de 33,7 L ha<sup>-1</sup>. Assim como um pulverizador costal com pontas de jato plano na taxa de 375 L ha<sup>-1</sup>. Os resultados demonstraram diferenças significativas no DMV entre os pulverizadores avaliados. Sem adjuvante, o pulverizador terrestre apresentou um valor de 670,3 ± 110,5 µm, enquanto o VANT resultou em 437,3 ± 40,2 µm.

No estudo conduzido por Paul *et al.* (2024), os autores buscaram avaliar a deposição de gotas em diferentes volumes de calda para o controle de plantas daninhas na cultura do arroz. As menores taxas de aplicação, de 30 e 45 L ha<sup>-1</sup>, foram obtidas por um VANT Agri Kisan drone V.2 (marca Garuda Aerospace<sup>TM</sup>), já o maior volume de calda, de 500 L ha<sup>-1</sup>, foi gerado por um pulverizador terrestre costal. Os resultados dos autores indicam que o DMV apresentou valores médios de 468,8 µm para o volume de 30 L ha<sup>-1</sup> e 490,1 µm para 45 L ha<sup>-1</sup>, sem diferenças significativas entre si. Já o volume de 500 L ha<sup>-1</sup> apresentou um valor médio de 613,6 µm, diferindo significativamente da aplicação aérea.

Em um cultivo de videiras no estado do Paraná, Oliveira *et al.* (2024) buscaram avaliar o efeito de diferentes volumes de calda em aplicações via VANT e terrestre. Sendo utilizado um drone Agras MG-1S (DJI<sup>TM</sup>) com pontas de jato plano XR11001VS (Teejet<sup>TM</sup>) operando nos volumes de 44, 66 e 88 L ha<sup>-1</sup>, assim como um pulverizador terrestre costal com um volume

padrão de 800 L ha<sup>-1</sup> e equipado com pontas de jato cônico vazio. Os pesquisadores verificaram que o DMV variou de 212 µm a 285 µm, sendo o maior valor obtido no pulverizador terrestre. Os resultados evidenciaram diferenças significativas entre os pulverizadores, uma vez que os volumes aplicados com VANT não diferiram significativamente entre si.

Buscando avaliar o efeito de diferentes volumes de calda na cultura do café, J. E. Silva *et al.* (2024) utilizaram um VANT Agras T10 (DJI™) equipado com pontas de leque padrão XR11001VS (Teejet™), configurado para gerar os volumes de 8, 12, 16 e 20 L ha<sup>-1</sup>. Os valores do DMV variaram entre 214,4 µm com 12 L ha<sup>-1</sup> até 248,2 µm em 8 L ha<sup>-1</sup>, não havendo diferenças significativas com o incremento do volume de calda via VANT.

O estudo promovido por Ruppenthal (2024) buscou avaliar a deposição de gotas geradas por VANT em diferentes posições na planta, altura de aplicação e volumes de calda na cultura do milho. As taxas de aplicação foram de 10 L ha<sup>-1</sup>, 12 L ha<sup>-1</sup> e 15 L ha<sup>-1</sup>, aplicadas por um drone da marca DJI™, modelo Agras T40, munido a bicos atomizadores do modelo LX8060SZ (DJI™), operando com gotas grossas a extremamente grossas. A uma altura de 4 metros nas folhas do ápice, os valores de DMV foram de 418,68, 532,65 e 651,28 µm, já nas folhas do cartucho foi obtido 335,33, 459,39 e 489,58 µm, nos volumes de 10 L ha<sup>-1</sup>, 12 L ha<sup>-1</sup> e 15 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Os valores de DMV não apresentaram diferenças significativas, com exceção entre o maior e o menor valor nas folhas do ápice, devido as variações nas condições ambientais durante o experimento.

#### 3.4.7. Diâmetro da Gota com 90% do Volume Acumulado

Um dos principais parâmetros para descrever o espectro gerado é o diâmetro da gota com 90% do volume acumulado ou DV<sub>0,9</sub>, onde 90% do volume total da calda pulverizada é composta por gotas com diâmetros menores a esse valor. Dentre os principais fatores que influenciam esse parâmetro, destaca-se o tipo de ponta de pulverização, mesmo mantendo o volume de calda empregado (Whitford *et al.*, 2024).

Com o objetivo de avaliar o controle de *Ipomoea nil* em função de diferentes volumes de calda, Barbosa *et al.* (2011) utilizaram bicos de pulverização rotativos operando com volume de 20 L ha<sup>-1</sup>, em comparação com a ponta hidráulica TT11001, da marca TeeJet™, com 40 L ha<sup>-1</sup>. Os valores de DV<sub>0,9</sub> obtidos pelos diferentes volumes de calda, apresentaram diferenças significativas pelo teste de Tukey ( $p < 0,01$ ), sendo observado os valores médios de 369,9 e 414,9 µm para os volumes de 20 e 40 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Ao avaliar o controle de plantas daninhas com herbicidas na cultura da soja, Creech *et al.* (2015) utilizaram um pulverizador terrestre pressurizado por CO<sub>2</sub> acoplado a pontas de pulverização Teejet™ e configurado para aplicar diferentes volumes de calda. Foi utilizado a ponta XR11001 para gerar 47, 70 e 94 L ha<sup>-1</sup>, nas pressões de 103, 138 e 276 kPa e nas velocidades de 7,7; 6,4 e 6,4 km h<sup>-1</sup>, respectivamente. Também na pressão de 276 kPa, foram aplicados os volumes de 140, 187 e 280 L ha<sup>-1</sup>, com as pontas XR110015, XR11002 e XR11003 e nas velocidades de 6,4; 6,4 e 3,2 km h<sup>-1</sup>, respectivamente. Na aplicação de glufosinato de amônio, os autores obtiveram diferenças significativas entre os valores de DV<sub>0,9</sub> pelo teste de Tukey a 5% de significância. O maior valor observado foi no volume de 281 L ha<sup>-1</sup>, com 392 µm, diferindo significativamente dos demais tratamentos. Já no volume de 47 L ha<sup>-1</sup> o DV<sub>0,9</sub> foi de 378 µm. Em 70 e 140 L ha<sup>-1</sup> foi observado o valor de 352 µm. Em 187 L ha<sup>-1</sup> o resultado foi de 341 µm, enquanto o menor valor foi em 94 L ha<sup>-1</sup>, com 281 µm.

Na cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L.), Peres *et al.* (2020) avaliaram a qualidade da pulverização em função de diferentes volumes de calda (100 e 130 L ha<sup>-1</sup>) e pressões de trabalho (100 e 800 kPa). Os pesquisadores utilizaram um pulverizador terrestre modelo 4730 (marca John Deere™), equipado com pontas de jato plano simples com indução de ar ULD 12004 (marca Hypro™) e gerando gotas de tamanho médio até muito grossas. Os pesquisadores verificaram que os valores de DV<sub>0,9</sub> foram semelhantes em ambos os volumes de calda, decrescendo progressivamente de 755 ou 754 µm na pressão de 421 µm, até 715 µm na pressão de 600 kPa.

Com o objetivo de avaliar o risco de deriva com o uso de VANTs em cultivos de arroz, Huang *et al.* (2022) empregaram um drone Agras T30, da marca DJI™, com 15 L ha<sup>-1</sup> de volume de calda. O pulverizador foi equipado com diferentes pontas pulverização: jato plano SX11001VS (Teejet™), jato plano com indução a ar IDK120-01 (Lechler™) e jato plano ST110-015 (Lechler™), sendo esta última avaliada com ou sem a adição de adjuvantes. Os autores observaram diferenças significativas no DV<sub>0,9</sub> entre todos os tratamentos avaliados, com valores de 349,5 (± 2,5) µm para a ponta SX11001VS, 1183,7 (± 10,1) µm para a IDK12001, 273,2 (± 0,9) µm para a ST110-015 e 328,7 (± 3,9) µm para a ponta ST110-015 com o uso de adjuvante.

Em um trabalho realizado sobre o uso de diferentes volumes de calda e pontas de pulverização com VANT na cultura do café, Alvarenga *et al.* (2024) empregaram um drone Agras T20, da DJI™, nos volumes de 8, 12 e 16 L ha<sup>-1</sup>, com as pontas TT 110-01, XR 110-01, AIXR 110-015 e TTJ60 110-02, todas da marca TeeJet™. No terço médio da cultura, com exceção da ponta TTJ60 110-02, que não apresentou diferenças significativas entre os volumes de calda, os autores

constatarem que os valores de  $DV_{0,9}$  diferiram significativamente entre o maior e o menor volume de calda nas demais pontas avaliadas. Os valores variaram de 127 a 358  $\mu\text{m}$ , 131 a 382  $\mu\text{m}$  e de 147 a 397  $\mu\text{m}$  para os volumes de 8, 12 e 16  $\text{L ha}^{-1}$ , respectivamente.

#### 3.4.8. Amplitude Relativa (SPAN)

A amplitude relativa é um dos principais parâmetros utilizados para avaliar a qualidade da pulverização, pois permite verificar a homogeneidade do espectro de gotas gerado. Esse parâmetro pode ser definido como a diferença entre o diâmetro da gota correspondente a 90% e 10% do volume acumulado, dividida pelo DMV (Cunha *et al.*, 2004). O valor obtido é adimensional e, quanto mais distante de zero, menor é a uniformidade e maior é a variabilidade do espectro de gotas (Chechetto; Antuniassi, 2012).

No trabalho de Cunha *et al.* (2011), os autores compararam a aplicação terrestre e aérea, como também avaliaram o uso de diferentes volumes de calda e pontas de pulverização na cultura da soja. O pulverizador terrestre foi equipado com a ponta de jato cônico vazio TXA 8002<sup>TM</sup>, operando com volume de calda de 180  $\text{L ha}^{-1}$ . As demais pontas avaliadas — jato plano defletor duplo com indução de ar AITTJ 11002, jato plano defletor com indução de ar TTI 11002, jato plano defletor duplo TTJ60 11002 e jato plano defletor TT 11002, todas da marca TeeJet<sup>TM</sup> — operaram com volume de 150  $\text{L ha}^{-1}$ . Além disso, foi utilizado um avião agrícola com atomizadores modelo AU 5000 (Micronair<sup>TM</sup>), operando com 40, 30 e 20  $\text{L ha}^{-1}$ . Os autores não observaram diferenças significativas nos valores de amplitude relativa pelo teste F, uma vez que a aplicação terrestre obteve valores entre 1,06 a 1,53; enquanto na aérea foi entre 0,92 e 1,20.

Avaliando a aplicação aérea de fungicidas na cultura do arroz, com o uso de diferentes pontas de pulverização e volumes de calda, Bayer *et al.* (2012) utilizaram uma aeronave Ipanema EMB-202 (Embraer<sup>TM</sup>) acoplada a pontas hidráulicas nos volumes de 30 e 20  $\text{L ha}^{-1}$ , pontas eletrostáticas nos volumes de 10 e 5  $\text{L ha}^{-1}$  e atomizadores rotativos nas taxas de 15, 10 e 6  $\text{L ha}^{-1}$ . No terço superior da cultura, os autores observaram diferenças significativas entre os valores de amplitude relativa, onde o maior valor foi com a ponta hidráulica em 30  $\text{L ha}^{-1}$  (SPAN = 1,47), já com 20  $\text{L ha}^{-1}$  houve uma redução nesse resultado (SPAN = 1,32). As pontas eletrostáticas em seu maior volume de calda não diferiram significativamente das pontas hidráulicas (SPAN = 1,38), e em seu menor volume apresentaram valores semelhantes com os atomizadores (SPAN = 1,06). Já os menores resultados foram obtidos com os bicos

atomizadores rotativos, uma vez que os valores oscilaram de 1,15 até 1,03, independente do volume de calda utilizado, indicando maior uniformidade nas gotas geradas.

Em um dos estudos conduzidos por Li *et al.* (2021), os autores avaliaram a qualidade da pulverização sobre aéreas com alfafa (*Medicago sativa* L.), comparando a aplicação realizada por um VANT modelo PV35 (Leading Edge Aerial Technologies<sup>TM</sup>) equipado com pontas XR11004 (Teejet<sup>TM</sup>), com a efetuada por uma aeronave tripulada de asa fixa modelo Ag-Cat D<sup>TM</sup>, equipada com pontas hidráulicas de jato plano CP-TT 40/15 e 40/20 (Transland<sup>TM</sup>). Ambos os pulverizadores utilizaram o volume de calda de 46,8 L ha<sup>-1</sup>. Os autores observaram que a amplitude relativa (SPAN) apresentou os valores médios de 1,22 para o VANT e 1,17 para a aeronave tripulada, não havendo diferenças significativas entre os resultados.

Com o uso de diferentes volumes de calda e horários de aplicação no controle de plantas daninhas na cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), Arcoverde *et al.* (2024) empregaram um pulverizador terrestre acoplado a pontas de jato cônico vazio, configuradas para aplicar os volumes de 80, 100, 200 e 250 L ha<sup>-1</sup> nos horários de 07:00 e 10:00 horas. Os pesquisadores observaram que a amplitude relativa não apresentou diferenças significativas no aumento do volume de calda utilizado, em que os valores partiram de 1,21 para 1,36 com 100 e 80 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

No estudo realizado por Serafim *et al.* (2025), os autores avaliaram a qualidade da pulverização de fungicidas na cultura da soja, utilizando um pulverizador terrestre configurado para gerar as taxas de 60 L ha<sup>-1</sup>, 80 L ha<sup>-1</sup>, 100 L ha<sup>-1</sup> e 120 L ha<sup>-1</sup>. Na amplitude relativa obtida pelos autores, não houve diferenças significativas na uniformidade de gotas geradas sob o efeito do volume de calda utilizado, em que os valores variaram de 0,65 em 60 L ha<sup>-1</sup> para 0,88 com 80 L ha<sup>-1</sup>.

### 3.5. PORCENTAGEM DE CONTROLE DE BUVA

A porcentagem de controle pode ser estimada por avaliação visual com base na escala de Frans e Crowley (1986), que classifica os níveis de controle avaliados. Dessa forma, 0% indica ausência de efeito do herbicida, enquanto 100% corresponde ao controle total ou excelente das plantas daninhas (Tabela 2). Para as avaliações a campo, pode ser adotado o método do quadrado inventário descrito por Braun-Blanquet (1979), que se baseia no lançamento aleatório de um quadrado confeccionado com material rígido e de área conhecida, permitindo a avaliação da área amostrada.

A porcentagem de controle de plantas daninhas está diretamente relacionada à eficácia do controle químico promovido pelos herbicidas, a qual pode ser influenciada pela tecnologia de aplicação empregada, pela dose e formulação do produto, pelas características físico-químicas do herbicida, pela fisiologia do alvo e pelas condições edafoclimáticas no momento da aplicação (Piasecki, 2024).

Tabela 2 – Escala de avaliação visual de controle de plantas de *Conyza bonariensis*

Percentual	Descrição das categorias principais	Descrição detalhada de controle
0	Sem efeito	Sem controle
10		Controle muito pobre
20	Efeito leve	Controle pobre
30		Controle de pobre a deficiente
40		Controle deficiente
50	Efeito moderado	Controle deficiente a moderado
60		Controle moderado
70		Controle algo inferior ao satisfatório
80	Efeito severo	Controle de satisfatório a bom
90		Controle muito bom a excelente
100	Efeito total	Destruição completa

Fonte: FRANS, R.; CROWLEY, H. Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. In: CAMPER, N. D. **Research methods in weed science**. 3 ed. Southern Weed Science Society, 1986. 29 - 46 p.

Com o objetivo de avaliar a dessecação de aveia-preta com herbicida de contato em pós-emergência, Garcia *et al.* (2004) utilizaram pulverizadores terrestres operando com e sem assistência de ar junto à barra, nos volumes de calda de 0, 100, 200, 300 e 400 L ha<sup>-1</sup>. No tratamento de 0 L ha<sup>-1</sup>, a porcentagem de controle foi próxima a 0% nas duas situações. Para o pulverizador sem assistência de ar, o volume de 100 L ha<sup>-1</sup> resultou em controle de 46%, diferindo significativamente dos outros tratamentos. Enquanto os volumes de 200, 300 e 400 L ha<sup>-1</sup> apresentaram valores de 77,8; 82,5 e 80,3%, respectivamente, não diferindo significativamente entre si. De forma semelhante, para o pulverizador com assistência de ar junto à barra, foram obtidos percentuais de controle de 75,3; 73,0; 82,5 e 82,5% nos volumes de 100, 200, 300 e 400 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente, também sem diferença significativa entre esses volumes.

Ao avaliar a porcentagem de dessecação da buva em plantas com tamanho superior ou inferior a 15 centímetros (cm), Leite *et al.* (2014) empregaram um pulverizador manual pressurizado por CO<sub>2</sub>, equipado com pontas AXI 11002 (Jacto™) e com 150 L ha<sup>-1</sup> de volume de calda. Dentre os herbicidas utilizados, destacou-se o glufosinato de amônio associado com óleo mineral, que apresentou controle em todos os tamanhos de buva avaliados, com 70, 90 e 90% aos 7, 14 e 21 dias após a pulverização (DAP), respectivamente. O tratamento controle (sem aplicação de herbicidas) apresentou 0% de efeito em todas as avaliações, diferindo significativamente do controle químico realizado.

No estudo conduzido por Martin *et al.* (2020a) sobre terras agrícolas em pousio no Texas, os autores avaliaram a aplicação aérea para o controle de espécies de plantas daninhas. Onde aplicaram o ingrediente ativo glifosato utilizando uma aeronave agrícola modelo Air Tractor 402B (Air Tractor Inc.™), acoplada aos bicos de jato plano CP-11TT (CP Products™) e atomizadores rotativos AU-5000 (Micron Sprayers™) com 28,1 L ha<sup>-1</sup>. Assim como o uso de bicos eletrostáticos (modelo TX-VK8, marca Spectrum Electrostatic Sprayers™) com carga ligada e deligada, para 9,4 L ha<sup>-1</sup> de volume de calda. Os percentuais médios de controle foram de 74,8% para a ponta CP-11TT, 80,8% para o atomizador AU-5000, 63,8% para o sistema eletrostático com carga ligada e 39,0% para o sistema com carga desligada. Não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os três primeiros tratamentos, que apresentaram as maiores porcentagens de controle. O tratamento controle (sem aplicação de herbicidas) apresentou valor médio de 6% de controle, diferindo significativamente das parcelas controladas quimicamente.

Com objetivo de avaliar o efeito da aplicação de glifosato para dessecação em função de diferentes volumes de calda (5, 10, 15, 20 e 25 L ha<sup>-1</sup>), Carneiro *et al.* (2024) repetiram o experimento em três áreas distintas, com o uso de um VANT da marca DJI™, modelo AGRAS MG1-P, acoplado a pontas de pulverização TeeJet™ do modelo XR 11001. Os pesquisadores observaram que a porcentagem média de dessecação na parcela controle, sem aplicação do herbicida, foi inferior a 3%. Diferindo significativamente das parcelas que receberam a aplicação de glifosato via VANT, apresentando valores superiores, com média de 92%.

Avaliando o efeito de diferentes pontas de pulverização e volumes de calda no controle de capim-colchão (*Digitaria sanguinalis* L.) com herbicida quinclorac, Costa *et al.* (2025) utilizaram um VANT modelo PV35X (Leading Edge Aerial Technologies™), operando nos volumes de 10 e 15 L ha<sup>-1</sup>. Assim como um pulverizador costal pressurizado por CO<sub>2</sub> na taxa de 102 L ha<sup>-1</sup>. Ambos os equipamentos utilizaram pontas de jato plano XR 80015, DG 80015 e AI 80015, da marca Teejet™. O tratamento controle não apresentou efeito do herbicida, com

0% de controle na área experimental. No volume de 102 L ha<sup>-1</sup>, os autores verificaram que as maiores porcentagens de controle foram com as pontas XR (71,3%) e DG (70,2%), enquanto a ponta AI apresentou menor eficácia (52,5%). Já nos volumes aplicados com VANT (10 e 15 L ha<sup>-1</sup>), as pontas DG e AI apresentaram controle similar, entre 62,0 e 65,2%, enquanto a ponta XR apresentou menor desempenho em ambos os volumes (2,0% a 36,3%).

Na pesquisa realizada por Angonese *et al.* (2022), os pesquisadores avaliaram o controle de plantas daninhas em áreas cultivadas com eucalipto (*Eucalyptus spp.*), utilizando herbicidas sistêmicos e de contato, nas doses de 60 e 100%. Os autores utilizaram um VANT modelo Aircraft P20, marca XAG<sup>TM</sup>, operando com volume de calda de 15 L ha<sup>-1</sup>. Para a aplicação terrestre, foram empregadas uma barra equipada com bicos rotativos modelo ECOS<sup>TM</sup>, pressurizada com CO<sub>2</sub> e operando com volume de 15 L ha<sup>-1</sup>, além de outra barra equipada com pontas hidráulicas modelo API 11002<sup>TM</sup>, também pressurizada com CO<sub>2</sub>, operando com volume de 150 L ha<sup>-1</sup>. Aos 21 dias após a pulverização, na dose de 100% dos produtos, os resultados indicaram controle semelhante entre os equipamentos para os herbicidas glifosato, com valores de 74 a 82%, e paraquat, com valores de 75 a 87%. Já o herbicida carfentrazone apresentou baixo controle em todos os tratamentos, com valores entre 1 e 3%. O glufosinato de amônio aplicado por VANT não diferiu significativamente da aplicação terrestre com pontas hidráulicas, apresentando valores de controle entre 95 e 90%, enquanto a aplicação terrestre com pontas centrífugas resultou em uma média de 64%.

