

LUCAS DA SILVA LOPES

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA E SEGURANÇA OPERACIONAL NA
PULVERIZAÇÃO DE DICAMBA**

Botucatu

2026

LUCAS DA SILVA LOPES

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA E SEGURANÇA OPERACIONAL NA
PULVERIZAÇÃO DE DICAMBA**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Proteção de Plantas

Orientador: Prof. Dr. Carlos Gilberto
Raetano

Botucatu

2026

L864e Lopes, Lucas da Silva
Eficiência agronômica e segurança operacional na
pulverização de dicamba / Lucas da Silva Lopes. -- , 2026
77p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu,
Orientador: Carlos Gilberto Raetano

1. Tecnologia de aplicação. 2. Herbicidas. 3. Pontas de
pulverização. 4. Descontaminação. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: EFICIÊNCIA AGRONÔMICA E SEGURANÇA OPERACIONAL NA PULVERIZAÇÃO DE DICAMBA

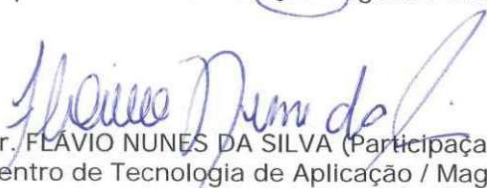
AUTOR: LUCAS DA SILVA LOPES

ORIENTADOR: CARLOS GILBERTO RAETANO

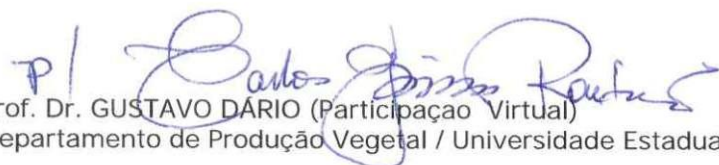
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Proteção de Plantas), pela Comissão Examinadora:



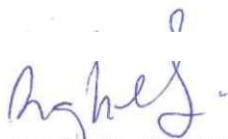
Prof. Dr. CARLOS GILBERTO RAETANO (Participação Presencial)
Departamento de Proteção Vegetal / UNESP / Câmpus de Botucatu - FCA



Dr. FLÁVIO NUNES DA SILVA (Participação Presencial)
Centro de Tecnologia de Aplicação / MagnoJet



Prof. Dr. GUSTAVO DÁRIO (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / Universidade Estadual do Norte do Paraná



Pesquisador Dr. RAPHAÉL MEREB NEGRISOLI (Participação Presencial)
AquaPlant Pesquisa Desenvolvimento e Inovação



Dr. LUCIANO DEL BEM JÚNIOR (Participação Presencial)
UPL Campo Mourão/SP

Botucatu, 06 de março de 2026.

À minha amada esposa Gasmin

e à minha filha Morgana,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que me deu saúde e proteção ao longo dessa jornada.

À minha esposa Dra. Iasmin Calaça, por ser minha inspiração, mostrando que o caminho do doutorado não é fácil, mas vale a pena.

À minha filha Morgana Calaça, por iluminar meus dias com seu sorriso inocente.

À minha mãe Silvania, por ser uma inspiração de vida, de garra e de honestidade.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Carlos Gilberto Raetano, por ser um grande exemplo de profissional ao qual tento sempre me espelhar.

Aos amigos do PROTEC, que permitiram que esse trabalho saísse do papel e, principalmente, facilitaram minha caminhada longe da minha terra natal.

A todos os professores e funcionários da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP de Botucatu.

As empresas MagnoJet, Bayer, Solcera e BRANDT por disponibilizarem os produtos utilizados neste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001.

*Tired of lying in the sunshine
Staying home to watch the rain.
And you are young and life is long
And there is time to kill today.
And then one day you find
Ten years have got behind you.
No one told you when to run,
You missed the starting gun.*

Pink Floyd – Time, The Dark Side of The Moon (1973)