No estudo feito por Jeevan *et al.* (2024), os autores utilizaram herbicidas sistêmicos nas safras de verão e outono na cultura do arroz, em que avaliaram o controle de plantas daninhas com drone em relação à aplicação terrestre padrão. Para o desenvolvimento do experimento, foi utilizado um VANT operando nos volumes de 25, 37,5 e 75 L ha<sup>-1</sup> e um pulverizador terrestre costal configurado para aplicar 500 L ha<sup>-1</sup>. Na safra de verão, as porcentagens médias de controle de plantas daninhas foram cerca de 83,8%, 88,5%, 81,7% e 89,6% nos volumes de calda de 25, 37,5, 75 e 500 L ha<sup>-1</sup>. Enquanto na safra de outono ou “Kharif”, os valores foram de 86,8%, 90,6%, 85% e 91,5% para os mesmos volumes de calda. Em ambas as safras, não foram observadas diferenças significativas entre os volumes de calda na porcentagem de controle de plantas daninhas.

Em um trabalho desenvolvido na cultura da soja, Stiles II e Sprague (2024) avaliaram o efeito da mistura de glufosinato, glifosato e sulfato de amônio sob diferentes volumes de calda e velocidades de aplicação. Dentre as plantas daninhas presentes na área experimental, destacou-se as de buva (*Conyza canadensis*). A aplicação foi realizada com um pulverizador terrestre operando a 178 L ha<sup>-1</sup>, assim como por um VANT P100 Pro (marca XAG<sup>TM</sup>) com 18,7

L ha<sup>-1</sup> a 9,5 m s<sup>-1</sup>; 28 L ha<sup>-1</sup> a 9,5 m s<sup>-1</sup>; 46,8 L ha<sup>-1</sup> a 9,5 m s<sup>-1</sup>; 18,7 L ha<sup>-1</sup> a 6,99 m s<sup>-1</sup> e 46,8 L ha<sup>-1</sup> a 6,99 m s<sup>-1</sup>. Aos 14 DAP, o controle da buva foi semelhante entre a aplicação terrestre e as realizadas via VANT, com valores próximos a 100% de controle.

Buscando avaliar o controle de *Urochloa decumbens* com o herbicida glifosato, Lopes *et al.* (2024) realizaram aplicações com um VANT operando no volume de 10 L ha<sup>-1</sup>, equipado com as pontas XR 11001 (Teejet<sup>TM</sup>) e AirMix 11001 (Jacto<sup>TM</sup>). Para comparação, os autores também utilizaram um pulverizador terrestre operando com volume de calda de 100 L ha<sup>-1</sup>. Dessa forma, não houve diferenças significativas entre o controle realizado pelos pulverizadores. Aos 14 dias após a pulverização, os valores médios de porcentagem de controle foram de 77,2% para a aplicação realizada por VANT e 75,5% para o pulverizador terrestre. Já aos 21 dias, os valores obtidos aumentaram para 93% e 95%. Enquanto para 28 DAP as médias foram de 90% na aplicação aérea e 88% terrestre.

Em um trabalho sobre o controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar com o uso de herbicidas, Modi *et al.* (2026) utilizaram um VANT, modelo Agribot A5 (IoTechWorld Aviation<sup>TM</sup>), operando nos volumes de 35, 45 e 55 L ha<sup>-1</sup>. Para título de comparação, foi utilizado um pulverizador terrestre costal com volume de calda de 500 L ha<sup>-1</sup>, também denominado de pulverização padrão. Os pesquisadores observaram que em todos os herbicidas utilizados, não houve diferenças significativas entre a aplicação realizada via VANT e terrestre. Assim como na mistura de halosulfuron-methyl com metribuzin, que resultou em porcentagens médias de controle de 80,2% com VANT e 80,6% com pulverizador terrestre.

Ao avaliar o efeito de diferentes herbicidas e volumes de calda na dessecação de milho [*Pennisetum Glaucum* (L. Leek)], Campos *et al.* (2011) empregaram um pulverizador costal pressurizado por CO<sub>2</sub> com pontas da marca Teejet<sup>TM</sup>. Para o volume de 200 L ha<sup>-1</sup>, foram utilizadas as pontas XR 11002 VS, enquanto, para o volume de 400 L ha<sup>-1</sup>, foram utilizadas as pontas XR 11004 VS. Dentre os tratamentos estudados, os pesquisadores avaliaram a porcentagem de controle aos 3, 7, 14, 21 e 28 dias após a pulverização (DAP) com 100% da dose de glufosinato de amônio. Os autores concluíram que não houve diferenças significativas entre o controle promovido com 200 e 400 L ha<sup>-1</sup>. Os valores observados variaram de 27,0 a 31,25% aos 3 DAP, de 57,5 a 63,25% aos 7 DAP, de 92,5 a 93,75% aos 14 DAP, de 99,5 a 99,75% aos 21 DAP e atingiram 100% aos 28 DAP.

No estudo conduzido por Bueno *et al.* (2013), os autores avaliaram o efeito de diferentes volumes de calda e adjuvantes no controle de plantas daninhas com glifosato. Os mesmos empregaram um pulverizador costal com pontas de jato plano e operando nas taxas de 30, 60 e 150 L ha<sup>-1</sup> nas velocidades de 12, 5,5 e 6,0 km h<sup>-1</sup>, respectivamente. Os autores

verificaram que o fator volume de calda não influenciou significativamente a porcentagem de controle ao longo das avaliações. Aos 7 dias após a pulverização (DAP), os níveis de controle foram de 63,3%, 67,0% e 68,5% para os volumes de 30, 60 e 150 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Aos 14 DAP, os valores aumentaram para 86,0%, 85,8% e 84,4%, enquanto aos 21 DAP foram observados 88,0%, 87,9% e 86,8% para os mesmos volumes.

No estudo de G. P. Silva *et al.* (2024), os autores buscaram avaliar o efeito de diferentes volumes de calda no controle de *Conyza spp.* com a mistura de diclosulam e halauxifen, com sequencial de glufosinato de amônio aos 14 dias após a pulverização inicial. Além disso, foram utilizados os volumes de 50, 80, 100, 150 e 200 L ha<sup>-1</sup> sobre plantas de buva com altura média de 12,4 cm, que foram avaliados aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 DAP. Os autores observaram que aos 7 e 14 DAP houve uma maior porcentagem de controle no volume de 200 L ha<sup>-1</sup>, evidenciando maior velocidade de controle inicial em relação aos demais volumes, que não diferiram entre si. Após a aplicação sequencial do glufosinato, observou-se o incremento aproximado de 30% no controle aos 21 DAP, independentemente do volume utilizado. A partir dos 28 DAP, todos os tratamentos apresentaram valores acima de 80% de controle.

Nas regiões de Cachoeira do Sul e São Sepé (RS), Seibt *et al.* (2025) avaliaram a qualidade da pulverização e a eficácia do herbicida florpyrauxifen-benzyl na cultura do arroz. Os autores realizaram as aplicações via VANT, nos volumes de 10 e 20 L ha<sup>-1</sup>, utilizando pontas AIXR TeeJet™ 110015 e AI TeeJet™ 110015. Também foi empregado um pulverizador terrestre operando com 150 L ha<sup>-1</sup>. Aos 15 e 30 DAP, os autores observaram que em todos os tratamentos o controle foi próximo de 100% em *Sagittaria montevidensis*, sem diferenças estatísticas entre os tratamentos. Para *Aeschynomene denticulata*, o controle foi elevado já na primeira avaliação (88 a 99%), mantendo-se próximo de 100% nas avaliações subsequentes. Já para *Cyperus iria*, o efeito do volume de calda apresentou diferenças significativas aos 5 DAP, onde os valores de controle variaram de 60 a 82%, sendo o maior resultado obtido no tratamento terrestre. Aos 15 DAP, os tratamentos variaram de 76 até 99%. Aos 30 DAP, foram obtidos os valores de 90 e 92% para o volume de 10 L ha<sup>-1</sup>, já nos volumes maiores os valores oscilaram entre 100 e 97%.

Com o objetivo de avaliar o controle de *Conyza spp.* sob o efeito de diferentes volumes de calda, Alievi (2025) utilizou um pulverizador terrestre operando nos volumes de 50, 100, 150, 200 e 250 L ha<sup>-1</sup> com o herbicida glufosinato de amônio. Sendo assim, as maiores porcentagens de controle foram observadas no volume de 50 L ha<sup>-1</sup> aos 03, 10 e 16 dias após a pulverização (DAP), enquanto os maiores volumes não resultaram em um aumento significativo na eficácia do herbicida.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

Para definir o melhor volume de calda na pulverização de herbicida com veículo aéreo não tripulado (VANT – drone) no controle da planta daninha buva (*Conyza bonariensis*), determinou-se o delineamento experimental em blocos aleatorizados, com sete tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos consistiram no controle (sem pulverização de herbicidas), aplicação com pulverizador terrestre de barras com volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup> e pulverização com VANT nos volumes de 05, 10, 15, 20 e 25 L ha<sup>-1</sup>. As parcelas possuíam pelo menos 80 m<sup>2</sup> (08 x 10 m), com 35 m<sup>2</sup> (05 x 07 m) para avaliação.

O experimento foi realizado na Fazenda Escola Capão da Onça da Universidade Estadual de Ponta Grossa localizado em latitude 25° 05' 54" S, longitude 50° 03' 01" O, região dos Campos Gerais, estado do Paraná. A altitude é de 1.017 m. A área é cultivada em sistema de plantio direto já mais de 40 anos. O clima da região é classificado como temperado. As parcelas possuíam infestação média de 05 plantas de buva por m<sup>2</sup> em vários estádios fenológicos. A área foi pulverizada em 13 de novembro de 2024. O herbicida empregado foi o Sapek Max™ (0,88 kg kg<sup>-1</sup> de glufosinato - sal de amônio), com ação de contato, na dose de 0,50 kg ha<sup>-1</sup>, por ser liberado pelos órgãos brasileiros para tal fim (ADAPAR, 2024).

Com a existência de plantas indesejadas, foi realizado a capina manual para reduzir o efeito “guarda-chuva” durante a aplicação, ou seja, evitar que outras espécies interfiram na formação e impacto das gotas sobre o alvo desejado. Favorecendo a comunidade infestante de *Conyza bonariensis* sobre a área experimental e sua respectiva avaliação.

Em cada pulverização, a temperatura, umidade relativa do ar e a velocidade do vento foram mensuradas usando anemotermohigrômetro LM 8000™. As pulverizações foram realizadas com temperatura abaixo de 25°C, umidade relativa do ar acima de 55% e velocidade do vento entre 03 e 07 km h<sup>-1</sup>.

O pulverizador terrestre empregado foi o costal pressurizado por CO<sub>2</sub>. O volume de calda foi de 150 L ha<sup>-1</sup>, por ser o mais utilizado na região do experimento para tal finalidade. O espaçamento entre bicos foi de 0,5 m, com a altura da barra sempre acima de 0,5 m do alvo (Fotografia 1). A ponta escolhida foi a de jato plano de grande ângulo TT 11002 da TeeJet™ por ser indicada para a pulverização de herbicidas (Teejet, 2023). A pressão de trabalho utilizada foi de 200 kPa, com filtro de malha 50, vazão de 0,65 L min<sup>-1</sup> e a velocidade de aplicação foi de 1,44 m s<sup>-1</sup>. Com tal configuração de pulverização, o tamanho de gota gerado foi classificado como grossa.

Fotografia 1 – Aplicação terrestre realizada com um pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>, acoplado com pontas de jato plano de grande ângulo TT 11002 e com espaçamento de 0,5 metros entre os bicos, utilizado em 2024 para o controle de buva no município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil.



Fonte: Luiz Eduardo Martincoski (2024).

O VANT utilizado foi da marca DJI™, modelo Agras T40, munido a 2 pontas de pulverização rotativas LX8060SZ (DJI™), faixa de aplicação de 8,0 m, vazão de cada ponta em 0,65 L min<sup>-1</sup> e altura de voo de 4,0 m do alvo (Fotografia 2). A alteração do volume de calda se deu pela mudança da velocidade da pulverização. O volume de calda de 05 L ha<sup>-1</sup> foi obtido com a velocidade de 5,42 m s<sup>-1</sup>. Para o volume de calda de 10 L ha<sup>-1</sup> a velocidade foi de 2,72 m s<sup>-1</sup>. Já 15 L ha<sup>-1</sup> se alcançou com 1,81 m s<sup>-1</sup>. Os 20 L ha<sup>-1</sup> foram pulverizados com 1,36 m s<sup>-1</sup> e os 25 L ha<sup>-1</sup> foram aplicados a 1,08 m s<sup>-1</sup>. As pontas foram calibradas para gerarem gotas grossas, como o recomendado para o glufosinato de amônio (Butts *et al.*, 2018).

A calibração dos pulverizadores 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 terrestre e de voo pela distância percorrida em 100 m.

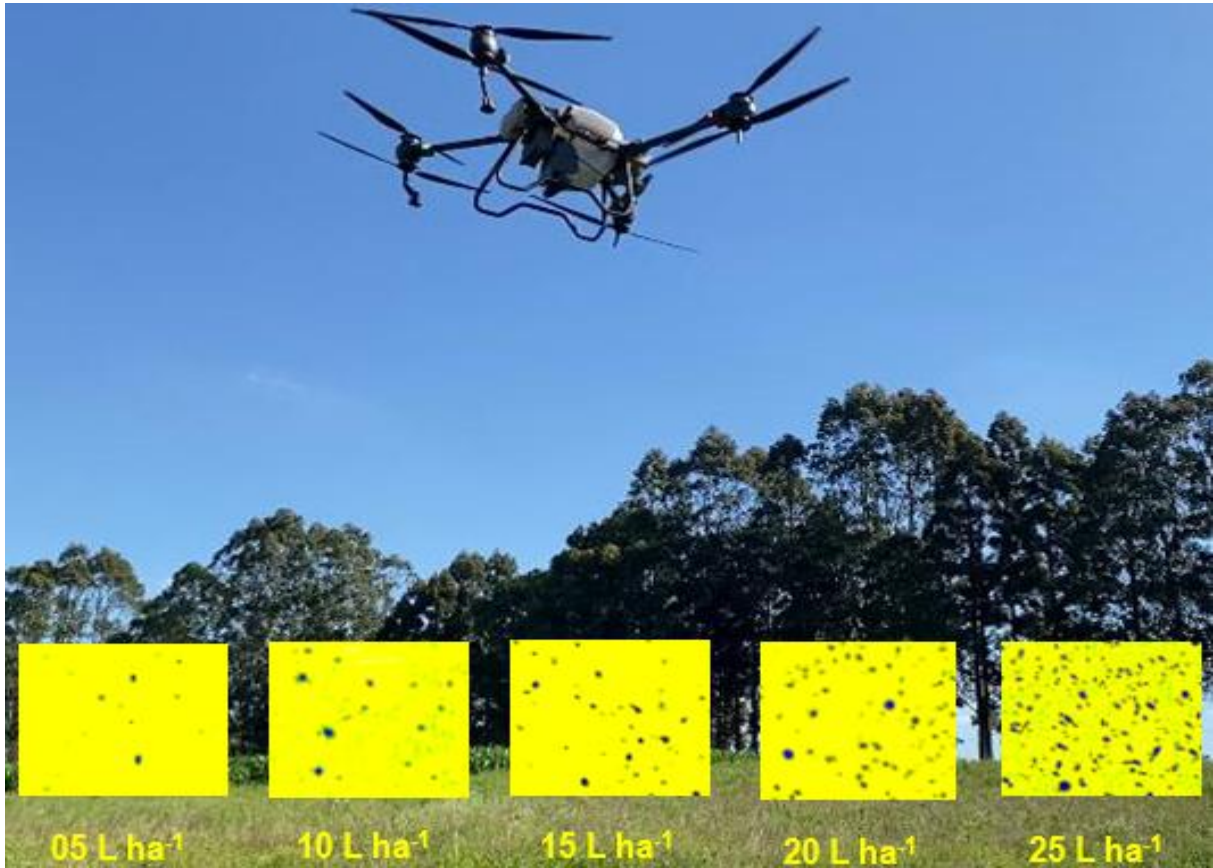
Fotografia 2 – Veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) da marca DJI™, modelo T40, vinculado com duas pontas de pulverização rotativas da marca LX8060SZ, utilizado em 2024 para o controle de buva no município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil.



Fonte: Luiz Eduardo Martincoski (2024).

As variáveis analisadas foram a qualidade da pulverização e a porcentagem de controle da buva. Anteriormente às pulverizações na Fazenda Escola Capão da Onça, foram alocados a 0,10 m do solo, sobre estrutura metálicas, papéis hidrossensíveis da marca TeeJet™ com o objetivo de avaliar a qualidade da pulverização (Fotografia 3). Após 15 minutos da realização das pulverizações, os papéis foram retirados e envoltos em fitas adesivas transparentes da marca Supplypack™, para analisar os seguintes fatores de qualidade de pulverização: porcentagem de área coberta, volume recuperado ( $L ha^{-1}$ ), densidade (número de gotas  $cm^{-2}$ ), potencial risco de deriva (porcentagem de gotas com diâmetro menor que  $150 \mu m$ ) e amplitude relativa (SPAN). A amplitude relativa é calculada pela subtração do diâmetro da gota que totaliza 90% do volume acumulado ( $DV_{0,9}$ ) pelo diâmetro da gota que totaliza 10% do volume acumulado ( $DV_{0,1}$ ), com divisão pelo diâmetro da gota com 50% do volume acumulado (DMV). As análises foram realizadas pelo software e-Sprinkle™ no mesmo dia da pulverização. Nesta análise, não se considerou as parcelas não pulverizadas.

Fotografia 3 – Veículo aéreo não tripulado (VANT – drone) na pulverização de herbicida com ação de contato para o controle de buva (*Conyza bonariensis*) com volumes crescentes de calda, 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil.



Fonte: Luiz Eduardo Martincoski (2024).

A porcentagem de controle da buva foi avaliada aos 06, 12, 18 e 24 dias após a pulverização do herbicida. Para a porcentagem de controle foram atribuídas notas de zero a 100, em que zero representou 0% de controle e 100% o controle total, com base na escala de Frans e Crowley (1986). A determinação dos valores se deu pela inspeção visual por quadrado inventário de 0,5 m de lado e 0,25 m<sup>2</sup> de área, lançado aleatoriamente com 5 repetições (Fotografia 4).

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, Dunnett e regressão polinomial; sendo o grau de confiança  $\geq$  a 95%. Quando significativo o teste de Fisher-Snedecor, utilizou-se o teste de Dunnett para comparar a pulverização aérea com o tratamento controle (sem aplicação de herbicida) para verificar se um fator não controlado afetou o experimento. Também se

empregou Dunnett para contrastar cada volume da aplicação aérea com a terrestre. Já a regressão polinomial determinou se houve diferenças na qualidade da pulverização e controle das plantas de buva entre os volumes distribuídos pelo VANT. O programa estatístico empregado foi o Agro R™.

Fotografia 4 – Avaliação visual da porcentagem de controle de *Conyza bonariensis* pela pulverização de herbicida com ação de contato no município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil.

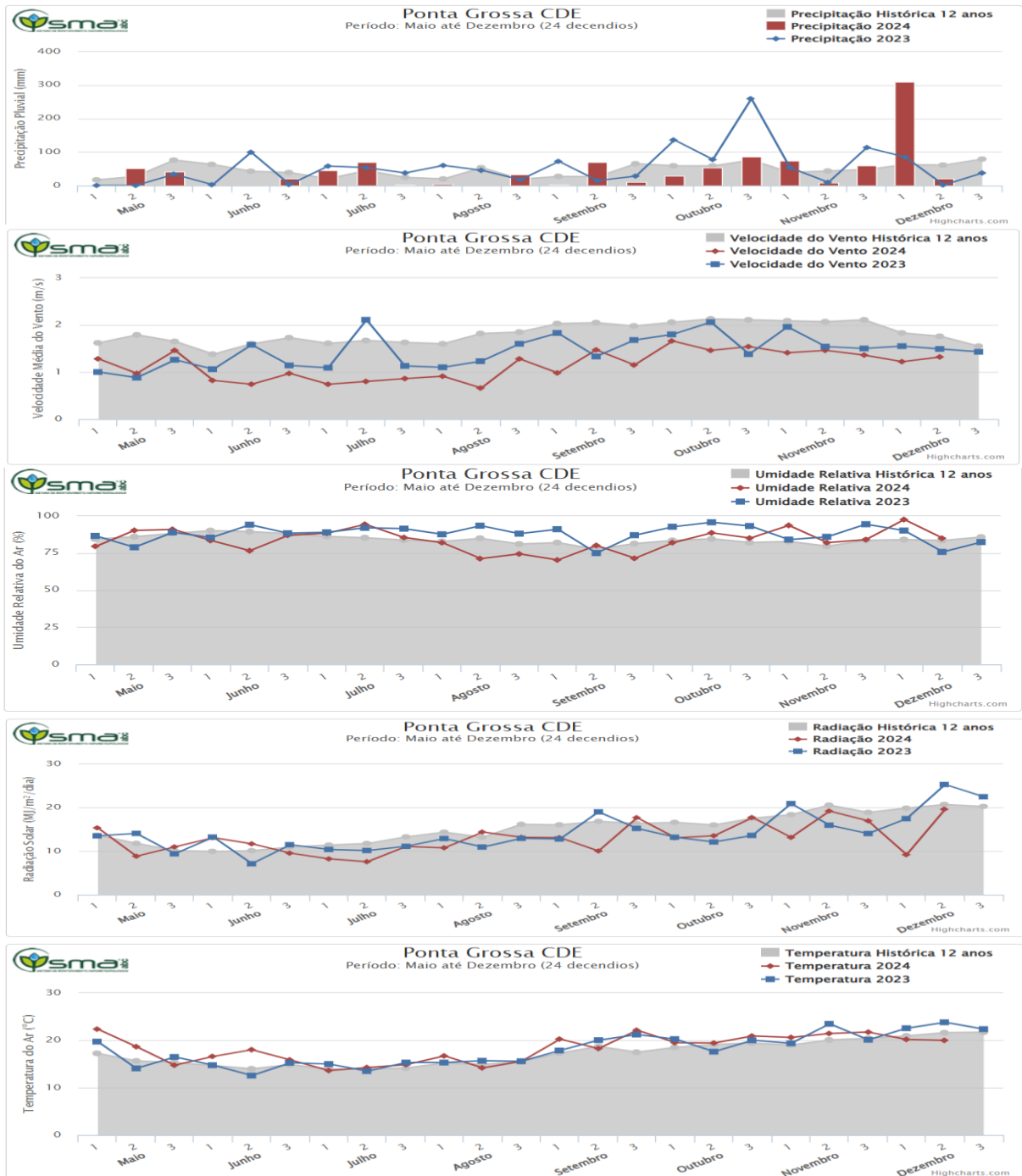


Fonte: Luiz Eduardo Martincoski (2024).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições do tempo durante o período do experimento estão destacadas no Gráfico 1, ressaltando que após a pulverização a precipitação ficou acima da média histórica. Enquanto a radiação solar e a velocidade do vento ficaram abaixo da média dos anos anteriores.

Gráfico 1 – Condições do tempo em Ponta Grossa (Paraná) em 2024.



Fonte: FUNDAÇÃO ABC. **Agrometeorologia**. Disponível em: <http://sma.fundacaoabc.org/>. Acesso em: 18 de dezembro de 2024.

Não houve necessidade de transformação dos dados para aplicar o teste Fisher e Snedecor, já que não foram significativos os testes de Bartlett, Shapiro-Wilk e Durbin-Watson. Para blocos não houve diferenças nas avaliações, denotando a homogeneidade experimental.

### 5.1. QUALIDADE DA PULVERIZAÇÃO

As avaliações da qualidade da pulverização evidenciaram diferenças significativas entre a pulverização terrestre e a aérea. Tal resultado foi observado para todas as variáveis determinadas em cartões hidrossensíveis (Tabela 3).

Tabela 3 – Características da aplicação com pulverizadores terrestre de barra e por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone), com mensuração dos impactos das gotas em cartões hidrossensíveis<sup>1</sup> em diferentes volumes de calda, 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil <sup>2</sup>

Volumes de calda	Área coberta (%)	Volume recuperado (L ha <sup>-1</sup> )	Densidade (impactos cm <sup>-2</sup> )	Potencial risco de deriva (%) – gotas < 150 µm
Terrestre – 150 L ha <sup>-1</sup>	27,3	82,2	132,8	2,2
VANT – 05 L ha <sup>-1</sup>	1,8 * <sup>3</sup>	2,0 *	17,0 *	19,4 *
VANT – 10 L ha <sup>-1</sup>	3,5 *	4,4 *	27,6 *	20,6 *
VANT – 15 L ha <sup>-1</sup>	6,4 *	6,8 *	36,2 *	20,4 *
VANT – 20 L ha <sup>-1</sup>	10,9 *	9,6 *	55,0 *	18,2 *
VANT – 25 L ha <sup>-1</sup>	14,3 *	13,6 *	71,1 *	19,6 *
Coefficiente de variação (%)	4,9	3,4	2,8	18,5
Volumes de calda	Diâmetro da gota com 10% do volume acumulado	Diâmetro da gota com 50% do volume acumulado	Diâmetro da gota com 90% do volume acumulado	Amplitude relativa (SPAN)
Terrestre – 150 L ha <sup>-1</sup>	329	753	1.489	1,5
VANT – 05 L ha <sup>-1</sup>	131 * <sup>3</sup>	206 *	302 *	0,8 *
VANT – 10 L ha <sup>-1</sup>	137 *	227 *	319 *	0,8 *
VANT – 15 L ha <sup>-1</sup>	121 *	196 *	299 *	0,9 *
VANT – 20 L ha <sup>-1</sup>	113 *	198 *	297 *	0,9 *
VANT – 25 L ha <sup>-1</sup>	144 *	222 *	312 *	0,8 *
Coefficiente de Variação (%)	6,9	3,4	15,2	11,3

1 – Os impactos das gotas em cartões hidrossensíveis foram analisados pelo software e-Sprinkle™.

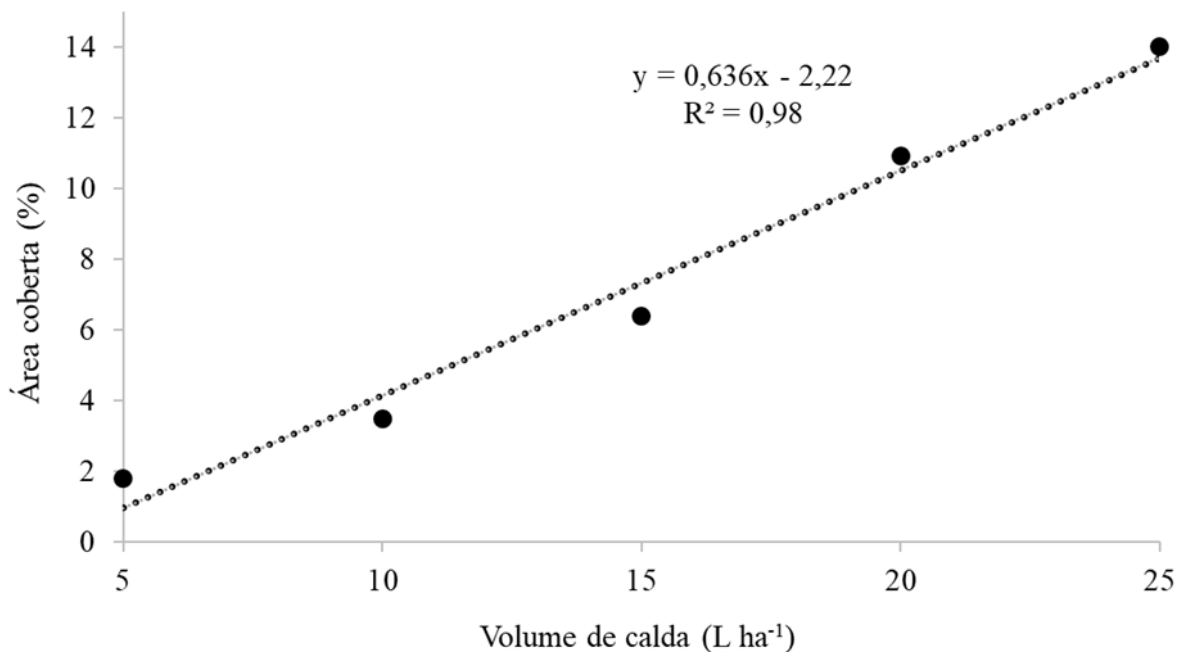
2 – Não significativo para blocos para todas as variáveis analisadas ( $p > 0,05$ ).

3 – Significativo em comparação com o pulverizador terrestre pelo teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ).

### 5.1.1. Porcentagem de Área Coberta

A área coberta pelo impacto de gotas em papéis hidrossensíveis apresentou diferenças significativas entre os tratamentos aplicados por VANT e o pulverizador terrestre, conforme o teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ). Com volume de calda de  $150 \text{ L ha}^{-1}$ , o pulverizador terrestre apresentou uma área coberta de 27,3%. Enquanto a aplicação aérea teve uma cobertura de 1,8% no volume de  $5 \text{ L ha}^{-1}$ , que se elevou até 14,3% no volume de  $25 \text{ L ha}^{-1}$ . Já na regressão polinomial da aplicação com drone, é evidente a correlação positiva entre as variáveis, uma vez que a área coberta apresentou um aumento com o incremento do volume de calda (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Área coberta pelo impacto de gotas em papéis hidrossensíveis pulverizadas por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) na aplicação de herbicida com ação de contato para o controle de buva (*Conyza bonariensis*) com volumes crescentes de calda, 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil ( $p < 0,05$ ).



O efeito do volume de calda em aplicações aéreas e terrestres foi avaliado por Wang *et al.* (2019), que utilizaram um VANT com volumes variando de  $9,0$  a  $28,1 \text{ L ha}^{-1}$  e um pulverizador terrestre operando com  $225$  e  $450 \text{ L ha}^{-1}$ . No terço superior da cultura do trigo, as porcentagens de área coberta com VANT não apresentam diferenças significativas, enquanto nas aplicações do pulverizador terrestre diferiram estatisticamente entre si e das aplicações realizadas pelo drone. Dessa forma, mesmo os autores utilizando maiores volumes de calda, é

notável o aumento significativo na área coberta com o incremento do volume de calda entre os pulverizadores utilizados, podendo afirmar que o estudo realizado por Wang *et al.* (2019) corrobora o observado no presente trabalho.

Ao avaliar o efeito de diferentes volumes de calda e tamanhos de gotas na aplicação de herbicidas com VANT, Shan *et al.* (2021) apresentaram resultados que ratificam o presente trabalho, uma vez que a maior área coberta foi obtida com o aumento do volume de calda. Os autores verificaram que, no volume de 7,5 L ha<sup>-1</sup>, as médias de área coberta variaram entre 2,3 e 2,8%, já em 30 L ha<sup>-1</sup> oscilaram entre 10,2 e 12,8%, evidenciando um aumento linear semelhante ao observado neste estudo. Além disso, os autores concluíram que o DMV influenciou a área coberta em volumes superiores a 15 L ha<sup>-1</sup>, reduzindo a cobertura com o aumento do tamanho das gotas, podendo ser um estudo promissor em trabalhos futuros para expressar a melhor área coberta em maiores volumes de calda.

O estudo de Meneghel *et al.* (2021) avaliou o efeito de diferentes pontas (leque simples e de jato cônico) e volumes de calda (40, 80, 120, 160, 200 L ha<sup>-1</sup>) na aplicação de fungicida na cultura do milho. Os resultados dos autores, com pulverizador terrestre e maiores taxas de aplicação, apresentam um padrão similar com o presente trabalho, em que o aumento do volume de calda resultou no incremento da porcentagem de área coberta.

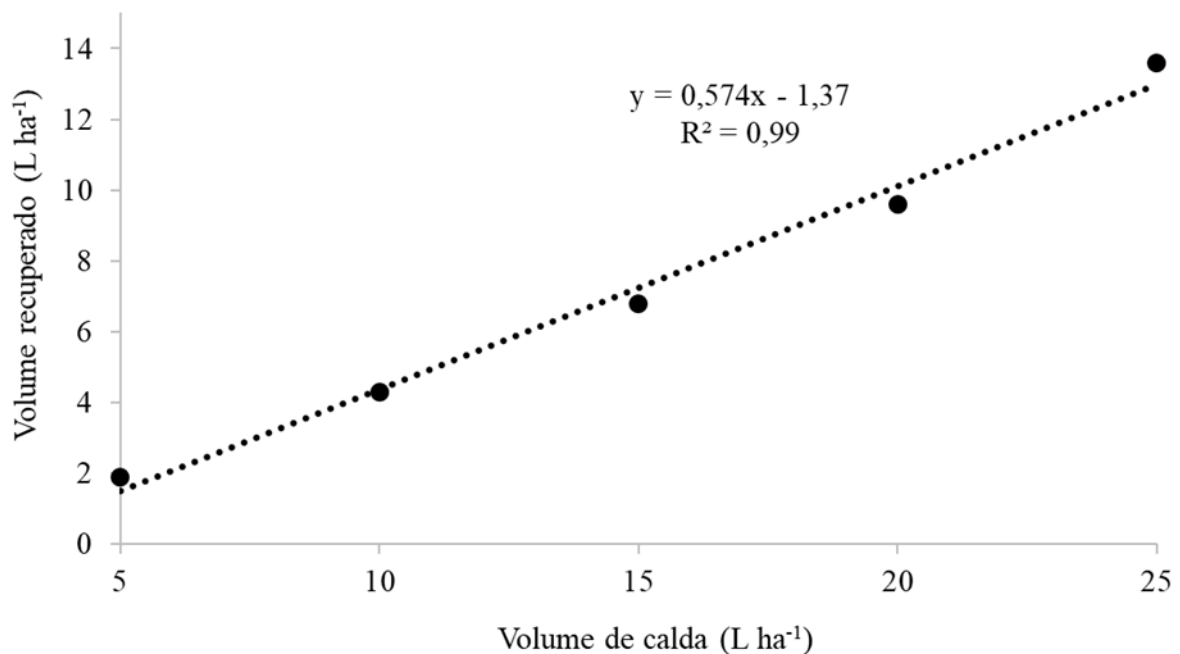
Com o objetivo de avaliar o controle de doenças a partir da pulverização realizada por diferentes pulverizadores e volumes de calda, Zhou *et al.* (2023) compararam três veículos aéreos não tripulados com volumes de calda entre 13,5 e 15 L ha<sup>-1</sup>, um pulverizador de barra operando a 240 L ha<sup>-1</sup> e um pulverizador elétrico costal operando a 270 L ha<sup>-1</sup>. O estudo dos autores corrobora os resultados do presente trabalho, em que a aplicação terrestre apresentou maior porcentagem de área coberta quando comparada às aplicações via VANT. Vale reforçar a influência de outras variáveis na porcentagem de área coberta, pois Zhou *et al.* (2023) concluíram que apesar do pulverizador elétrico costal tenha operado com volume superior, apresentou menor área coberta em relação ao pulverizador de barra. Denotando o efeito dos componentes dos pulverizadores sobre a maior cobertura proporcionada pelas gotas.

Com o uso de um pulverizador terrestre operando com 70, 110 e 150 L ha<sup>-1</sup> e de um VANT com 7, 11 e 15 L ha<sup>-1</sup> de volume de calda, Sandman *et al.* (2025) avaliaram a eficiência de ambos os pulverizadores. De modo semelhante à atual pesquisa, os autores observaram a maior porcentagem de área coberta na aplicação terrestre com volume de 150 L ha<sup>-1</sup>. Entretanto, a cobertura obtida por Sandman *et al.* (2025) foi 8,5% inferior à verificada neste estudo, o que pode ser justificado pelas distintas condições experimentais e operacionais adotadas.

### 5.1.2. Volume Recuperado

O volume recuperado obtido através dos papéis hidrossensíveis, evidenciou diferenças significativas entre a pulverização aérea e terrestre pelo teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ). O pulverizador terrestre, com volume de calda de  $150 \text{ L ha}^{-1}$ , apresentou um volume recuperado de  $82,2 \text{ L ha}^{-1}$ . Já na pulverização aérea, em  $5 \text{ L ha}^{-1}$  o volume recuperado foi de  $2 \text{ L ha}^{-1}$ , que se elevou até  $13,6 \text{ L ha}^{-1}$  no volume de  $25 \text{ L ha}^{-1}$ . Na regressão polinomial da aplicação com VANT, é evidente a correlação positiva entre as variáveis, uma vez que o volume recuperado apresentou elevação linear com o aumento do volume de calda (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Volume recuperado pelo impacto de gotas em papéis hidrossensíveis pulverizadas por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) na aplicação de herbicida com ação de contato para o controle de buva (*Conyza bonariensis*) com volumes crescentes de calda, 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil ( $p < 0,05$ ).



Em um estudo realizado na cultura da videira, Balan, Saab e Silva (2006) utilizaram volumes de calda de até  $1675 \text{ L ha}^{-1}$  com gotas grossas, e de até  $1674 \text{ L ha}^{-1}$  para gotas finas. Os autores observaram que a porcentagem do volume original depositado no alvo foi cerca de 48,8 e 37,7% para gotas grossas e de 34, 31,6 e 43% para gotas finas. A comparação do estudo dos autores com o presente trabalho é limitada, onde os mesmos concluem que o maior depósito foi obtido em maiores volumes de calda, assim como o observado na atual pesquisa.

Em um estudo conduzido por Martin *et al.* (2020a), sobre terras agrícolas em pousio no Texas, foi avaliado o uso da aplicação aérea no controle de plantas daninhas. Os resultados obtidos pelos autores foram consistentes com os observados no presente trabalho, evidenciando o aumento na deposição da calda com o incremento do volume aplicado, mesmo sob o uso de diferentes pontas de pulverização com aeronave agrícola.

No estudo realizado por Carneiro *et al.* (2024), foi analisado o efeito de diferentes volumes de calda aplicados por VANT. Por meio disso, os pesquisadores observaram a correlação positiva entre o volume de calda aplicado e o volume recuperado por meio de regressão polinomial, corroborando com o realizado no presente estudo. Nos valores obtidos pelos autores, em 5 L ha<sup>-1</sup> o volume recuperado foi de aproximadamente 3 L ha<sup>-1</sup>, que se elevou até 18,6 L ha<sup>-1</sup> com 25 L ha<sup>-1</sup>. Já no presente trabalho, foram obtidos os valores de 2 L ha<sup>-1</sup> e 13,6 L ha<sup>-1</sup> nos mesmos volumes de calda. O padrão dos resultados foi semelhante, no entanto, é possível notar diferenças entre os estudos, devido ao tamanho de gotas, as condições experimentais e os componentes e equipamentos de pulverização empregados.

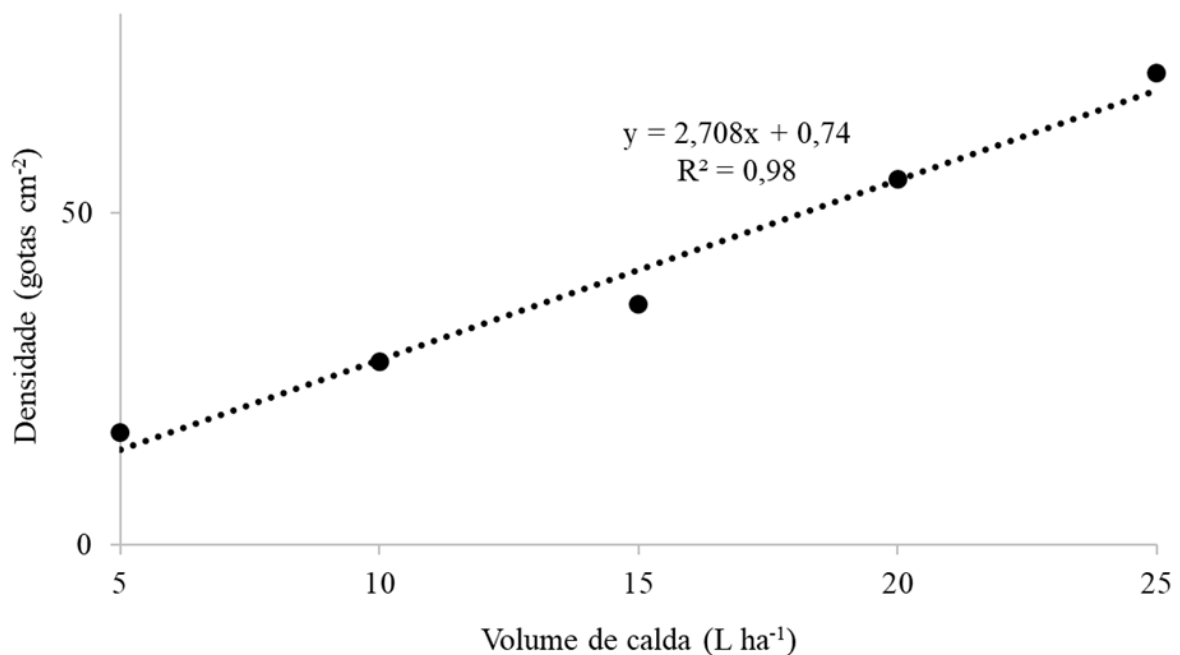
Ao avaliarem a deposição de gotas na cultura do trigo com VANT em diferentes volumes de calda, Mathias e Rosa (2025) observaram que, na altura de 4 metros, a deposição não diferiu significativamente entre as taxas avaliadas. Os autores verificaram variação de 3 L ha<sup>-1</sup> entre os volumes recuperados equivalentes, enquanto no presente trabalho, essa diferença foi de 2,4 L ha<sup>-1</sup>, evidenciando uma tendência semelhante entre os resultados. Embora, para os mesmos volumes de calda, os valores obtidos por Mathias e Rosa (2025) tenham sido não significativos e superiores aos do presente estudo em 46 e 34,7%, respectivamente, observa-se proximidade no padrão dos resultados entre os trabalhos.

Em uma pesquisa conduzida por Ribeiro, Ribeiro e Vitória (2025), os autores avaliaram o efeito de diferentes volumes de calda (8, 12 e 16 L ha<sup>-1</sup>) na cultura da melancia com VANT. Dessa forma, esse estudo corrobora o presente trabalho, em que o volume recuperado evolui significativamente com o aumento do volume de calda. Além disso, os estudos são similares quanto a quantidade de depósitos no papel hidrossensível, no presente trabalho foi depositado cerca de 40 a 54,8% do volume aplicado, já no de Ribeiro, Ribeiro e Vitória (2025) os valores variaram de 42,5 até 46,25%, denotando a proximidade dos resultados obtidos em condições distintas.

### 5.1.3. Densidade de Impactos

A aplicação aérea apresentou diferenças significativas em relação a terrestre pelo teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ). Os resultados variaram de 17 impactos  $\text{cm}^{-2}$  com  $05 \text{ L ha}^{-1}$ , até 71,1 impactos  $\text{cm}^{-2}$  com  $25 \text{ L ha}^{-1}$ . Já na aplicação terrestre foi obtido o valor de 132,8 impactos  $\text{cm}^{-2}$  com  $150 \text{ L ha}^{-1}$ , apresentando a maior densidade do presente estudo. Na regressão polinomial com os volumes de calda pulverizados por VANT, foi observado um aumento linear da densidade de impactos com o incremento do volume de calda (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Densidade do impacto de gotas em papéis hidrossensíveis pulverizadas por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) na aplicação de herbicida com ação de contato para o controle de buva (*Conyza bonariensis*) com volumes crescentes de calda, 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil ( $p < 0,05$ ).