RESUMO

O presente trabalho permitiu integrar experimentos conduzidos em campo, análises físicas do espectro de gotas em laboratório e testes práticos de descontaminação de tanque, com os objetivos de avaliar a eficiência agrônômica no controle de espécies de plantas daninhas e sua relação com o espectro de gotas das pontas, bem como a eficácia da limpeza do tanque de pulverização pós-aplicação da mistura de herbicidas na cultura da soja. Em campo foram conduzidos dois experimentos em áreas distintas, na safra de soja 2023/24, cultivar BRS 2553XTD, no delineamento experimental em blocos casualizados utilizando dois modelos de pontas de pulverização com indução de ar (MUG 110015 e a AVI-UC 11002) combinados a três taxas de aplicação (86, 96 e 106 L ha⁻¹) da mistura Xtendicam® (Dicamba – 1 L p.c. ha⁻¹); Roundup® Transorb R (Glifosato – 2 L p.c. ha⁻¹) e XtendProtect 2® (Adjuvante - 1% v.v⁻¹), além de um tratamento com capina manual e um tratamento testemunha, totalizando oito tratamentos, visando o controle das espécies *Bidens pilosa*, *Alternanthera tenella*, *Raphanus raphanistrum* e *Ipomoea purpurea*. Em laboratório, foi avaliado o espectro de gotas dos tratamentos realizados a campo utilizando a mistura dos herbicidas com o adjuvante. Os resultados demonstraram que todas as espécies foram eficientemente controladas por todos os tratamentos, sem variações significativas entre pontas ou taxas ao final do experimento. De forma geral, a ponta MUG 110015 destacou-se com um desempenho superior em variáveis como diâmetro mediano volumétrico, menor fração de gotas finas e amplitude relativa, indicando menor potencial risco de deriva. Adicionalmente, um experimento foi conduzido visando avaliar a eficiência de diferentes produtos de limpeza do sistema hidráulico de pulverizadores agrícolas após a aplicação da mistura Xtendicam® (Dicamba – 1 L p.c. ha⁻¹); Roundup® Transorb R (Glifosato – 2 L p.c. ha⁻¹) e XtendProtect 2® (Adjuvante - 1% v.v⁻¹), incluindo os produtos TP Agro Tank®, Six Clean®, BRANDT Equipment Cleaner® e Show Clean®, além de um tratamento testemunha apenas com água, todos submetidos a tríplice lavagem. A calda residual proveniente desses procedimentos foi aplicada em plantas de soja suscetíveis ao dicamba, utilizadas como bioindicadoras para simular um ambiente mais próximo do real. Após a aplicação das caldas provenientes da lavagem do sistema hidráulico do pulverizador, não foram observados sintomas de fitotoxicidade em nenhum dos tratamentos, evidenciando que a tríplice lavagem é eficiente na remoção de resíduos biologicamente ativos para a cultura da soja, mesmo

na ausência dos produtos de limpeza, e constitui prática fundamental para a mitigação do risco de contaminação cruzada com dicamba.

Palavras-chave: pontas de pulverização; taxa de aplicação; espectro de gotas; tríplice lavagem.

ABSTRACT

This study enabled the integration of field experiments, laboratory analyses of droplet size spectrum and practical tank decontamination tests. Therefore, the objectives were to evaluate agronomic efficiency in the control of weed species and its correlation with the droplet spectrum produced by spray nozzles as well as the effectiveness of spray tank cleaning after the application of herbicide mixture in soybean crops. Two field experiments were conducted in distinct areas during the 2023/24 soybean growing season, using the cultivar BRS 2553XTD. The experimental design was a randomized complete block design, employing two air-induction spray nozzles models (MUG 110015 and AVI-UC 11002) combined with three application rates (86, 96, and 106 L ha⁻¹) of the mixture XtendiCam® (dicamba – 1 L c.p. ha⁻¹); Roundup® Transorb R (glyphosate – 2 L c.p. ha⁻¹); and XtendProtect 2® (adjuvant – 1% v/v). Additionally, one hand-weeded treatment and one untreated control were included, totaling eight treatments, targeting the control of the weed species *Bidens pilosa*, *Alternanthera tenella*, *Raphanus raphanistrum*, and *Ipomoea purpurea*. Under laboratory conditions, the droplet spectrum of the treatments applied in the field was evaluated using the herbicide mixture combined with the adjuvant. The results demonstrated that all species were efficiently controlled by all treatments, with no significant differences observed between nozzle types or application rates in the end of the experiment. Overall, the MUG 110015 nozzle stood out with superior performance in variables such as volumetric median diameter, lower fraction of fine droplets, and relative span, indicating a reduced potential risk of drift. Additionally, an experiment was conducted to evaluate the efficiency of different cleaning agents for the hydraulic system of agricultural sprayers following the application of the mixture XtendiCam® (dicamba – 1 L c.p. ha⁻¹); Roundup® Transorb R (glyphosate – 2 L c.p. ha⁻¹); and XtendProtect 2® (adjuvant – 1% v/v). The evaluated products included TP Agro Tank®, Six Clean®, BRANDT Equipment Cleaner®, and Show Clean®, along with a control treatment using only water, all subjected to triple rinsing.