O efeito de diferentes volumes de calda via VANT ( $9$  e  $18 \text{ L ha}^{-1}$ ) foi estudada por Wang *et al.* (2020a) na cultura do arroz, apresentando um aumento linear da densidade de impactos com a elevação do volume de calda, de aproximadamente 50% na densidade de impactos. Tais resultados ratificam o presente trabalho, uma vez que a evolução de 10 para 20  $\text{L ha}^{-1}$  apresentou o aumento de 99,3%. No entanto, essa diferença pode estar relacionada às distintas condições operacionais e metodológicas dos trabalhos, como o modelo do VANT, ponta de pulverização e condições de voo.

No trabalho de Martin *et al.* (2020b), os autores avaliaram a aplicação de defensivos agrícolas realizada por VANT nas taxas de  $18,7$  e  $37,4 \text{ L ha}^{-1}$ , em relação à pulverização terrestre

com 140 L ha<sup>-1</sup> de volume de calda. A média da densidade de impactos com VANT variaram de 16,9 para 38,7 impactos cm<sup>-2</sup>, já com o pulverizador terrestre foi obtido 51,1 impactos cm<sup>-2</sup>. Tais conclusões ratificam o presente trabalho, em que a aplicação terrestre costal pressurizada por CO<sub>2</sub> foi significativamente maior que a aplicação aérea, dadas as especificidades de cada sistema de pulverização.

Buscando avaliar o controle de doenças fúngicas em cafezais com aplicações aéreas via VANT, Vitória *et al.* (2023) compararam os volumes de 5, 10 e 15 L ha<sup>-1</sup> aplicados com drone a um pulverizador terrestre com 400 L ha<sup>-1</sup>. Tais resultados corroboram com o presente estudo, pois em ambos os trabalhos, a porcentagem de área coberta, deposição e densidade de impactos aumentaram com o incremento do volume de calda utilizado. Além do número de gotas cm<sup>-2</sup> na pulverização terrestre ser significativamente superior ao obtido via VANT.

Em uma pesquisa realizada na cultura da soja, Lopes, Cunha e Nomelini (2023) avaliaram a qualidade da pulverização realizada com VANT em comparação a um pulverizador terrestre. O VANT operou com volume de calda de 10 L ha<sup>-1</sup> e diferentes pontas de pulverização, enquanto o pulverizador terrestre utilizou 100 L ha<sup>-1</sup>. Os autores observaram que a densidade de impactos nas pulverizações com VANT não diferiram entre si, sendo superada apenas pela pulverização terrestre, que operou com volume de calda dez vezes maior. Condição semelhante foi observado no presente trabalho, em que a aplicação terrestre com 150 L ha<sup>-1</sup> foi superior à aplicação aérea com 15 L ha<sup>-1</sup>.

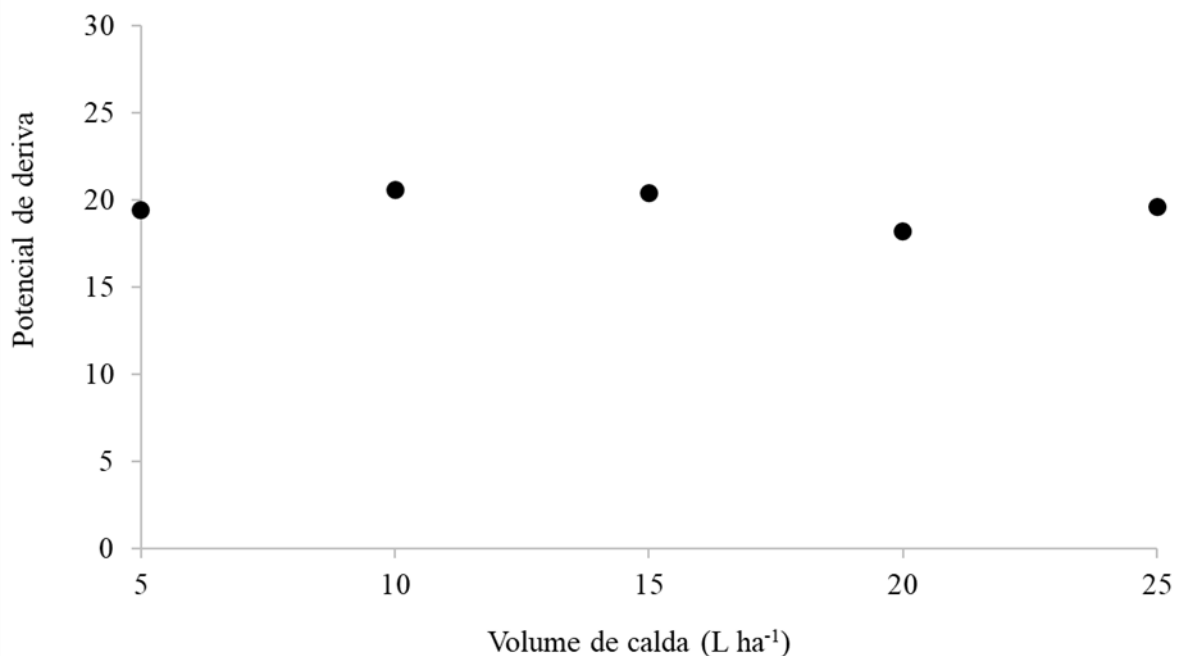
No estudo conduzido por Cunha *et al.* (2024), foi avaliada a aplicação realizada por VANT na cultura do café, sendo empregados os volumes de calda de 10 e 20 L ha<sup>-1</sup>. Os resultados obtidos pelos autores ratificam a atual pesquisa, uma vez que o dobro do volume de calda resultou no aumento da densidade de impactos, de 14 para 18,98 impactos cm<sup>-2</sup>. Entretanto, no presente estudo, para os mesmos volumes de calda, a densidade de impactos aumentou de 27,6 para 55 impactos cm<sup>-2</sup>, evidenciando uma resposta mais acentuada em função das condições experimentais e dos equipamentos utilizados.

#### 5.1.4. Potencial Risco de Deriva

A porcentagem do potencial risco de deriva, expressa por gotas menores de 150 µm, apresentou diferenças significativas entre a aplicação terrestre e aérea. Sendo a primeira com 2,2%, enquanto os volumes de calda com VANT variaram de 18,2 até 20,6%. Considerando apenas as aplicações com veículo aéreo não tripulado, não houve influencia no potencial risco

de deriva com o incremento do volume de calda, uma vez que no volume de 5 L ha<sup>-1</sup> foi obtido 19,4%, já com 25 L ha<sup>-1</sup> o valor foi de 19,6% (Gráfico 5).

Gráfico 5 – Porcentagem do risco de deriva (gotas < 150 µm) pelo impacto em papéis hidrossensíveis pulverizadas por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) na aplicação de herbicida com ação de contato para o controle de buva (*Conyza bonariensis*) com volumes crescentes de calda, 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil (p < 0,05).



A afirmação proposta por Miller (2016) corrobora os resultados do presente trabalho, ao comparar a aplicação terrestre e a aplicação aérea, observa-se que foram adotadas pontas de pulverização, velocidades de operação e alturas de aplicação diferentes. Esses fatores são fundamentais para justificar a diferença significativa entre os métodos de aplicação, onde as condições do pulverizador terrestre resultaram em um menor potencial risco de deriva.

Com o objetivo de avaliar o risco de deriva e o impacto ambiental em aplicações com VANT, Wang *et al.* (2020b) observaram que o aumento da rotação dos bicos atomizadores elevou expressivamente a proporção de gotas finas. Esse resultado auxilia na interpretação do presente estudo, no qual os tratamentos com VANT apresentaram maior potencial risco de deriva, variando entre 18,2 e 20,6%, sendo significativamente superior que a aplicação terrestre (2,2%). Dessa forma, os resultados demonstram que o sistema de pulverização e o espectro de gotas gerado influenciam diretamente o risco potencial de deriva.

No trabalho realizado por Cunha *et al.* (2022), os autores buscaram avaliar o efeito de gotas ultra grossas em diferentes volumes de calda (58, 72, 96, 144 e 177 L ha<sup>-1</sup>) no controle de plantas daninhas. Apesar dos autores não utilizarem um pulverizador aéreo e de verificarem diferenças significativas entre os volumes de calda, os resultados corroboram com a presente pesquisa, uma vez que não foi observada correlação entre a variação do volume de calda com o potencial risco de deriva em ambos os estudos. Além disso, é evidente no estudo dos autores a diferença significativa entre as pontas de pulverização, efeito que pode ser estudado em trabalhos futuros sobre o potencial risco de deriva entre diferentes pontas hidráulicas ou bicos rotativos.

Em uma pesquisa realizada por Cunha e Silva (2023), o objetivo foi avaliar a qualidade da pulverização na cultura do milho, utilizando um VANT configurado para aplicar 10 L ha<sup>-1</sup> de volume de calda, em comparação com um pulverizador terrestre com 115 L ha<sup>-1</sup>. Apesar dos autores utilizarem o limite de 100 µm, os resultados corroboram com os obtidos no presente trabalho, uma vez que a aplicação aérea apresentou maior potencial risco de deriva em comparação à aplicação terrestre, mesmo quando realizada em alturas inferiores à utilizada nesta pesquisa.

Na cultura do café, o estudo de Santos *et al.* (2024) determinou a perda de gotículas em 3, 6, 9, 12 e 15 metros fora da área-alvo, em diferentes taxas de aplicação (10,0 e 15,0 L ha<sup>-1</sup>) e alturas de voo (3,0 e 4,0 metros) com VANT. Os resultados obtidos pelos autores apresentam comparação limitada com o presente trabalho, onde os mesmos afirmam que os diferentes volumes de calda não apresentam efeito significativo no risco de deriva sob o mesmo equipamento de pulverização e condições semelhantes de operação.

No estudo conduzido por Lan *et al.* (2024), os autores verificaram uma redução significativa na deriva acumulada de 75 para 60 L ha<sup>-1</sup>. Contrapondo o obtido no presente estudo, em que os volumes variaram de 5 e 25 L ha<sup>-1</sup> e não promoveram alterações no potencial risco de deriva. Essa diferença pode estar relacionada às distintas metodologias experimentais empregadas, uma vez que os autores avaliaram a deriva acumulada, enquanto no presente estudo foi analisado o espectro de gotas como indicador de risco, método que pode ser realizado em trabalhos futuros para avaliar o efeito do volume de calda sobre o risco de deriva.

#### 5.1.5. Diâmetro da Gota com 10% do Volume Acumulado

Na avaliação do diâmetro de gota com 10% do volume acumulado, pelo teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ), foram observadas diferenças significativas entre a pulverização terrestre e a aérea. O pulverizador terrestre apresentou valor de 329 µm, enquanto nas aplicações com VANT, os valores variaram entre 113 e 144 µm. Não houve influência dos diferentes volumes de calda

sobre o tamanho das gotas pulverizadas pelo VANT, sendo observado o valor médio de  $DV_{0,1}$  de 129  $\mu\text{m}$ .

Em um estudo realizado por Dario (2019), o autor avaliou o uso de diferentes volumes de calda na cultura do arroz, comparando a aplicação realizada por um pulverizador aéreo (10  $\text{L ha}^{-1}$ ) e terrestre (100 e 200  $\text{L ha}^{-1}$ ). Os resultados do autor ratificam o presente trabalho, em que a aplicação aérea apresentou um  $DV_{0,1}$  inferior à terrestre. Além disso, a variação do volume de calda exerce pouca influência no tamanho de gotas gerado, pois mesmo com Dario (2019) aumentando a taxa de aplicação com o pulverizador terrestre, é possível notar valores semelhantes entre os volumes de 100  $\text{L ha}^{-1}$  (119 até 136  $\mu\text{m}$ ) e 200  $\text{L ha}^{-1}$  (127 até 151  $\mu\text{m}$ ). Assim como no presente trabalho com VANT, onde os valores de 137 e 113  $\mu\text{m}$  foram obtidos com 10 e 20  $\text{L ha}^{-1}$ , respectivamente.

Com o objetivo de determinar a qualidade da pulverização proveniente de uma aeronave agrícola (20  $\text{L ha}^{-1}$ ) e um pulverizador terrestre (100  $\text{L ha}^{-1}$ ), Machado e Reynaldo (2019) concluíram que o tamanho de gotas na aplicação aérea foi significativamente inferior quando comparada com a terrestre. Tais resultados corroboram na discussão do presente trabalho, sendo justificado pelas características intrínsecas do pulverizador empregado, como o uso de diferentes tipos de pontas de pulverização e às particularidades operacionais de cada equipamento.

No trabalho conduzido por Garcia *et al.* (2023), os autores avaliaram o efeito de diferentes pontas de pulverização acopladas a um pulverizador terrestre operando com 130  $\text{L ha}^{-1}$ . Mesmo com apenas um volume de calda aplicado por um pulverizador terrestre, o trabalho dos autores corrobora os resultados observados no presente trabalho, pois houve um aumento de 214% no  $DV_{0,1}$  quando comparados os valores de 209 e 657  $\mu\text{m}$ , evidenciando a influência do tipo de ponta utilizado no espectro de gotas. Assim como na atual pesquisa, em que os pulverizadores diferiram significativamente com pontas e bicos de pulverização distintos.

No trabalho de Önlér *et al.* (2023), os autores realizaram uma caracterização da pulverização realizada por um VANT nas alturas de 1,5, 2 e 2,5 metros e nos volumes de 10, 15, 20, 25 e 30  $\text{L ha}^{-1}$ . A literatura citada corrobora o presente trabalho, onde os pesquisadores afirmam que as pulverizações aéreas normalmente geram gotas mais finas e o volume de calda utilizado não justifica as variações no tamanho de gotas gerado. Além disso, os trabalhos apresentam grande similaridade nos valores de  $DV_{0,1}$  obtidos, mesmo sob diferentes condições operacionais e experimentais.

Com o objetivo de avaliar a qualidade da pulverização entre um VANT (20  $\text{L ha}^{-1}$ ) e um pulverizador terrestre (80 e 100  $\text{L ha}^{-1}$ ) na cultura da soja, Gabriel *et al.* (2025) não observaram diferenças significativas entre os volumes de calda empregados na aplicação terrestre. No entanto,

os resultados obtidos pelos autores divergem dos encontrados no presente estudo, uma vez que a aplicação aérea apresentou valores de  $DV_{0,1}$  semelhantes aos observados na aplicação terrestre.

#### 5.1.6. Diâmetro da Gota com 50% do Volume Acumulado

Na aplicação terrestre, a maior proximidade entre a ponta de pulverização e o alvo pode ter reduzido as perdas de massa das gotas, resultando em maior DMV em comparação às pulverizações realizadas por drone (VANT). Pelo teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ), foram observadas diferenças significativas entre o sistema terrestre e as aplicações via VANT. O pulverizador terrestre apresentou DMV de 753  $\mu\text{m}$ , enquanto os valores obtidos nas aplicações com VANT variaram de 196 a 227  $\mu\text{m}$ . Além disso, não houve alteração no tamanho das gotas em função dos diferentes volumes de calda aplicados via VANT, com uma média de 210  $\mu\text{m}$ .

O pulverizador terrestre empregado na presente pesquisa resultou na formação de gotas classificadas como ultra grossas, conforme o observado nos papéis hidrossensíveis, embora tenha sido configurado para gerar gotas consideradas grossas. Esse resultado pode estar relacionado à redução da pressão de trabalho no circuito hidráulico do pulverizador terrestre pressurizado por  $\text{CO}_2$ , efeito também observado por Gabriel e Baio (2013).

Avaliando o controle de plantas daninhas com diferentes pulverizadores, Kumar *et al.* (2022) compararam a aplicação realizada por VANT, com volume de calda de 33,7  $\text{L ha}^{-1}$ , à aplicação com pulverizador costal terrestre, utilizando volume de 375  $\text{L ha}^{-1}$ . Os autores observaram que os valores de DMV foram superiores na pulverização terrestre em comparação com a realizada via VANT, em função do menor volume de calda e maior altura de aplicação. Tal resultado ratifica o obtido no presente estudo, sendo empregado volumes de calda, alturas e pontas de pulverização diferentes entre os pulverizadores, resultando em gotas de tamanhos distintos.

No estudo de Paul *et al.* (2024), os autores buscaram avaliar a deposição de gotas com VANT (30 e 45  $\text{L ha}^{-1}$ ) e por um pulverizador terrestre (500  $\text{L ha}^{-1}$ ) para o controle de plantas daninhas. Os resultados dos autores são consistentes com a discussão do presente trabalho, uma vez que a pulverização terrestre apresentou o maior valor DMV quando comparado com a aplicação aérea. Apesar dos volumes de 30 e 40  $\text{L ha}^{-1}$  apresentarem uma possível tendência de aumento no DMV, não foram observadas diferenças significativas entre esses dois tratamentos, o que limita discussões da possível correlação entre as variáveis com VANT.

Em um trabalho conduzido por Oliveira *et al.* (2024), os autores buscaram avaliar o efeito de diferentes volumes de calda via VANT (44, 66 e 88  $\text{L ha}^{-1}$ ) e terrestre (800  $\text{L ha}^{-1}$ ). Os

autores observaram que o maior valor do DMV foi obtido pelo pulverizador terrestre e não houve diferenças significativas entre os volumes aplicados via VANT. Tais resultados corroboram com o presente trabalho, onde o valor de DMV não apresentou variações significativas nos volumes aplicados via VANT, mas diferindo significativamente dos resultados obtidos pelo pulverizador terrestre. Evidenciando que o volume de calda sem si não promoveu alterações significativas nos valores de DMV, mas sim por fatores que influenciam no tempo de vida da gota e sua respectiva formação.

Buscando avaliar o efeito de diferentes volumes de calda na cultura do café, J. E. Silva *et al.* (2024) utilizaram um VANT configurado para aplicar os volumes de 8 até 20 L ha<sup>-1</sup>. Os autores observaram que os valores do DMV variaram de 214,4 µm com 12 L ha<sup>-1</sup> até 248,2 µm em 8 L ha<sup>-1</sup>. Tais resultados ratificam o presente trabalho, pois em ambos os estudos não houve diferenças significativas ou aumento linear do DMV com o incremento do volume de calda via VANT. Reforçando que variações no volume de calda com VANT não resulta em efeitos significativos no DMV.

O estudo promovido por Ruppenthal (2024) buscou avaliar a deposição de gotas geradas por VANT (10 L ha<sup>-1</sup>, 12 L ha<sup>-1</sup> e 15 L ha<sup>-1</sup>) na cultura do milho. Os resultados obtidos pelo autor corroboram os do presente estudo, uma vez que, nas folhas do cartucho, os valores de DMV não apresentaram diferenças significativas entre os volumes de calda. No entanto, os valores de DMV nas folhas do ápice apresentaram diferenças significativas entre o menor e o maior volume, dada às distintas condições ambientais entre os tratamentos. Ressaltando a importância das condições de temperatura e umidade ideais na obtenção dos resultados.

#### 5.1.7. Diâmetro da Gota com 90% do Volume Acumulado

O diâmetro da gota com 90% do volume acumulado evidenciou diferenças significativas entre a aplicação terrestre e aérea, conforme o teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ). O pulverizador terrestre gerou gotas maiores, com média de 1.489 µm, quando comparado ao VANT, que apresentou valores entre 297 e 319 µm. Além disso, os diferentes volumes de calda na pulverização aérea não influenciaram o DV<sub>0,9</sub>, com média de 306 µm.

Em uma pesquisa conduzida por Barbosa *et al.* (2011), os autores observaram diferenças significativas nos valores de DV<sub>0,9</sub> entre os volumes de calda analisados (20 e 40 L ha<sup>-1</sup>), em que o maior valor proporcionou aumento no tamanho das gotas produzidas. Padrão similar foi observado no presente trabalho, no qual, elevados volumes de calda com pontas

hidráulicas resultaram em maiores valores  $DV_{0,9}$  quando comparados com menores volumes pulverizados por atomizadores rotativos.

Na pesquisa conduzida por Creech *et al.* (2015), os autores avaliaram o efeito de diferentes herbicidas na cultura da soja, havendo diferenças significativas entre os valores de  $DV_{0,9}$  na aplicação de glufosinato de amônio, com valores entre 378 e 281  $\mu\text{m}$  com 47 e 94 L  $\text{ha}^{-1}$ , respectivamente. Apesar desse efeito, os resultados dos pesquisadores ratificam o presente estudo, uma vez que o tamanho de gotas obtido não foi majoritariamente influenciado pelo incremento do volume de calda. Apresentando padrão e valores próximos à variação do volume de calda com VANT no presente trabalho, apesar dos distintos pulverizadores e condições operacionais.

A qualidade da pulverização em função de diferentes volumes de calda (100 e 130 L  $\text{ha}^{-1}$ ) utilizando pulverizador terrestre foi analisada por Peres *et al.* (2020). Os autores observaram que, mesmo com incremento de 30% no volume de calda, não houve diferenças significativas nos valores de  $DV_{0,9}$  sob as mesmas condições de trabalho. Tais dados ratificam o obtido nesta pesquisa, uma vez que o aumento do volume de calda com VANT não promoveu alterações significativas no  $DV_{0,9}$ .

Mesmo com Huang *et al.* (2022) utilizando apenas um volume de calda com VANT, as diferentes pontas de pulverização e o uso de adjuvantes promoveram alterações no espectro de gotas gerado. Resultado consistente para a discussão do presente estudo, em que a pulverização terrestre e aérea via VANT apresentaram diferenças significativas nos valores de  $DV_{0,9}$ , atribuída especialmente pelas características próprias de cada ponta de pulverização.

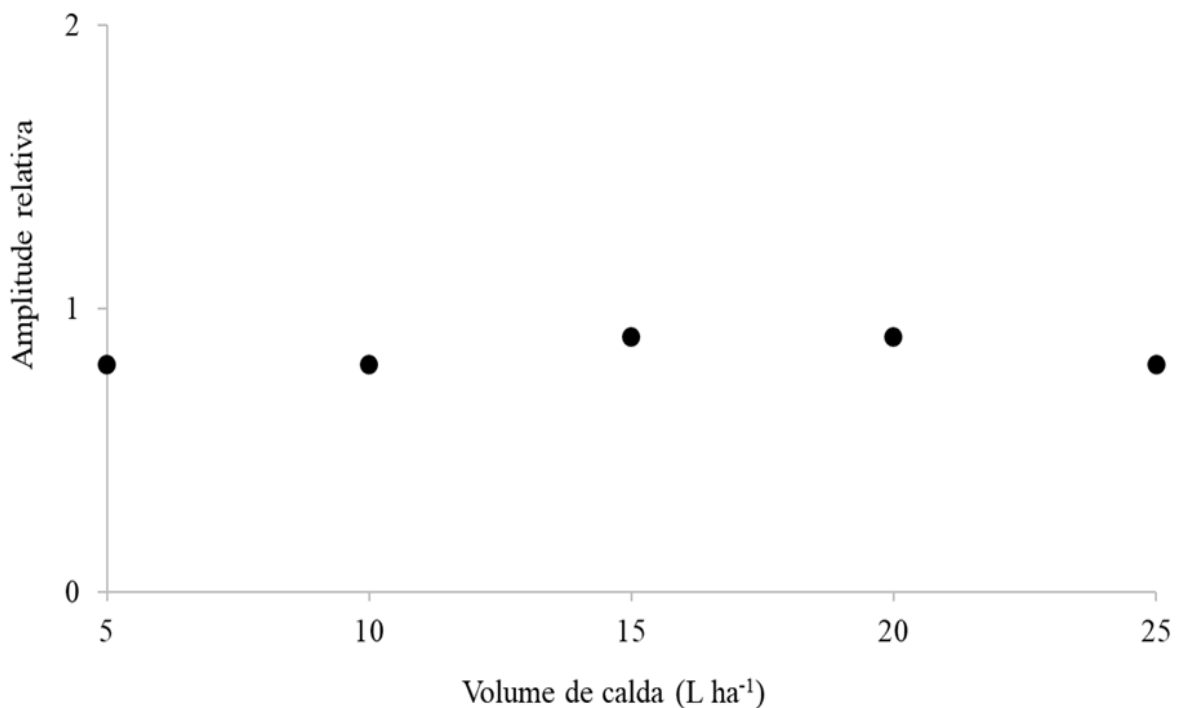
Na cultura do café, Alvarenga *et al.* (2024) desenvolveram um estudo sobre o uso de diferentes volumes de calda (8, 12 e 16 L  $\text{ha}^{-1}$ ) com VANT. Avaliando o  $DV_{0,9}$  no fator volume de calda, os autores observaram diferenças significativas entre o maior e menor volume de calda, com exceção da ponta TTJ60 11002. Corroborando parcialmente com os resultados obtidos na atual pesquisa, ao constatar em seu estudo o efeito significativo ou não entre os volumes de calda conforme os componentes de pulverização utilizados. Além de reforçar o proposto por Whitford *et al.* (2024), sobre a influência da ponta de pulverização sobre o espectro de gotas gerado.

#### 5.1.8. Amplitude Relativa (SPAN)

A amplitude relativa obtida a partir dos valores de  $DV_{0,1}$ ,  $DV_{0,5}$  e  $DV_{0,9}$  apresentou diferenças significativas pelo teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ), sendo obtido o valor de 1,5 para a pulverização terrestre e valores entre 0,8 e 0,9 na pulverização com VANT, denotando maior

homogeneidade no espectro de gotas gerado pela pulverização aérea. Avaliando apenas a amplitude relativa na aplicação por VANT, o incremento do volume de calda não resultou na mudança dos valores de amplitude relativa, uma vez que em 5 L ha<sup>-1</sup> e 25 L ha<sup>-1</sup> apresentaram o mesmo resultado de SPAN (0,8) (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Amplitude relativa em papéis hidrossensíveis pulverizadas por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) na aplicação de herbicida com ação de contato para o controle de buva (*Conyza bonariensis*) com volumes crescentes de calda, 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil ( $p < 0,05$ ).



No trabalho de Cunha *et al.* (2011), os autores buscaram comparar a aplicação terrestre e aérea, como também avaliar o uso de diferentes volumes de calda (180 L ha<sup>-1</sup>, 150 L ha<sup>-1</sup> e 40, 30 e 20 L ha<sup>-1</sup>) e pontas de pulverização. Os resultados obtidos pelos pesquisadores indicam que não houve diferenças significativas entre os pulverizadores, com pontas de pulverização, altura de aplicação, volume de calda e tamanho de gotas distintas. Corroborando parcialmente com o presente estudo, justamente pelos autores não observarem diferenças significativas entre os volumes de calda aplicados via aérea.

Ao avaliarem a aplicação aérea com diferentes pontas de pulverização e volumes de calda, Bayer *et al.* (2012) verificaram que as pontas hidráulicas apresentaram valores de SPAN significativamente maiores que os obtidos com bicos atomizadores rotativos, sem haver diferenças significativas entre os volumes de calda utilizados em cada tipo de bico. Esses

resultados corroboram com o presente estudo, onde a variação do volume de calda exerceu menor influência sobre a homogeneidade do espectro de gotas do que o tipo de ponta utilizado. Além disso, Bayer *et al.* (2012) relataram valores de SPAN de 1,47 e 1,32 para os volumes de 30 e 20 L ha<sup>-1</sup> com pontas hidráulicas, respectivamente, enquanto no presente estudo foi obtido o valor de 1,5 para 150 L ha<sup>-1</sup>, demonstrando proximidade entre os resultados, apesar da diferença entre os volumes de calda.

Na cultura da alfaça, Li *et al.* (2021) compararam a pulverização realizada por um VANT e por uma aeronave agrícola com mesmo volume de calda e pontas de pulverização hidráulica. Os autores verificaram que a amplitude relativa apresentou valores próximos entre os pulverizadores, não havendo diferenças significativas. Tal resultado ratifica o presente estudo, em que valores próximos de SPAN também foram observados em diferentes volumes de calda com VANT com bicos centrífugos, que diferiram significativamente da pulverização terrestre com pontas hidráulicas. Assim, evidencia-se o efeito da ponta de pulverização sobre o valor SPAN.

Ao avaliar o uso de diferentes volumes de calda (80, 100, 200 e 250 L ha<sup>-1</sup>) no controle de plantas daninhas com pulverizador terrestre, Arcoverde *et al.* (2024) não obtiveram diferenças significativas entre as amplitudes relativas nos volumes de calda avaliados. Tal conclusão ratifica a atual pesquisa, uma vez que o aumento do volume de calda resultou em variações não significativas no SPAN.

No trabalho de Serafim *et al.* (2025), os autores buscaram avaliar a qualidade da pulverização com um pulverizador terrestre configurado para gerar os volumes de 60 L ha<sup>-1</sup>, 80 L ha<sup>-1</sup>, 100 L ha<sup>-1</sup> e 120 L ha<sup>-1</sup>. Apesar de utilizarem um pulverizador terrestre, os resultados obtidos pelos autores corroboram com a discussão da atual pesquisa, onde a amplitude relativa não teve resposta com o incremento do volume de calda. Uma vez que os valores dos autores variaram de 0,65 em 60 L ha<sup>-1</sup> para 0,88 com 80 L ha<sup>-1</sup>, já no presente trabalho, os volumes de 5 L ha<sup>-1</sup> e 25 L ha<sup>-1</sup> apresentaram o valor de 0,8.

## 5.2. PORCENTAGEM DE CONTROLE DE BUVA

### 5.2.1. Controle Sem Uso de Herbicida e Aplicação Via VANT

A comparação entre o tratamento controle (sem aplicação de herbicida) com cada volume de calda pulverizado pelo VANT, apresentou diferenças significativas pelo teste de Dunnett ( $P < 0,05$ ). A testemunha apresentou valores próximos a zero em todas as avaliações. No

controle químico com VANT, os percentuais de controle variaram de 73 a 76% aos 6 dias, de 78 a 83% aos 12 dias, de 86 a 91% aos 18 dias e de 89 a 92% aos 24 dias após a pulverização (Tabela 4).

Tabela 4 – Porcentagem de plantas de buva (*Conyza bonariensis*) controladas por herbicida com ação de contato pulverizado em diferentes volumes de calda por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone), 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil<sup>1</sup>

Volumes de calda (L ha <sup>-1</sup> )	% 06 dias após a pulverização	% 12 dias após a pulverização	% 18 dias após a pulverização	% 24 dias após a pulverização
Controle <sup>2</sup>	00	00	00	01
VANT – 05 L ha <sup>-1</sup>	76 * <sup>3</sup>	82*	90 *	90 *
VANT – 10 L ha <sup>-1</sup>	73 *	79 *	86 *	89 *
VANT – 15 L ha <sup>-1</sup>	74 *	78 *	87 *	89 *
VANT – 20 L ha <sup>-1</sup>	75 *	82 *	89 *	91 *
VANT – 25 L ha <sup>-1</sup>	76 *	83 *	91 *	92 *
Coefficiente de Variação (%)	4,0	3,9	3,9	3,5

1 – Não significativo para blocos para todas as variáveis analisadas (P > 0,05).

2 – Sem pulverização de herbicida nas plantas.

3 – Significativo em comparação com o tratamento controle pelo teste de Dunnett (P < 0,05).

Mesmo a buva sendo uma das espécies de plantas daninhas mais desafiadoras em todo o mundo, a aplicação do herbicida glufosinato de amônio se mostrou como uma alternativa eficiente no controle, resultando em morte acima de 73% das plantas, ratificando o relatado por Constantin *et al.* (2013), Bornelli *et al.* (2022) e Schneider *et al.* (2022). No manejo integrado das plantas daninhas, o controle por herbicidas se demonstrou uma estratégia eficiente, confirmando com o proposto por Barroso *et al.* (2021). Seguindo os preceitos da tecnologia de aplicação, se eleva a possibilidade de obter sucesso no processo de pulverizar o produto sobre as plantas de buva, corroborando com as afirmações de Matthews (2015).

Buscando avaliar a dessecação de aveia-preta com herbicida de contato, Garcia *et al.* (2004) utilizaram pulverizadores terrestres operando nos volumes de 0, 100, 200, 300 e 400 L ha<sup>-1</sup>. Os resultados obtidos pelos autores são consistentes na discussão do presente trabalho, pois a testemunha apresentou controle próximo a 0%, enquanto todos os outros tratamentos diferiram significativamente com valores superiores a 46%. Além disso, os pesquisadores observaram que o pulverizador sem assistência de ar, no volume de 100 L ha<sup>-1</sup>, apresentou uma

porcentagem de controle inferior aos demais, indicando a existência de um volume de calda mínimo necessário para atingir o controle satisfatório.

Na pesquisa realizada por Leite *et al.* (2014), os autores buscaram avaliar a porcentagem de dessecação da buva em plantas com tamanho superior ou inferior a 15 centímetros. Embora tenham utilizado apenas um volume de calda com pulverizador terrestre, os resultados corroboram com os obtidos no presente trabalho, pois, em ambos os estudos, as maiores porcentagens de controle foram observadas nas parcelas tratadas com glufosinato de amônio, em comparação à testemunha sem controle químico. Além disso, os pesquisadores concluíram que o glufosinato de amônio foi eficaz no controle de plantas de buva em diferentes tamanhos, comportamento semelhante ao observado no presente estudo, com população de buva apresentando plantas em diferentes estádios fenológicos, variando desde plântulas até plantas adultas.

Em uma pesquisa conduzida sobre áreas em pousio por Martin *et al.* (2020a), os autores avaliaram o efeito da aplicação aérea no controle de plantas daninhas com o uso de herbicida sistêmico. Os pesquisadores concluíram que o controle químico realizado com diferentes pontas de pulverização e volumes de calda diferiu significativamente da parcela sem aplicação do herbicida. Tal conclusão ratifica o presente trabalho, evidenciando o efeito significativo do controle químico.

No estudo conduzido por Carneiro *et al.* (2024), os autores avaliaram o efeito do herbicida glifosato em função de diferentes volumes de calda (5, 10, 15, 20 e 25 L ha<sup>-1</sup>). Os autores observaram diferenças significativas entre a testemunha e os tratamentos dessecados via VANT, não havendo diferenças significativas entre os diferentes volumes de calda. Tais resultados ratificam o presente trabalho com herbicida de contato, evidenciando que menores volumes de calda, como 5 L ha<sup>-1</sup>, é possível obter controle superior ao observado na parcela testemunha.

Avaliando o efeito de diferentes pontas de pulverização e volumes de calda no controle de capim-colchão com herbicida sistêmico, Costa *et al.* (2025) utilizaram um VANT operando nos volumes de 10 e 15 L ha<sup>-1</sup>, além de um pulverizador costal na taxa de 102 L ha<sup>-1</sup>. A testemunha apresentou um controle de 0%, diferindo significativamente de grande parte dos tratamentos pulverizados com herbicida, denotando padrão semelhante ao observado no presente estudo. Além disso, os resultados deste estudo indicam que a variação do volume de calda não foi o principal fator determinante na alteração da porcentagem de controle, sendo a escolha da ponta de pulverização capaz de resultar em resultados satisfatórios ou significativamente inferiores.

### 5.2.2. Controle da Aplicação Terrestre e com VANT

A comparação entre a pulverização terrestre e a aérea não apresentou diferenças significativas pelo teste de Dunnett ( $P > 0,05$ ), mesmo com uma diferença de até 30 vezes entre os volumes aplicados (Tabela 5). Na aplicação terrestre, as porcentagens de controle variaram de 73 até 89% aos 6 até 24 dias após a pulverização, respectivamente. Enquanto na aplicação via VANT, as porcentagens de controle variaram de 73 a 76% aos 6 dias após a pulverização, de 78 a 83% aos 12 dias, de 86 a 91% aos 18 dias e de 89 a 92% aos 24 dias após a pulverização do herbicida glufosinato de amônio para o controle da buva (*Conyza bonariensis*) sobre a área experimental.

Tabela 5 – Porcentagem de plantas de buva (*Conyza bonariensis*) controladas por herbicida com ação de contato pulverizado em diferentes volumes de calda por máquina terrestre em comparação com veículo aéreo não tripulado (VANT - drone), 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil<sup>1</sup>

Volumes de calda (L ha <sup>-1</sup> )	% 06 dias após a pulverização	% 12 dias após a pulverização	% 18 dias após a pulverização	% 24 dias após a pulverização
Terrestre – 150 L ha <sup>-1</sup> 2	73	81	88	89
VANT – 05 L ha <sup>-1</sup>	76 <sup>ns3</sup>	82 <sup>ns</sup>	90 <sup>ns</sup>	90 <sup>ns</sup>
VANT – 10 L ha <sup>-1</sup>	73 <sup>ns</sup>	79 <sup>ns</sup>	86 <sup>ns</sup>	89 <sup>ns</sup>
VANT – 15 L ha <sup>-1</sup>	74 <sup>ns</sup>	78 <sup>ns</sup>	87 <sup>ns</sup>	89 <sup>ns</sup>
VANT – 20 L ha <sup>-1</sup>	75 <sup>ns</sup>	82 <sup>ns</sup>	89 <sup>ns</sup>	91 <sup>ns</sup>
VANT – 25 L ha <sup>-1</sup>	76 <sup>ns</sup>	83 <sup>ns</sup>	91 <sup>ns</sup>	92 <sup>ns</sup>
Coefficiente de Variação (%)	2,8	2,9	2,6	2,4

1 – Não significativo para blocos para todas as variáveis analisadas ( $P > 0,05$ ).

2 – Pulverizador terrestre costal pressurizado por CO<sub>2</sub>.

3 – Não significativo em comparação com o tratamento controle pelo teste de Dunnett ( $P > 0,05$ ).

O resultado obtido ratifica a afirmação proposta por Hafeez *et al.* (2022), uma vez que os VANTs podem apresentar eficácia de controle similar com equipamentos convencionais. Tal comparação é fundamental para verificar a qualidade e viabilidade do uso de novas tecnologias, conforme o relatado por Cunha e Silva (2021). Além disso, o volume da calda na pulverização é consequência e não causa da calibração na pulverização (Garcia; Justino; Ramos, 2002). Tal afirmação foi ratificada neste estudo onde o volume de calda foi indiferente, mesmo com variação de 30 vezes entre a menor e maior quantidade distribuída nas parcelas.

A eficácia no controle de plantas de buva, mesmo com variações significativas nos volumes de calda, também pode estar relacionada às características do ingrediente ativo empregado. Isso ocorre porque a absorção do herbicida glufosinato de amônio pela planta é influenciada pela concentração do produto no tecido foliar. Essa afirmação proposta por Takano (2024) foi confirmada no presente estudo, uma vez que caldas mais concentradas aplicadas via VANT resultaram em controle semelhante ao obtido com caldas aplicadas por pulverizador terrestre.

Avaliando o controle de plantas daninhas em áreas de eucalipto com herbicidas de ação sistêmica e de contato, Angonese *et al.* (2022) utilizaram um VANT com volume de calda de 15 L ha<sup>-1</sup>. Para a pulverização terrestre, os autores utilizaram uma barra com bicos rotativos com 15 L ha<sup>-1</sup> e outra barra com bicos hidráulicos com 150 L ha<sup>-1</sup>. Aos 21 dias após a pulverização e na dose de 100% do herbicida glufosinato de amônio, a porcentagem de controle via VANT não diferiu significativamente da pulverização terrestre com pontas hidráulicas, com valores de 95 e 90% respectivamente, corroborando com o obtido no presente estudo.

Nas safras de verão e outono na cultura do arroz, Jeevan *et al.* (2024) avaliaram o controle de plantas daninhas com drone em relação à pulverização terrestre. Para isso, foi utilizado um VANT operando nos volumes de 25, 37,5 e 75 L ha<sup>-1</sup> e um pulverizador terrestre costal configurado para aplicar 500 L ha<sup>-1</sup>. O trabalho dos autores apresenta padrão consistente com o presente estudo, onde a porcentagem de controle de plantas daninhas não apresentou diferenças significativas entre os volumes aplicados com VANT em relação à terrestre.

No estudo realizado por Stiles II e Sprague (2024), os autores avaliaram o efeito da mistura de glufosinato, glifosato e sulfato de amônio aplicado por um pulverizador terrestre operando a 178 L ha<sup>-1</sup>, também foi utilizado um VANT com 18,7 L ha<sup>-1</sup> a 9,5 m s<sup>-1</sup>; 28 L ha<sup>-1</sup> a 9,5 m s<sup>-1</sup>; 46,8 L ha<sup>-1</sup> a 9,5 m s<sup>-1</sup>; 18,7 L ha<sup>-1</sup> a 6,99 m s<sup>-1</sup>; e 46,8 L ha<sup>-1</sup> a 6,99 m s<sup>-1</sup>, para o controle de buva (*Conyza canadensis*). Aos 14 DAP, o controle da buva foi semelhante entre a aplicação terrestre e as realizadas com VANT, com valores próximos de 100% de controle. Mesmo com mistura de herbicidas e níveis de controle próximos a 100%, o estudo dos autores corrobora o presente trabalho, pois o controle da população de buva foi similar entre a pulverização terrestre e com VANT.

Buscando avaliar o controle de *Urochloa decumbens* com herbicida sistêmico, Lopes *et al.* (2024) utilizaram um VANT (10 L ha<sup>-1</sup>), em comparação a um pulverizador terrestre (100 L ha<sup>-1</sup>). Os autores não observaram diferenças significativas na porcentagem de controle promovida pelos pulverizadores aos 14, 21 e 28 dias após a pulverização, tal resultado ratifica o presente trabalho, evidenciando que um volume de calda 10 vezes superior apresentou um

controle similar. Reforçando que a redução no volume de calda utilizado, com o correto uso da tecnologia de aplicação, possibilita um controle satisfatório do alvo desejado.

No trabalho de Modi *et al.* (2026), os autores buscaram avaliar o controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar com o uso de herbicidas. Os autores utilizaram um VANT (35, 45 e 55 L ha<sup>-1</sup>) em comparação a um pulverizador terrestre costal (500 L ha<sup>-1</sup>). Os resultados demonstraram que em todos os herbicidas, não houve diferenças significativas entre os volumes aplicados por ambos os pulverizadores, mesmo com uma redução de 93% no volume de calda via VANT em relação à terrestre. Assim como no presente estudo, onde a redução de até 96,7% no volume de calda não afetou a porcentagem de controle do herbicida glufosinato de amônio.

### 5.2.3. Controle em Volumes de Calda com VANT

Quando considerados apenas os volumes de calda pulverizados via VANT, a regressão polinomial não foi significativa aos 6 dias após a pulverização (DAP), como demonstrado no Gráfico 7. Resultado semelhante foi observado aos 12, 18 e 24 DAP (Gráficos 8, 9 e 10, respectivamente), não sendo possível definir o volume de calda mais adequado para a aplicação do herbicida glufosinato de amônio no controle da buva.

Gráfico 7 – Porcentagem de plantas de buva (*Conyza bonariensis*) controladas por herbicida com ação de contato, 06 dias após a pulverização em diferentes volumes de calda por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone), 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil ( $P > 0,05$ ).