The residual solution obtained from these procedures was applied to soybean plants susceptible to dicamba, used as bioindicators to simulate a more realistic scenario. After application of the rinsates from the sprayer cleaning process, no phytotoxicity symptoms were observed in any of the treatments. These results demonstrate that triple rinsing is effective in removing biologically active residues for soybean crops,

even in the absence of cleaning agents, and constitutes a fundamental practice for mitigating the risk of cross-contamination with dicamba.

Keywords: spray nozzles; application rates; droplet size spectrum; triple rinsing.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	17
CAPÍTULO 1 – EFICIÊNCIA DE CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS E ESPECTRO DE GOTAS EM FUNÇÃO DE PONTAS COM INDUÇÃO DE AR E TAXAS DE APLICAÇÃO EM MISTURA DE DICAMBA E GLIFOSATO NA CULTURA DA SOJA	21
1.1 INTRODUÇÃO.....	23
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
1.2.1 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS.....	26
1.2.2 LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLÓGICO.....	27
1.2.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	27
1.2.4 APLICAÇÃO.....	30
1.2.5 SEMEADURA.....	31
1.2.6 EFICÁCIA DE CONTROLE.....	32
1.2.7 ANÁLISE DO ESPECTRO DE GOTAS.....	32
1.2.8 ANÁLISE DOS DADOS.....	35
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
1.3.1 CONTROLE DAS PLANTAS DANINHAS.....	35
1.3.2 ESPECTRO DE GOTAS.....	45
1.4 CONCLUSÃO.....	48
REFERÊNCIAS	50
CAPÍTULO 2 – DESCONTAMINAÇÃO DO CIRCUITO HIDRÁULICO DO PULVERIZADOR PÓS-APLICAÇÃO DO HERBICIDA DICAMBA	55
2.1 INTRODUÇÃO.....	57
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	61
2.2.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	61
2.2.2 PREPARO DA CALDA E APLICAÇÃO INICIAL.....	61
2.2.3 PROCEDIMENTO DE LIMPEZA DO PULVERIZADOR.....	63

2.2.4	APLICAÇÃO DA CALDA RESIDUAL E BIOENSAIO.....	64
2.2.5	AVALIAÇÃO DOS SINTOMAS DE FITOTOXICIDADE.....	66
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	67
2.3.1	FITOTOXICIDADE.....	67
2.3.2	LIMITAÇÕES DO BIOENSAIO E SENSIBILIDADE DO MÉTODO.....	69
2.4	CONCLUSÃO.....	70
	REFERÊNCIAS.....	71
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
	REFERÊNCIAS.....	75

INTRODUÇÃO GERAL

No contexto da agricultura brasileira, a soja [*Glycine max* (L.) Merrill] ocupa posição central em termos de área cultivada e volume de produção, abrangendo aproximadamente 47,35 milhões de hectares e alcançando produção estimada de 171 milhões de toneladas na safra 2024/2025, resultando em uma produtividade média de 3.621 kg ha⁻¹ (CONAB, 2025). Este cenário evidencia o potencial significativo da sojicultura para o crescimento econômico do país, ressaltando a necessidade de otimizar a eficácia das práticas de cultivo para maximizar a produtividade desta cultura. Contudo, a presença de problemas fitossanitários, especialmente as plantas daninhas, representa um desafio considerável, demandando estratégias eficazes de controle para mitigar impactos negativos na produtividade.

O controle químico por meio do uso de herbicidas continua sendo o método predominante para o manejo de plantas daninhas nas lavouras (Cunha *et al.*, 2011). No entanto, a resistência das plantas daninhas aos herbicidas tem se tornado uma preocupação crescente. A seleção de indivíduos resistentes está associada à utilização intensiva de herbicidas, como o glifosato, especialmente após a introdução de cultivares geneticamente modificadas que permitem sua aplicação repetida. Espécies como o capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) e a buva (*Conyza bonariensis*) exemplificam os desafios impostos por essa resistência (Gazziero *et al.*, 2010; Takano *et al.*, 2017).

Em resposta ao aumento da resistência, o mercado tem se adaptado com o desenvolvimento de cultivares de soja que apresentam tolerância a múltiplos herbicidas (Vink *et al.*, 2012). A introdução de variedades tolerantes a herbicidas auxínicos, como o dicamba e o 2,4-D, surge como uma alternativa viável dentro de um programa integrado de manejo para plantas daninhas que são tolerantes ou resistentes aos herbicidas tradicionais utilizados na cultura da soja (Silva *et al.*, 2018).