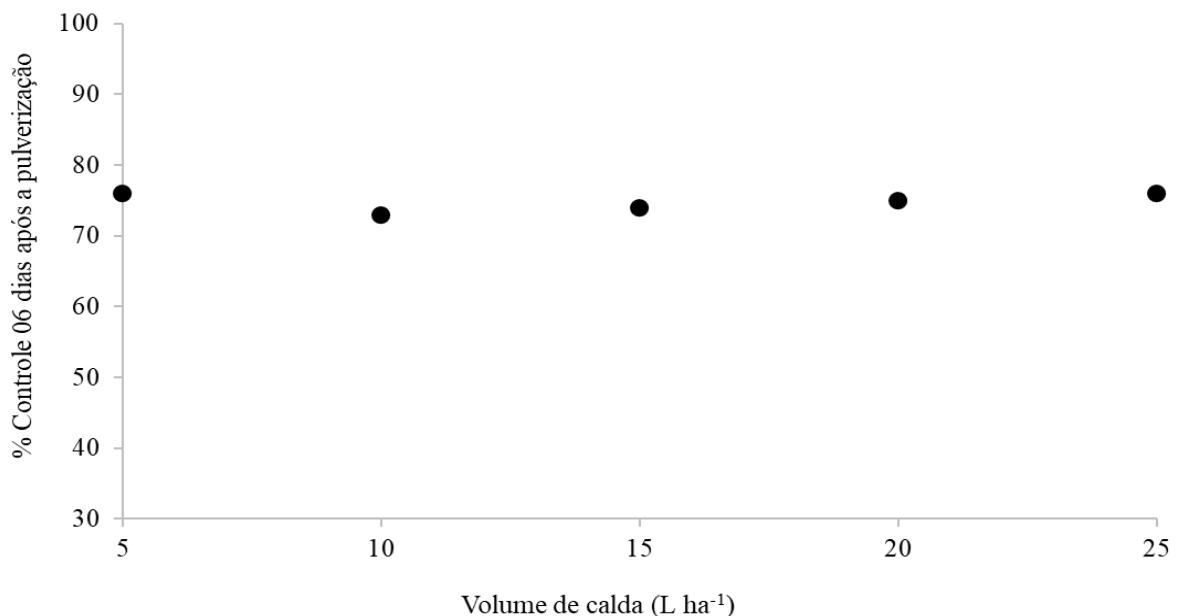


Gráfico 8 – Porcentagem de plantas de buva (*Conyza bonariensis*) controladas por herbicida com ação de contato, 12 dias após a pulverização em diferentes volumes de calda por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone), 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil ( $P > 0,05$ ).

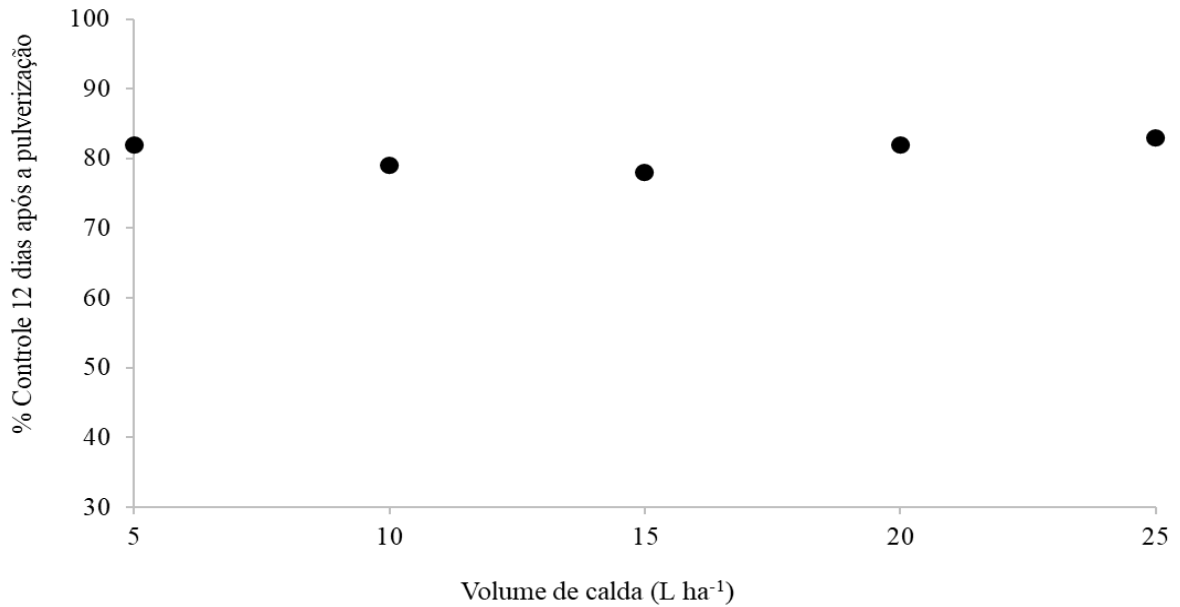


Gráfico 9 – Porcentagem de plantas de buva (*Conyza bonariensis*) controladas por herbicida com ação de contato, 18 dias após a pulverização em diferentes volumes de calda por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone), 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil ( $P > 0,05$ ).

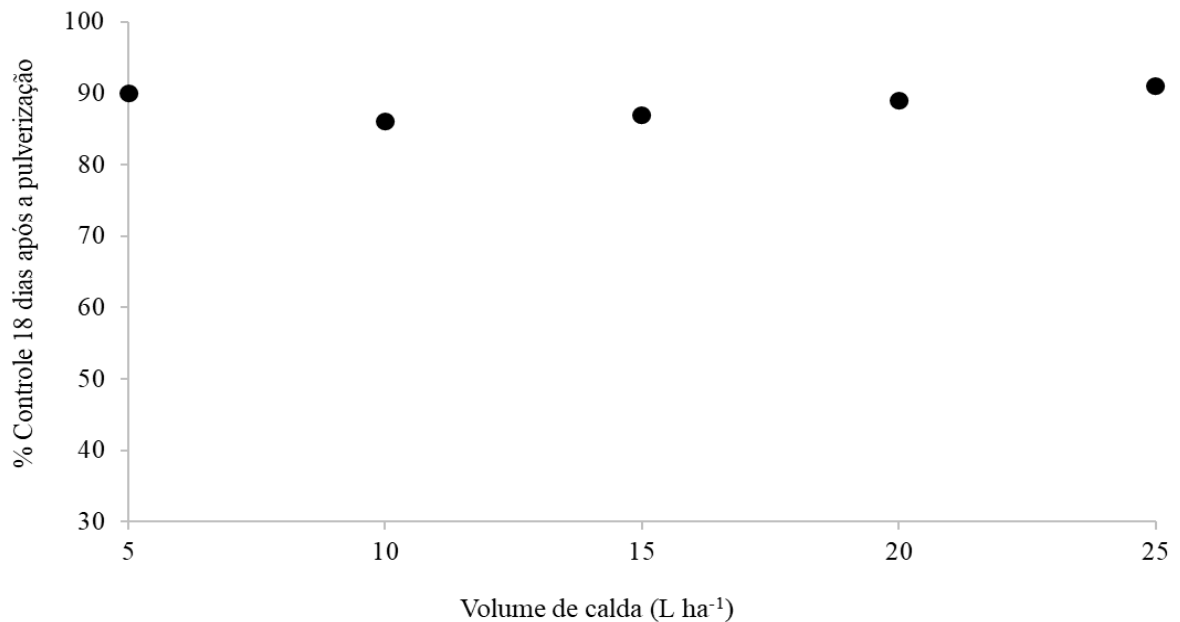
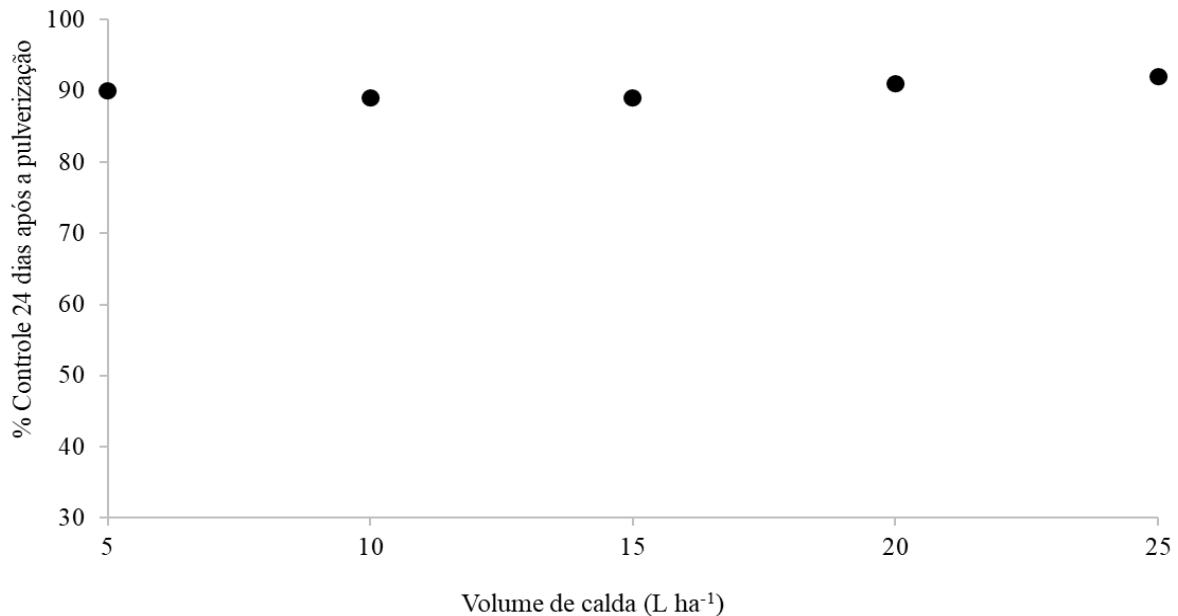


Gráfico 10 – Porcentagem de plantas de buva (*Conyza bonariensis*) controladas por herbicida com ação de contato, 24 dias após a pulverização em diferentes volumes de calda por veículo aéreo não tripulado (VANT - drone), 2024, Ponta Grossa – Paraná ( $P > 0,05$ ).



Ao avaliar o efeito de volumes de calda com glufosinato de amônio na dessecação de milho, Campos *et al.* (2011) não observaram diferenças significativas entre o controle promovido pelos volumes de 200 e 400 L ha<sup>-1</sup> aos 3, 7, 14, 21 e 28 DAP. Tal conclusão ratifica a atual pesquisa, em que a porcentagem de controle da buva se manteve acima de 73% aos 6 DAP e evoluindo até 92% aos 24 DAP, não havendo diferenças significativas entre os volumes aplicados por VANT.

No estudo conduzido por Bueno *et al.* (2013), avaliando o efeito de diferentes volumes de calda no controle de plantas daninhas com glifosato, foi utilizado um pulverizador costal terrestre operando nos volumes de 30, 60 e 150 L ha<sup>-1</sup>. Os autores observaram que o fator volume de calda não influenciou significativamente a porcentagem de controle ao longo das avaliações. Apesar de ter sido utilizado um pulverizador terrestre com volumes superiores aos utilizados no presente trabalho, o padrão foi similar, onde o aumento do volume de calda não resultou em diferenças significativas na eficácia do produto químico utilizado, tanto com herbicidas de ação sistêmica quanto de contato.

No estudo de G. P. Silva *et al.* (2024), os autores buscaram avaliar o efeito de diferentes volumes de calda (50, 80, 100, 150 e 200 L ha<sup>-1</sup>) no controle de *Conyza spp.* com diclosulam e

halauxifen, também foi realizado uma sequencial de glufosinato de amônio aos 14 dias após a pulverização inicial. Dessa forma, o estudo dos autores corrobora o presente trabalho, pois mesmo utilizando maiores volumes de calda e apresentando maiores porcentagens de controle nos primeiros dias de avaliação com 200 L ha<sup>-1</sup>, o controle evoluiu conforme as datas de avaliação e nenhum valor apresentou diferenças significativas no controle final da buva.

Avaliando a qualidade da pulverização e a eficácia do herbicida floryrauxifen-benzyl na cultura do arroz, Seibt *et al.* (2025) utilizaram um VANT (10 e 20 L ha<sup>-1</sup>) e um pulverizador terrestre (150 L ha<sup>-1</sup>) para o controle de plantas daninhas. Os tratamentos com diferentes volumes de calda com VANT, em *Sagittaria montevidensis* e *Aeschynomene denticulata*, não apresentaram diferenças significativas em 5, 15 e 30 dias após a pulverização (DAP), comportamento similar com o presente estudo em *Conyza bonariensis* com 6, 12, 18 e 24 DAP. Entretanto, vale abordar que a variação do volume de calda pode influenciar na resposta de algumas espécies de plantas daninhas. Seibt *et al.* (2024) observaram que aos 30 DAP na comunidade infestante de *Cyperus iria*, foram obtidos valores de 90 e 92% para o volume de 10 L ha<sup>-1</sup>, enquanto para 20 L ha<sup>-1</sup> os valores oscilaram entre 97 e 98%. Com isso, não é possível afirmar que a variação do volume de calda não influencie a porcentagem de controle em todas as espécies e situações.

Com o objetivo de avaliar o controle de *Conyza spp.* sob o efeito de diferentes volumes de calda, Alievi (2025) utilizou um pulverizador terrestre operando nos volumes de 50, 100, 150, 200 e 250 L ha<sup>-1</sup> com o herbicida glufosinato de amônio. O estudo corrobora o presente trabalho, uma vez que o glufosinato de amônio apresentou maiores porcentagens de controle no volume de 50 L ha<sup>-1</sup> aos 3, 10 e 16 dias após a pulverização. Efeito gerado pela concentração do herbicida sal de amônio sobre a planta, favorecendo sua maior difusão na planta e seu respectivo efeito, corroborando com o afirmado por Takano (2024).

## 6. CONCLUSÃO

Todas as variáveis determinadas em cartões hidrossensíveis diferiram significativamente entre a pulverização terrestre e a aérea. Verificando somente os impactos das gotas em cartões hidrossensíveis para a pulverização com VANT, verificou-se elevação linear com o aumento do volume de calda para área coberta, volume recuperado e densidade de impactos. Pela proximidade do alvo, reduzindo a influência das condições do tempo entre a formação da gota e o alvo, os diâmetros de gotas foram maiores pela menor perda de massa no trajeto. Com isso, o risco de deriva foi reduzido em razão da menor quantidade de gotas com diâmetro abaixo de 150  $\mu\text{m}$ . No entanto, o SPAN foi maior para pontas de pulverização de jato plano de grande ângulo, denotando a homogeneidade das gotas geradas por bicos rotativos do VANT.

A porcentagem de controle da buva nas parcelas pulverizadas foi significativamente maior que sem aplicação de herbicida. Não houve distinção entre a eficácia das pulverizações terrestre e aérea em todas as avaliações. Entre os volumes aplicados pelo VANT, a porcentagem de plantas de buva controladas foi semelhante nos tratamentos em todas as avaliações.

## REFERÊNCIAS

ADAPAR - AGÊNCIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA DO PARANÁ. **Agrotóxicos no Paraná**. Disponível em:

[https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos\\_restritos/files/documento/2023-08/sapekmax.pdf](https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2023-08/sapekmax.pdf). Acesso em: 20 de março de 2024.

ADEGAS, F. S.; GAZZIERO, D. L. P. Tecnologia de aplicação de agrotóxicos. *In*: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. C. **Tecnologias de produção de soja**. 1. ed. Embrapa Soja, 2020. 281-292 p.

AGOSTINETTO, D.; ULGUIM, A. R.; VARGAS, L. Manejo de plantas daninhas em sistema plantio direto. *In*: SOUZA, L. S.; MARIA, I. C. **Sistema plantio direto no Brasil**. 1. ed. Aldeia Norte Editora, 2022. 106-131 p.

AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L.; GAZZIERO, D. L. P.; SILVA, A. A. Manejo de plantas daninhas. *In*: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja: do plantio à colheita**. 1. ed. Editora UFV, 2015. 235-255 p.

ALBRECHT, A. J. P.; ALBRECHT, L. P. **Mapeamento da buva (*Conyza spp.*) com resistência a herbicidas**. Comitê de Ação a Resistência aos Herbicidas - HRAC-BR, v. 2, n. 6, p. 1-11, 2021.

ALBRECHT, L. P.; ALBRECHT, A. J. P.; DANILUSSI, M. T. Y.; LORENZETTI, J. B. Métodos de controle de plantas daninhas. *In*: BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. 1. ed. Editora Fábrica da Palavra, 2021. 145-169 p.

ALIEVI, C. **Eficiência de herbicidas de contato e volumes de calda no controle de buva**. 2025. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) - Instituto Federal Goiano, 2025.

ALMEIDA, E. F. B.; VILELA, G. B. O papel da agricultura 4.0 no agronegócio brasileiro. *In*: PAULA, E. M. N.; VILELA, G. B.; CARVALHO, L. A. A. **Agronegócio e produção sucroalcooleira**. 1. ed. Amplia, 2021. 195-206 p.

ALVARENGA, C. B.; ZAMPIRÓLI, R.; CUNHA, J. P. A. R.; RINALDI, P. C. N.; CUNHA, B. A.; FARIA, L. O. Application rate and hydraulic tips used in remotely piloted aircraft affect the phytosanitary products in coffee plant canopies. **Acta Scientiarum**, v. 46, n. 1, e62969, 2024.

ANAC - AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Painel de drones cadastrados**, 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/areas-de-atuacao/aeronaves-1/drones-cadastrados/painel-drones>. Acesso em: 07 mar. 2026.

ANGONESE, P.; SCHAIDHAUER, W.; SULZBACH, E.; TERRA, G. M.; MENEGAT, C.; FERREIRA, E.; MESKISKI, E.; TASCÁ, V.; MEROTTO JUNIOR, A. Eficiência de herbicidas pós-emergentes aplicados com drone. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO (SINTAG), **Anais [...]**, 2022. 316-320 p.

ANTUNIASSI, U. R. Pulverização com desempenho e menor impacto ambiental. **Visão Agrícola**, n. 9, p. 89-92, 2009.

ANTUNIASSI, U. R.; BAILO, F. H. R. Tecnologia de aplicação de agrotóxicos. *In*: VARGAS, L.; ROAMN, E. S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. 2. ed. Embrapa Trigo, 2009. 173-212 p.

ANTUNIASSI, U. R.; CARVALHO, F. K.; MOTA, A. A. B.; CHECHETTO, R. G. Tecnologia de Aplicação: Definição e Princípios Básicos. *In*: ANTUNIASSI, U. R.; CARVALHO, F. K.; MOTA, A. A. B.; CHECHETTO, R. G. **Entendendo a Tecnologia de Aplicação**. 3. ed. Editora FEPAF, 2022. 10-12 p.

ANTUNIASSI, U. R.; CARVALHO, F. K.; MOTA, A. A. B.; CHECHETTO, R. G. Tecnologia de aplicação aérea no controle fitossanitário. **Informe Agropecuário**, v. 42, n. 315, p. 79-100, 2021.

ANTUNIASSI, U. R.; GANDOLFO, M. A. **Inspeção periódica de pulverizadores agrícolas**. 2001. Dissertação (Tese de Doutorado em Ciências Agrônômicas) - Universidade Estadual Paulista, 2001.

ARCOVERDE, S. N. S.; TEZOLIN, G. N.; SANTOS, R. M.; NASCIMENTO, J. M.; SECRETTI, M. L. Diferentes volumes e horários de aplicação de herbicidas no controle de plantas daninhas em cana-de-açúcar. **Scientific Electronic Archives**, v. 17, n. 5, p. 1-8, 2024.

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

BAESSO, M. M.; TEIXEIRA, M. M.; RUAS, R. A. A.; BAESSO, R. C. E. Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. **Revista Ceres**, v. 61, Suplemento, p. 780-785, 2014.

BALAN, M. G.; SAAB, O. J. G. A.; SILVA, C. G. Depósito e perdas de calda em sistema de pulverização com turboatomizador em videira. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 2, p. 470-477, 2006.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. Editora Manole, 2004. 307 p.

BALIHAR, R.; DAHIYA, S. Enhancing agricultural sustainability through integrated weed management. **International Journal of Research in Agronomy**, v. 7, n. 5, p. 87-92, 2024.

BALSAN, R. Impactos decorrentes da modernização da agricultura brasileira. **Campo-Território**, v. 1, n. 2, p. 123-151, 2006.

BARBOSA, B. F. F.; FERREIRA, M. C.; SILVA, J. L.; CAVICHIOLI, F. A.; BERTONHA, R. S.; CUSTÓDIO, A. A. P. Controle de *Ipomoea nil* utilizando ponta centrífuga de pulverização em diferentes volumes de aplicação com e sem adjuvante. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 3, p. 277-290, 2011.

BARROSO, A. A. M.; DALAZEN, G.; NETTO, A. G.; RONCATTO, E.; MALARDO, M. R.; MARKUS, C.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Controle de espécies resistentes ao glifosato. *In*: BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. 1. ed. Editora Fábrica da Palavra, 2021. 392-416 p.

BAYER, T.; ARRUÉ, A.; COSTA, I. F. D.; LENZ, G.; CORADINI, C.; SARI, B. G.; PES, M. P. Aplicação aérea de fungicidas na cultura do arroz irrigado com diferentes bicos de pulverização. **Ciência Rural**, v. 42, n. 12, p. 2185-2191, 2012.

BIFFE, D. F.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S. Interferência das plantas daninhas nas plantas cultivadas. *In*: BRANDÃO FILHO, J. U. T., FREITAS, P. S. L., BERIAN, L. O. S.; GOTO, R., **Hortaliças-fruto**. EDUEM, 2018. 339-355 p.

BLAIX, C., MOONEN, A. C., DOSTATNY, D. F., IZQUIERDO, J., LE CORFF, J., MORRISON, J., WESTERMAN, P. R.; Quantification of regulating ecosystem services provided by weeds in annual cropping systems using a systematic map approach. **Weed research**, v. 58, n. 3, p. 151-164, 2018.

BORNELLI, B. R.; FERREIRA, C. L.; FERREIRA, C. H. S.; CARVALHO, S. J. P. Mistura de herbicidas para controle de buva em pós-emergência nas entrelinhas do cafeeiro. **Revista Agrogeoambiental**, v. 14, e20221656, 2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Portaria nº 298, de 22 de setembro de 2021**. 2021.

BRAUN-BLANQUET, J. **Fitossociologia: bases para el estudio de las comunidades vegetales**. 3. ed. H. Blume, 1979. 820 p.

BUENO, M. R.; ALVES, G. S.; PAULA, A. D. M.; CUNHA, J. P. A. R. Volumes de calda e adjuvante no controle de plantas daninhas com glyphosate. **Planta Daninha**, v. 31, n. 3, p. 705-713, 2013.

BUTTS, T. R.; SAMPLES, C. A.; FRANCA, L. X.; DODDS, D. M.; REYNOLDS, D. B.; ADAMS, J. W.; ZOLLINGER, R. K.; HOWATT, K. A.; FRITZ, B. K.; HOFFMANN, W. C.; KRUGER, G. R. Spray droplet size and carrier volume effect on dicamba and glufosinate efficacy. **Pest Management Science**, v. 74, n. 9, p. 2020-2029, 2018.

CAMPOS, C. F.; MARTINS, D.; RODRIGUES, A. C. P.; CARDOSO, L. A.; SILVA, J. I. C.; COSTA, N. V. Efeito de diferentes herbicidas, doses e volume de calda na dessecação de milheto [*Pennisetum glaucum* (L. Leek)]. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 78, n. 1, p. 63-69, 2011.

CARNEIRO, R. P.; GARCIA, L. C.; DALAZEN, G.; GOMES, J. A.; RAETANO, C. G.; BOLLER, W. Variation of glyphosate spray volume in the drying of ground cover plants with an unmanned aerial vehicle. **Crop protection**, v. 181, e106694, 2024.

CARREIRA, V. S.; LIU, R. S.; LEITE, S. M. M. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. *In*: ALMEIDA, E. I. B.; FERRÃO, G. E. **Fundamentos em biologia e manejo de plantas daninhas**. 1. ed. EDUFMA, 2022. 137-148 p.

CHAIM, A. **Manual de Tecnologia de Aplicação de Agrotóxicos**. 1. ed. Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 49-58 p.

CHAIM, A.; PESSOA, M. C. P. Y. **Método para calibração de pulverizadores utilizados em videiras**. Embrapa Meio Ambiente, 2002. 1-5 p.

CHAIM, A.; PESSOA, M. C. P. Y. Métodos para calibração de pulverizadores. *In*: NASCIMENTO NETO, F. **Recomendações básicas para a aplicação das boas práticas agropecuárias e de fabricação na agricultura familiar**. 1. ed. Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 171-181 p.

CHECHETTO, R. G.; ANTUNIASSI, U. R. Espectro de gotas gerado por diferentes adjuvantes e pontas de pulverização. **Energia na Agricultura**, v. 27, n. 3, p. 130-142, 2012.

CHEN, P.; DOUZALS, J. P.; LAN, Y.; COTTEUX, E.; DELPUECH, X.; POUXVIEL, G.; ZHAN, Y. Characteristics of unmanned aerial spraying systems and related spray drift: a review. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, e870956, 2022.

CIESLIK, L. F.; VIDAL, R. A.; TREZZI, M. M. Fatores ambientais que afetam a eficácia de herbicidas inibidores da ACCase: Revisão. **Planta daninha**, v. 31, n. 2, p. 483-489, 2013.

CONSTANTIN, J. Métodos de manejo *In*: OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. 1. ed. Ominipax, 2011. 77-98 p.

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; OLIVEIRA NETO, A. M.; BLAINSKI, E.; GUERRA, N. Manejo da Buva na Entressafra. *In*: CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; OLIVEIRA NETO, A. M. **Buva: fundamentos e recomendações para manejo**. Editora Ominipax, 2013. 41- 64 p.

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**. EDUEM, 2018. 401-449 p.

CORREIA, N. M. Herbicidas. **Informe Agropecuário**. v. 42, n. 315, p. 48-58, 2021.

COSTA, A. G. F.; MARTIN, D. E.; TORRES, U.; FLOYD, W.; FRITZ, B. K.; STRAW, C. M.; BAGAVATHIANNAN, M. V. Nozzle type and spray volume effects on site-specific herbicide application in turfgrass using a remotely piloted aerial application system. **Weed Technology**, v. 39, n. 43, p. 1-9, 2025.

COSTA, C. C. **Custos e benefícios do uso da pulverização aérea de agrotóxicos na agricultura**. Embrapa Instrumentação, 2017. 22 p.

CREECH, C. F.; HENRY, R. S.; WERLE, R.; SANDELL, L. D.; HEWITT, A. J.; KRUGER, G. R. Performance of postemergence herbicides applied at different carrier volume rates. **Weed Technology**, v. 29, n. 3, p. 611-624, 2015.

CUNHA, J. P. A. R.; ANTUNIASSI, U. R.; CHECHETTO, R. G.; PALHANO, M. G.; OVEJERO, R. F. L.; DEON, A. Use of ultra coarse droplets at different spray volumes to control weeds with dicamba and glyphosate herbicides. **Engenharia Agrícola**, v. 42, n. 4, e20220004, 2022.

CUNHA, J. P. A. R.; FARNESE, A. C.; OLIVET, J. J. Computer programs for analysis of droplets sprayed on water sensitive papers. **Planta Daninha**, v. 31, n. 3, p. 715-720, 2013.

CUNHA, J. P. A. R.; FARNESE, A. C.; OLIVET, J. J.; VILLALBA, J. Deposição de calda pulverizada na cultura da soja promovida pela aplicação aérea e terrestre. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 2, p. 343-351, 2011.

CUNHA, J. P. A. R.; FONSECA, L F.; ALVARENGA, C. B.; LOPES, L. L.; MARTINS FILHO, R. M. S. Spray deposition from an unmanned aerial vehicle on a coffee crop. **Engenharia Agrícola**, v. 44, e20240021, 2024.

CUNHA, J. P. A. R.; FRANÇA, J. A. L.; ALVARENGA, C. B.; ALVES, G. S.; ANTUNIASSI, U. R. Performance of air induction spray nozzle models under different operating conditions. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 6, p. 711-718, 2020.

CUNHA, J. P. A. R.; SILVA, M. R. A. Deposition of spray applied to a soybean crop using an unmanned aerial vehicle. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 4, n. 2, p. 8-13, 2021.

CUNHA, J. P. A. R.; SILVA, M. R. A. Spray deposition from a remotely piloted aircraft on the corn crop. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 54, e20217862, 2023.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, R. F.; FERNANDES, H. C.; COURRY, J. R. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 10, p. 977-985, 2004.

DARIO, I. S. N. **Interação de adjuvantes e do volume de calda na eficiência da aplicação de fungicidas na cultura do arroz irrigado**. 2019. Dissertação (Doutorado em Proteção de Plantas) – Universidade Estadual Paulista, 2019.

DAYAN, F. E.; BARKER, A.; BOUGH, R.; ORTIZ, M.; TAKANO, H.; DUKE, S. O. Herbicide mechanisms of action and resistance. *In*: MOO-YOUNG, M. **Comprehensive biotechnology**. 3. ed. Pergamon, 2019. 36-48 p.

DEDORDI, G. F.; MODOLO, A. J., CARNIELETTO, R.; DAMS, R. O.; TRENTIN, R. G.; MACHADO, F. Avaliação técnica-operacional de pulverizadores de barras na região de Pato Branco-PR. **Acta Iguazu**, v. 3, n. 1, p. 144-155, 2014.

DEUBER, R. **Ciência das plantas infestantes: fundamentos**. 2. ed. FUNEP, 2006. 452 p.

DI OLIVEIRA, J. R. G.; FERREIRA, M. C.; FENÓLIO, L. G. Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários: conceitos básicos. *In*: ARAÚJO, E. S.; VACARI, A. M.; CARVALHO, J. S.; GOULART, R. M.; CAMPOS, A. P.; VOLPE, H. X. L. **Tópicos em Entomologia Agrícola**. 1. ed. Maxicolor Gráfica e Editora Ltda., 2008. 178-185 p.

DJI. **Agras T40**. Disponível em: <https://www.dji.com/br/t40>. Acesso em: 06 mar. 2026.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATIONS OF THE UNITED NATIONS. **Value of agricultural production**. 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QV>. Acesso em: 22 dez. 2025.

FRANS, R.; CROWLEY, H. Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. *In*: CAMPER, N. D. **Research methods in weed science**. 3 ed. Southern Weed Science Society, 1986. 29-46 p.

FUNDAÇÃO ABC. **Agrometeorologia**. 2024. Disponível em: <http://sma.fundacaoabc.org/>. Acesso em: 18 de dezembro de 2024.

GABRIEL, L. G. S.; BARBOSA, T. M.; ARCOVERDE, S. N. S.; NASCIMENTO, J. M.; SECRETTI, M. L. Qualidade de aplicação de fungicida entre pulverizador terrestre e drone na cultura da soja. **Revista Ambientale**, v. 17, n. 1, p. 1-13, 2025.

GABRIEL, R. R. F., BAILO, F. H. R.; Interação entre pressão e tamanho de gota por instrumentação eletrônica em pulverizador pressurizado por CO<sub>2</sub>. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 2, p. 164-169, 2013.

GAIRHE, B.; KANISSERY, R. Evaluation of Liquid CO<sub>2</sub> as a Pressurizing Agent for Effective and Long-Term Pesticide Sprays. **Advances in Crop Science and Technology**, v. 6, n. 6, p. 1-3, 2018.

GARCIA, L. C.; GOMES, R. S.; ROCHINSKI, L. V.; COSMO, G.; SOUZA, N. M.; GOMES, J. A.; RAETANO, C. G.; HUZAR-NOVAKOWISKI, J. Spray nozzles for application of fungicides in common bean. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 6, p. 3659-3676, 2023.

GARCIA, L. C.; RAETANO, C. G.; JUSTINO, A.; PURÍSSIMO, C. Dessecação da aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb) com herbicida de contato, em presença ou não de assistência de ar junto à barra do pulverizador, em diferentes volumes de calda. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 3, p. 758-763, 2004.

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**, v. 2, n. 1, p. 19-28, 2004.

GARCIA, L. C.; JUSTINO, A.; RAMOS, H. H. Análise da pulverização de um fungicida na cultura do feijão, em função do tipo de ponta e do volume aplicado. **Bragantia**, v. 61, n. 3, p. 291-295, 2002.

GASQUES, J. G.; VIEIRA FILHO, J. E. R.; BASTOS, E. T.; BACCHI, M. R. P. Produtividade da agricultura brasileira. **Revista de Política Agrícola**, v. 32, n. 3, p. 133-139, 2023.

GATKAL, N. R.; NALAWADE, S. M.; BHANAGE, G. B.; SAHNI, R. K.; WALUNJ, A. A.; KADAM, P. B.; ALI, M. Review of UAVs for efficient agrochemical spray application. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 18, n. 1, p. 1-9, 2025.

- GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S.; PRETE, C. E. C.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F. **As Plantas Daninhas e a Semeadura Direta**. Embrapa Soja, 2001. 59 p.
- GUEBSI, R.; MAMI, S.; CHOKMANI, K. Drones in Precision Agriculture: A Comprehensive Review of Applications, Technologies, and Challenges. **Drones**, v. 8, n. 11, p. 1-30, 2024.
- HAFEEZ, A.; HUSAIN, M. A.; SINGH, S. P.; CHAUHAN, A.; KHAN, M. T.; KUMAR, N.; CHAUHAN, A.; SONI, S. K. Implementation of drone technology for farm monitoring & pesticide spraying: A review. **Information Processing in Agriculture**, v. 10, n. 2, p. 192-203, 2022.
- HEBELSTRUP, K. H.; AZARIADIS, A.; CORDES, A.; HENRIKSEN, P. S.; BRINCH-PEDERSEN, H. Prehistoric Plant Exploitation and Domestication: An Inspiration for the Science of De Novo Domestication in Present Times. **Plants**, v. 12, n. 12, p. 1-14, 2023.
- HU, P.; ZHANG, R.; YANG, J.; CHEN, L. Development status and key technologies of plant protection UAVs in China: a review. **Drones**, v. 6, n. 11, p. 1-21, 2022.
- HUANG, Z.; WANG, C.; LI, Y.; ZHANG, H.; ZENG, A.; HE, X. Field evaluation of spray drift and nontargeted soybean injury from unmanned aerial spraying system herbicide application under acceptable operation conditions. **Pest Management Science**, v. 79, n. 3, p. 1140–1153, 2023.
- JEEVAN, N.; PAZHANIVELAN, S.; KUMARAPERUMAL, R.; SIVAMURUGAN, A. P.; KANCHETI, M. Drone-assisted herbicide optimization for energy efficiency, weed control and economics in transplanted rice (*Oryza sativa*). **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 94, n. 11, p. 1165-1170, 2024.
- KIM, S. K.; AHMAD, H.; MOON, J. W.; JUNG, S. Y. Nozzle with a Feedback Channel for Agricultural Drones. **Applied Sciences**, v. 11, n. 5, p. 1-14, 2021.
- KISSMANN, K. G.; GROTH, D. **Plantas infestantes e nocivas**. 2. ed. BASF, 1999. 978 p.
- KUMAR, S.; SINGH, M.; SINGH, S. K.; BHULLAR, M. S. Droplet distribution and weed control efficacy of unmanned aerial vehicle sprayer in wheat crop. **Journal of Agricultural Engineering**, v. 59, n. 2, p. 1-15, 2022.
- LAMEGO, F. P.; KASPARY, T. E.; RUCHEL, Q.; GALLON, M.; BASSO, C. J.; SANTI, A. L. Manejo de *Conyza bonariensis* resistente ao glyphosate: coberturas de inverno e herbicidas em pré-semeadura da soja. **Planta Daninha**, v. 31, n. 2, p. 433-442, 2013.
- 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, e116675, 2024.

- LAN, Y.; THOMSON, S. J.; HUANG, Y.; HOFFMANN, W. C.; ZHANG, H. Current status and future directions of precision aerial application for site-specific crop management in the USA. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 74, n. 1, p. 34-38, 2010.
- LAZAROTO, C. A.; FLECK, N. G.; VIDAL, R. A., Biologia e ecofisiologia de buva (*Conyza bonariensis* e *Conyza canadensis*). **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, p. 852-860, 2008.
- LEITE, R. C.; TOMQUELSKI, G. V.; GUAZINA, R. A.; LEAL, A. J. F. Controle químico de *Conyza bonariensis* em dessecação. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 1, n. 2, p. 64-71, 2014.
- LI, X.; GILES, D. K.; ANDALORO, J. T.; LONG, R.; LANG, E. B.; WATSON, L. J.; QANDAH, I. Comparison of UAV and fixed-wing aerial application for alfalfa insect pest control: evaluating efficacy, residues, and spray quality. **Pest Management Science**, v. 77, n. 11, p. 4980-4992, 2021.
- LOPES, L. L.; CUNHA, J. P. A. R.; NOMELINI, Q. S. S. Use of unmanned aerial vehicle for pesticide application in soybean crop. **AgriEngineering**, v. 5, n. 4, p. 2049-2063, 2023.
- LOPES, L. L.; CUNHA, J. P. A. R.; NOMELINI, Q. S. S.; ALVARENGA, C. B. Control of *Urochloa decumbens* using glyphosate applied by remotely piloted aircraft and ground sprayer with different spray nozzles. **Plants**, v. 13, n. 6, p. 1-17, 2024.
- LOPES, M. A.; MARTHA JÚNIOR, G. B. Pathways to sustainability in Brazilian agriculture: technological drivers, governance, and policy linkages. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 77, e101583, 2025.
- LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. 7. ed. Instituto plantarum, 2014. 65-68 p.
- LORENZO, P. Alelopatia. **Ciência Elementar**, v. 13, n. 3, p. 1-27, 2025.
- MACHADO, T. M.; REYNALDO, É. F. Comparação do uso de aplicação aérea e terrestre na qualidade de deposição de produto na cultura da soja. **Enciclopédia Biosfera**, v. 16, n. 29, p. 504-516, 2019.
- MACIEL, C. D. G.; GAZZIERO, D. L. P.; THEISEN, R.; BRIDI, L. G. H.; ADEGAS, F. S. **Tecnologia de aplicação de pesticidas**. Embrapa Soja, 2025. 31 p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. 1. ed. Editora Ceres, 2006. 637 p.
- MARITAN, E.; ANASTASIOU, E.; PSIROUKIS, V.; LOWENBERG-DEBOER, J.; FOUNTAS, S.; BEHRENDT, K. An agroecological assessment of uncrewed aerial vehicle spraying in Greek viticulture. **Agricultural Technology**, v. 10, e100837, 2025.
- MAROUELLI, W. A.; LAGE, D. A. C.; BRAGA, M. B. **Irrigação da cultura do tomateiro orgânico: enfoque no manejo de doenças e de insetos-praga**. 1. ed. Embrapa Hortaliças, 2014. 100-105 p.

- MARTIN, D. E.; LATHEEF, M. A.; LOPEZ JÚNIOR, J. D.; DUKE, S. E. Aerial application methods for control of weed species in fallow farmlands in Texas. **Agronomy**, v. 10, n. 11, p. 10-21, 2020a.
- MARTIN, D. E.; SINGH, V.; LATHEEF, MA; BAGAVATHIANNAN, M. Spray Deposition on Weeds (Palmer Amaranth and Morningglory) from a Remotely Piloted Aerial Application System and Backpack Sprayer. **Drones**, v. 4, n. 59, p. 1-18, 2020b.
- MARTINI, A. T.; SCHLOSSER, J. F.; BOLLER, W.; ROMANO, L. N.; WERNER, V.; RUSSINI, A.; BERTOLLO, G. M.; FARIAS, M. S. Inspeção técnica de pulverizadores agrícolas. *In*: MARTINI, A. T.; SCHLOSSER, J. F.; BOLLER, W.; ROMANO, L. N.; WERNER, V.; RUSSINI, A.; BERTOLLO, G. M.; FARIAS, M. S. **Agronegócio: técnicas, inovação e gestão**. 1. ed. Editora Científica, 2021. 241–257 p.
- MARTINS, J. M. M.; ANDREANI JUNIOR, R. Impactos das plantas daninhas nas culturas agrícolas e seus métodos de controle. **Revista VIDA: Exatas e Ciências da Terra (VIECIT)**. v. 1, n. 2, p. 34-53, 2023.
- MATHIAS, F. P.; ROSA, H. A. Drone de pulverização na cultura do trigo: impacto da altura de voo e da taxa de aplicação na deposição de gotas. **Cultivando o Saber**, v. 18, p. 151-159, 2025.
- MATTHEWS, G. A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. Gotículas de pulverização. *In*: MATTHEWS, G. A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. **Métodos de aplicação de defensivos agrícolas**. 4. ed. Wiley Blackwell, 2016. 129-171 p.
- MATTHEWS, G.A. **Pesticides: health safety and the environment**. 2. ed. Wiley Blackwell, 2015. 296 p.
- MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. 1. ed. Editora FUNEP, 1990. 139 p.
- MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. 1. ed. Editora UNESP, 2010. 567 p.
- MEIRELLES, L. A.; VEIGA, M. M.; DUARTE, F. A contaminação por agrotóxicos e o uso de EPI: análise de aspectos legais e de projeto. **Laboreal**, v. 12, n. 2, p. 75-82, 2016.
- MENEGHEL, B. C. P.; ROHDE, E. H.; RABAIOLI, F. D.; MULLER, A. L. Avaliação de diferentes pontas e volumes de pulverização na aplicação de fungicida no milho. **Cultivando o Saber**, v. 14, n. 2, p. 95-107, 2021.
- MILLER, P. Deriva de pulverização. *In*: MATTHEWS, G. A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. **Métodos de aplicação de defensivos agrícolas**. 4. ed. Wiley Blackwell, 2016. 417-449 p.
- MIRANDA, J. E.; MARUYAMA, L. C. T.; FERNANDES, M. G.; TIMOSSI, P. C.; FERREIRA, M. C. **Deriva de produtos fitossanitários na cultura do algodão: causas e prevenção**. Embrapa Algodão, 2010. 32 p.

MODI, R. U.; KANCHETI, M.; SINGH, V. P.; SINGH, A. K.; SINGH, M. K.; VISWANATHAN, R.; SINGH, D. Dynamics of spray deposition pattern with UAV-based herbicide application for effective weed management in sugarcane crop. **Pest Management Science**, v. 82, n. 5, p. 1-15, 2026.

MORAES, J. G.; BUTTS, T. R.; ANUNCIATO, V. M.; LUCK, J. D.; HOFFMANN, W. C.; ANTUNIASSI, U. R.; KRUGER, G. R. Nozzle selection and adjuvant impact on the efficacy of glyphosate and PPO-inhibiting herbicide tank-mixtures. **Agronomy**, v. 11, n. 4, p. 1-13, 2021.

MOREIRA, M. S.; MELO, M. S. C.; CARVALHO, S. J. P.; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Herbicidas alternativos para o controle de biótipos de *Conyza bonariensis* e *C. canadensis* resistentes ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v. 28, n. 1, p. 167-175, 2010.

MOREIRA, M. S.; NICOLAI, M.; CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Resistência de buva (*Conyza canadensis* e *Conyza Bonariensis*) ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 157-164, 2007.

MOSS, S. Integrated weed management: Why are farmers reluctant to adopt non-chemical alternatives to herbicides? **Pest Management Science**, v. 75, n. 5, p. 1205-1211, 2019.

NICHOLLS, C. I.; ALTIERI, M. A. Plant biodiversity enhances bees and other insect pollinators in agroecosystems. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, n. 2, p. 257-274, 2013.

NINKOVIC, V.; GLINWOOD, R.; DAHLIN, I. Weed-barley interactions affect plant acceptance by aphids in laboratory and field experiments. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 133, n. 1, p. 38-45, 2009.

NUNES, A. L.; TREZZI, M. M.; DEBASTIANI, C. Manejo integrado de plantas daninhas na cultura do milho. **Bragantia**, v. 69, n. 2, p. 299-304, 2010.

OLIVEIRA NETO, F. F.; SANTOS, T. D.; ALBERNAZ, A. F.; LIMA, J. R. M.; PEIXOTO, C. A. Drones na agricultura: vantagens para uma produção mais eficiente e sustentável. **Revista Científica Faculdade Atenas**, v. 17, n. 1, p. 1-11, 2024.

OLIVEIRA, A.J.; SILVA, G. F.; SILVA, G. R.; SANTOS, A. A. C.; CALDEIRA, D. S. A.; VILARINHO, M. K. C.; BARELLI, M. A. A.; OLIVEIRA, T. C. Potencialidades da utilização de drones na agricultura de precisão. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 64140-64149, 2020.

OLIVEIRA, J. R. G.; FERREIRA, M. C.; ROMÁN, R. A. A. Diferentes diâmetros de gotas e equipamentos para aplicação de inseticida no controle de *Pseudoplusia includens*. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1, p. 93-98, 2010.

OLIVEIRA, L. S.; GRIGOLO, C. R.; PERTILLE, R. H.; MODOLO, A. J.; CAMPOS, J. R. R.; ELIAS, A. R.; CITADIN, I. Aerial spraying for downy mildew control in grapevines using a remotely piloted aircraft. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 46, n. 1, p. 1-11, 2024.

OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M. **Controle de Plantas Daninhas: Métodos físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatia**. 1. ed. Embrapa Milho e Sorgo, 2018. 20-25 p.

OLIVEIRA, T.; BRUNHARO, C. A. C. G. Resistência de Plantas Daninhas a Herbicidas Inibidores da Glutamina Sintetase (GS) (grupo H). *In*: CHRISTOFFOLETI P. J.; NICOLAI M. **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 4. ed. ESALQ, 2016. 193-206 p.

ÖNLER, E.; ÖZYURT, H. B.; ŞENER, M.; ARAT, S.; EKER, B.; ÇELEN, İ. H. Spray characterization of an unmanned aerial vehicle for agricultural spraying. **Philippine Agricultural Scientist**, v. 106, n. 1, p. 39-46, 2023.

PAUL, R. A. I.; PALANISAMY, M. A.; PERAMAIYAN, P.; KUMAR, V.; BAGAVATHIANNAN, M.; GURJAR, B.; VIJAYAKUMAR, S.; DJANAGUIRAMAN, M.; PAZHANIVELAN, S.; RAMASAMY, K. Spray volume optimization with UAV-based herbicide application for effective droplet deposition and weed control in direct-seeded rice. **Frontiers in Agronomy**, v. 6, e1491842, 2024.

PAUL, S. K.; MAZUMDER, S.; NAIDU, R. Herbicidal weed management practices: History and future prospects of nanotechnology in an eco-friendly crop production system. **Heliyon**, v. 10, n. 5, p. 1-14, 2024.

PERES, A. J. A.; RAETANO, C. G.; BAIIO, F. H. R.; NEVES, D. C.; CAVALIERI, J. D. Pulverização em taxa variada na cultura do algodão. **Energia na Agricultura**, v. 35, n. 1, p. 18-28, 2020.

PESSETTI, M. Modernização da agricultura e seus desdobramentos no espaço agrário. **Geografia em Atos**, v. 5, n. 1, p. 1-26, 2021.

PIASECKI, C. Absorção e translocação: introdução à fisiologia dos herbicidas. *In*: PIASECKI, C. **Como funcionam os herbicidas**. 1. ed. Metrics, 2024. 31-52 p.

PITELLI, R. A. O termo planta-daninha. **Planta Daninha**, v. 33, n. 3, p. 622-623, 2015.

PRANASWI, D.; JAGTAP, M. P.; ASEWAR, B. V.; GOKHALE, D. N.; SHINDE, G. U. Weed control efficiency with herbicide application by the combination of drone and knapsack sprayer in wheat (*Triticum aestivum* L.). **The Pharma Innovation Journal**, v. 11, n. 1, p. 741-744, 2022.

QINGQING, Z.; XINYU, X.; WEICAI, Q.; CHEN, C.; LIANGFU, Z. Optimization and test for structural parameters of UAV spraying rotary cup atomizer. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 3, p. 78-86, 2017.

QUAN, C.; ZHANG, J.; FENG, X.; ZHANG, H.; YANG, M.; ZHU, Z.; HE, X.; WANG, C. Spray Deposition and Weed Control Efficacy of a Real-Time Variable-Rate Boom Sprayer Applying Herbicide at Reduced Doses in Summer Maize Fields. **Agronomy**, v. 15, n. 8, p. 91-95, 2025.

RAETANO, C.G. Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. *In*: ANTUNIASSI, U. R.; BOOLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2. ed. Aldeia Norte, FEPAF, 2019. 5-30 p.

RAMOS, H. H. Interação do produto e alvo na pulverização. **Visão Agrícola**, v. 1, n. 2, p. 112-116, 2004.

RIBEIRO, L. F. O.; RIBEIRO, J. V. O.; VITÓRIA, E. L. Efeito de diferentes taxas de aplicação utilizando aeronave remotamente pilotada na cultura da melancia. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 28, n. 2, p. 36-43, 2025.

RODRIGUES, E. B.; SAAB, O. J. G. A.; GANDOLFO, M. A. Cana-de-açúcar: avaliação da taxa de aplicação e deposição do herbicida glifosato. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 1, p. 90-95, 2011.

RUPPENTHAL, J. G. **Eficiência na deposição de gotas com uso de drone pulverizador em diferentes alturas de voo e taxas de aplicação na cultura do milho (*Zea mays*)**. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2024.

SANDMANN, A.; SANDMANN, A. F. M. T.; SCHENATTO, K.; STAUDT, M. E.; FLÓREZ, H. A. R.; MARCILIO, R. H. Comparação da eficiência de pulverização agrícola: drones versus pulverizadores terrestres. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 16, n. 11, p. 1-15, 2025.

SANTOS, G. **Resistência múltipla ao glyphosate e ao chlorimuron-ethyl em biótipos de *Conyza sumatrensis***. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Maringá, 2012.

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.

SCHNEIDER, T.; MICHELON, F.; BORTOLOTTI, R. P.; CAMERA, J. N.; MACHADO, J. M.; KOEFENDER, J. Controle químico de buva em dessecação pré-semeadura da soja. **Weed Control Journal**, v. 21, e202200766, 2022.

SEIBT, T. A.; BOLLER, W.; ULGUIM, A. R.; AVILA NETO, R. C.; LOPES, L. L.; MELO, A. A. Herbicide floryrauxifen-benzyl via drone with different nozzles and spray volumes for weed control in rice crops. **Ciência Rural**, v. 55, n. 7, p. 1-37, 2025.

SENA, M. F. S.; SILVEIRA JÚNIOR, O.; LIMA, Í. C. S.; DOTTO, M. C.; SANTOS, A. C. Variabilidade espacial de plantas daninhas em áreas sob diferentes usos agrícolas. **Revista Sítio Novo**, v. 5, n. 4, p. 21-36, 2021.

SERAFIM, M. P.; ARCOVERDE, S. N. S.; NASCIMENTO, J. M.; SECRETTI, M. L. Avaliação de quatro volumes de calda usados para aplicação de fungicidas na cultura da soja. **Revista Sítio Novo**, v. 9, e1697, 2025.

- SHAN, C.; WANG, G.; WANG, H.; XIE, Y.; WANG, H.; WANG, S.; CHEN, S.; LAN, Y. Effects of droplet size and spray volume parameters on droplet deposition of wheat herbicide application by using UAV. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 14, n. 1, p. 74-81, 2021.
- SHIVARAJA, K. A.; PARAMESWARAMURTHY, D. Design and development of wheel and pedal operated sprayer. **International Journal of Mechanical Engineering**, v. 2, n. 6, p. 1-6, 2014.
- SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; SANTOS, J. B. Métodos de controle de plantas daninhas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. 1. ed. Editora UFV, 2007. 63-83 p.
- SILVA, G. P.; SILVA, P. V.; MILHORANÇA, B. G.; MEDEIROS, E. S.; SCHEDENFELDT, B. F.; SALMAZO, P. A. V.; MONTEIRO, M. S.; MAUAD, M.; MONQUERO, P. A.; DIAS, R. D. C.; BICALHO, C. C. Influence of spray volume on the control of *Conyza* spp. in soybean pre-sowing with burndown. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, e284127, 2024.
- SILVA, J. E.; SILVA, W. H. B.; FERRAZ, M. A. J.; MENEZES, E. A. S.; COSTA, O. P.; INÁCIO, F. D.; BARBOZA, T. O. C.; MELO, C. A. D.; CARVALHO, G. R.; SANTOS, A. F. Impact of spray volume and flight speed on the efficiency of drone applications in coffee plants of different ages. **Smart Agricultural Technology**, v. 9, e100694, 2024.
- SOARES, R. M.; SCHRÖDER, E. P. **Uso de drones agrícolas no Brasil: da pesquisa à prática**. Embrapa Soja, 2025. 83 p.
- SOUZA, L. A.; CUNHA, J. P. A. R.; PAVANIN, L. A. Deposição do herbicida 2,4-D amina com diferentes volumes e pontas de pulverização em plantas infestantes. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 1, p. 78-85, 2012.
- STILES II, B.; SPRAGUE, C. Effect of carrier volume on waterhemp control with a drone. **Proceedings of the North Central Weed Science Society**, v. 79, n. 1, p. 1-18, 2024.
- TAKANO, H. K.; BEFFA, R.; PRESTON, C.; WESTRA, P.; DAYAN, F. E. Physiological factors affecting uptake and translocation of glufosinate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 68, n. 10, p. 3026-3032, 2020.
- TAKANO, H. K.; DAYAN, F. E. Biochemical basis for the time-of-day effect on glufosinate efficacy against *Amaranthus palmeri*. **Plants**, v. 10, n. 10, p. 1-9, 2021.
- TAKANO, H. K.; PATTERSON, E. L.; NISSEN, S. J.; DAYAN, F. E.; GAINES, T. A. Predicting herbicide movement across semi-permeable membranes using three phase partitioning. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 159, p. 22-26, 2019.
- TAKANO, H. K.; DAYAN, F. E. Glufosinate-ammonium: a review of the current state of knowledge. **Pest Management Science**, v. 76, n. 12, p. 3911-3925, 2020.
- TAKANO, H. K.; Herbicidas inibidores da enzima glutamina sintetase (GS). In: PIASECKI, C. **Como funcionam os herbicidas**. 1. ed. Metrics, 2024. 31-52 p.

TALAEIZADEH, A.; SHARIFI, I.; ALASTY, A.; GHATREHSAMANI, S. Agricultural spraying drones: a comprehensive review. **Smart Agricultural Technology**, v. 12, e101519, 2025.

TEEJET. **Spray products**. TeeJet, 2023. 204 p.

TROGELLO, E.; FAUSTINO, L. L. Tecnologia de aplicação e a maior eficiência de controle de plantas daninhas. *In*: COSTA, L. L.; POLANCZYK, R. A. **Tecnologia de aplicação de caldas fitossanitárias**. 1. ed. Funep, 2019. 119-134 p.

VALENCIA-GREDILLA, F.; SUPICICHE, M. L.; CHANTRE, G. R.; RECASENS, J.; ROYO-ESNAL, A. Germination behaviour of *Conyza bonariensis* to constant and alternating temperatures across different populations. **Annals of Applied Biology**, v. 176, n. 1, p. 36-46, 2020.

VANHIE, T. R.; TARDIF, F. J.; SMITH, P.; VAZAN, S.; COWBROUGH, M.; SWANTON, C. J. An integrated weed management strategy for the control of horseweed (*Conyza canadensis*). **Weed Science**, v. 69, n. 1, p. 119-127, 2021.

VARGAS, L.; BIANCHI, M.A.; RIZZARDI M.A.; AGOSTINETTO, D.; DAL MAGRO, T. Buva (*Conyza bonariensis*) resistente ao glyphosate na região sul do Brasil. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 573-578, 2007.

VASCONCELOS, M. C. C.; SILVA, A. F. A.; LIMA, R. S. Interferência de plantas daninhas sobre plantas cultivadas. **Agropecuária Científica no Semi-Árido – ACSA**, v. 8, n. 1, p. 1-6, 2012.

VERONEZI, P. R. M.; DELGADO, J. F. O. Tecnologia de aplicação de agroquímicos e sua influência na produtividade e sustentabilidade da agricultura brasileira. **Observatório de la economía latinoamericana**, v. 23, n. 11, p. 11-23, 2025.

VITÓRIA, E. L.; KROHLING, C. A.; BORGES, F. R. P.; RIBEIRO, L. F. O.; RIBEIRO, M. E. A.; CHEN, P.; LAN, Y.; WANG, S.; MORAES, H. M. F.; FURTADO JÚNIOR, M. R. Efficiency of fungicide application using an unmanned aerial vehicle and pneumatic sprayer for control of *Hemileia vastatrix* and *Cercospora coffeicola* in mountain coffee crops. **Agronomy**, v. 13, n. 2, p. 1-18, 2023.

WANG, G.; HAN, Y.; LI, X.; ANDALORO, J.; CHEN, P.; HOFFMANN, W. C.; 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**, v. 737, e139793, 2020b.

WANG, G.; LAN, Y.; QI, H.; CHEN, P.; HEWITT, A.; HAN, Y. Field evaluation of an unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: effect of spray volume on deposition and the control of pests and disease in wheat. **Pest Management Science**, v. 75, n. 6, p. 1546-1555, 2019.

WANG, G.; LI, X.; ANDALORO, J.; CHEN, P.; SONG, C.; SHAN, C.; CHEN, S.; LAN, Y. Deposition and biological efficacy of UAV-based low-volume application in rice fields. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 3, n. 2, p. 65-72, 2020a.

WHITFORD, F.; SINHA, R.; LATORRE, D. O.; YOUNG, B.; OZKAN, E.; PEARSON, S.; OBERMEYER, J.; SMITH, K. L. **Agricultural spray nozzles: a comprehensive review**. 1. ed. Purdue Pesticide Programs, p. 34-36, 2024.

WU, H.; WALKER, S. Fleabane biology and control. *In*: WALKER, S.; WIDDERICK, M.; WU, H. **Proceedings of Fleabane Workshop**. Queensland DPI, 2004. 5-6 p.

YAMASHITA, O. M.; GUIMARÃES, S. C. Germinação de sementes de *Conyza canadensis* e *Conyza bonariensis* em diferentes condições de temperatura e luminosidade. **Planta Daninha**, v. 29, n. 2, p. 333-342, 2011.

ZAMPIRÓLI, R.; ALVARENGA, C. B. D.; PARENTI, M. V.; CUNHA, J. P. A. R. D.; CELOTO, F. J.; RINALDI, P. C. N.; SASAKI, R. S. Tecnologia de aplicação para deposição de gotas em folhas e frutos de café. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 51, e66806, 2021.

ZHENG, Y.; YANG, S.; LIU, X.; WANG, J.; NORTON, T.; CHEN, J.; TAN, Y. The computational fluid dynamic modeling of downwash flow field for a six-rotor UAV. **Frontiers of Agricultural Science and Engineering**, v. 5, n. 2, p. 159-167, 2018.

ZHOU, Q.; ZHANG, S.; XUE, X.; CAI, C.; WANG, B. Performance evaluation of UAVs in wheat disease control. **Agronomy**, v. 13, n. 8, p. 1-13, 2023.

## ANEXO A. RESUMO EAIC



XXXIV Encontro Anual de Iniciação Científica  
XI Encontro Anual de Iniciação Científica Júnior

## VOLUMES DE CALDA NA PULVERIZAÇÃO DE HERBICIDA COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) PARA O CONTROLE DE BUVA

Luiz Eduardo Martincoski (PIBIC/CNPq), Luiz Cláudio Garcia (Orientador), e-mail: [lcgarcia@uepg.br](mailto:lcgarcia@uepg.br).

Universidade Estadual de Ponta Grossa / Departamento de Ciências do Solo e Engenharia Agrícola

Ciências Agrárias, Agronomia, Fitotecnia, Mecanização agrícola.

Palavras-Chave: *Coryza bonariensis*, tecnologia de aplicação, pulverização terrestre, drone.

### Resumo

O objetivo com o trabalho foi definir o melhor volume de calda na pulverização de herbicida com veículo aéreo não tripulado (VANT – drone) para o controle da buva (*Coryza bonariensis*). Entre os volumes aplicados pelo VANT - de 05 a 25 L ha<sup>-1</sup> - a porcentagem de plantas de buva controladas foi semelhante nos tratamentos em todas as análises.

### Introdução

A buva é uma das espécies de plantas daninhas mais desafiadoras quanto ao controle em todo o mundo. Dentre as estratégias no manejo integrado das plantas daninhas está o controle por herbicidas, que pode ser pulverizado por veículos aéreos não tripulados (VANT), apelidados de “drones” (HAFEEZ et al., 2022).

### Material e Métodos

Para definir o melhor volume de calda na pulverização de herbicida com VANT no controle da buva, definiu-se o delineamento experimental em blocos aleatorizados, com sete tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos consistiram no controle (sem pulverização de herbicidas), aplicação com pulverizador terrestre de barras com volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup> e pulverização com VANT nos volumes de 05, 10, 15, 20 e 25 L ha<sup>-1</sup>.

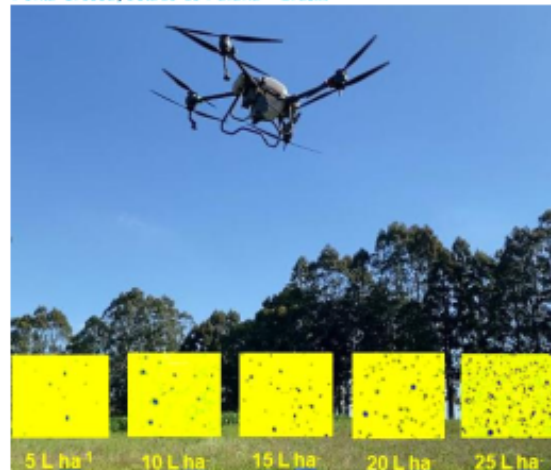
As variáveis analisadas foram a qualidade da pulverização e a porcentagem de controle da buva. Os dados registrados foram submetidos aos testes de Bartlett, para verificação da homocedasticidade das variâncias, Shapiro-Wilk, para examinar a normalidade, independência dos erros pelo teste de Durbin-Watson, análise de variância por Fisher-Snedecor, comparação de médias por Dunnett e regressão polinomial; sendo 95% o intervalo de confiança.

### Resultados e Discussão

Todas as variáveis determinadas em cartão hidrossensíveis diferiram significativamente entre a pulverização terrestre e aérea. Verificando somente os impactos das gotas em cartões hidrossensíveis para a

pulverização com VANT verificou-se elevação linear com o aumento do volume para área coberta, volume recuperado e densidade; sendo indiferente o potencial risco de deriva e amplitude relativa (Figura 1). A porcentagem do controle da buva nas parcelas pulverizadas foi significativamente maior que sem aplicação de herbicida. Não houve distinção entre as eficiências das pulverizações terrestre e aérea em todas as avaliações. Entre os volumes aplicados pelo VANT a porcentagem de plantas de buva controladas foi semelhante nos tratamentos em todas as análises.

Figura 1. Veículo aéreo não tripulado (VANT - drone) na pulverização de herbicida com ação de contato para o controle de buva (*Coryza bonariensis*) com volumes crescentes de calda, 2024, município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil.



### Conclusão

Entre os volumes aplicados pelo VANT a porcentagem de plantas de buva controladas foi semelhante nos tratamentos em todas as análises.

### Agradecimentos

À UEPG e a CNPq.

HAFEEZ, A. et al. Implementation of drone technology for farm monitoring & pesticide spraying: A review. *Information Processing in Agriculture*, v.01, p.01-12, 2022.

## ANEXO B. CERTIFICADO EAIC



XXXIV Encontro Anual  
de Iniciação Científica  
XI Encontro Anual de  
Iniciação Científica Júnior

## CERTIFICADO

Certificamos que o trabalho **VOLUMES DE CALDA NA PULVERIZAÇÃO DE HERBICIDA COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) PARA O CONTROLE DE BUVA**, foi apresentado por **LUIZ EDUARDO MARTINCOSKI**, sob a orientação do(a) Prof<sup>o</sup>. **LUIZ CLAUDIO GARCIA**, no XXXIV Encontro Anual de Iniciação Científica e XI Encontro Anual de Iniciação Científica Júnior, realizado nos dias 04, 05 e 06 de novembro de 2025, na Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Ponta Grossa, novembro de 2025.




---

**Prof. Dr. Barbara Celânia Fiorin**  
Coordenadora do XXXIV EAIC e XI EAIC  
JR




---

**Prof. Dr. Renê Francisco Hellman**  
Pró-reitor de Pesquisa e Pós-graduação

REALIZAÇÃO:



Pode ser visualizado em [http://waitev.appi.uepg.br/pr\\_BR/certificado/0b35e06655815454a10f5e6ab8c478ff](http://waitev.appi.uepg.br/pr_BR/certificado/0b35e06655815454a10f5e6ab8c478ff) - Gerado em 01/12/2025 10:36