Além da seleção do herbicida apropriado para cada situação específica da lavoura, a tecnologia de aplicação é um fator crucial que influencia diretamente a eficácia de controle das plantas daninhas. A aplicação correta do herbicida é essencial para garantir aumentos significativos na produtividade agrícola (Cunha *et al.*, 2011). A pulverização do herbicida dicamba requer técnicas que minimizem

o potencial risco de deriva para culturas não-alvo. Estratégias eficazes incluem a obrigatoriedade, no Brasil, de utilização de pontas de pulverização com indução de ar, ajustes no volume de calda aplicado e pressões de pulverização adequadas, que colaboram para diminuir a formação de gotas suscetíveis à deriva (Moreira, 2020).

No uso de herbicidas, a tecnologia de aplicação assume papel estratégico ao conectar a eficiência agrônômica do tratamento à segurança ambiental do sistema produtivo. Mesmo moléculas com eficácia comprovada podem apresentar desempenho insatisfatório quando aplicadas de forma inadequada, seja por perdas por deriva, evaporação ou deposição irregular no alvo (Matuo *et al.*, 2010; Cunha *et al.*, 2003). Assim, aspectos como escolha da ponta de pulverização, pressão de trabalho, volume de calda e condições meteorológicas assumem papel determinante no sucesso da aplicação.

O espectro de gotas formado durante a pulverização influencia diretamente tanto a eficiência de controle quanto o potencial risco de deriva. Gotas com diâmetro menor que 150 micrômetros apresentam maior suscetibilidade ao transporte pelo vento, aumentando a probabilidade de contaminação de áreas não alvo, enquanto gotas excessivamente grossas podem comprometer a cobertura e a interceptação do herbicida pelas plantas daninhas (Butler Ellis *et al.*, 2002; Cunha *et al.*, 2016). Dessa forma, o ajuste adequado do espectro de gotas é essencial para conciliar eficácia biológica e mitigação de riscos ambientais.

Herbicidas auxínicos, como o dicamba, apresentam elevada eficácia no controle de espécies resistentes a outros mecanismos de ação; entretanto, sua utilização demanda cuidados adicionais devido à elevada fitotoxicidade em culturas sensíveis, mesmo em doses extremamente baixas (Behrens *et al.*, 2007; Ebert *et al.*, 2014). Historicamente, o dicamba foi formulado como sal dimetilamina (DMA), caracterizado por maior suscetibilidade à volatilização após a aplicação, o que favorece sua movimentação fora do alvo. Com a intensificação do uso do herbicida, sobretudo após a introdução de cultivares tolerantes, foram desenvolvidas formulações com menor potencial de volatilidade, destacando-se o sal diglicolamina (DGA).

Estudos demonstram que o dicamba formulado como DGA apresenta menor volatilidade em comparação ao sal DMA, tanto em condições controladas quanto em campo, podendo reduzir significativamente a perda por volatilização, com

reduções superiores a 90% em alguns casos (Carbonari *et al.*, 2022; Mueller; Steckel, 2019). Essa menor volatilidade está associada à maior estabilidade físico-química da formulação e à menor pressão de vapor, o que resulta em menor formação de vapores e, conseqüentemente, menor risco de deriva secundária. Assim, a adoção de formulações à base de DGA representa um avanço importante na tecnologia de aplicação do dicamba, contribuindo para maior segurança operacional e redução dos riscos de injúrias em culturas sensíveis adjacentes (Carbonari *et al.*, 2022).

Além dos riscos associados ao momento da aplicação, a persistência de resíduos de dicamba no tanque de pulverização e em seus componentes internos representa um desafio operacional relevante. A presença residual do herbicida pode resultar em contaminação cruzada durante pulverizações subsequentes, ocasionando danos severos a culturas sensíveis, mesmo quando realizadas em doses extremamente baixas. Dessa forma, a eficiência dos procedimentos de limpeza do tanque assume papel fundamental para a segurança do manejo químico em sistemas agrícolas intensivos.

Nesse contexto, torna-se evidente que a eficiência do controle químico de plantas daninhas não depende exclusivamente da escolha do herbicida, mas da integração entre a escolha da ponta, a taxa de aplicação, o espectro de gotas e os procedimentos de limpeza do equipamento, que assumem papel central tanto na eficiência do controle de plantas daninhas quanto na mitigação de riscos ambientais e agrônômicos. A compreensão desses fatores é fundamental para garantir sistemas produtivos sustentáveis, reduzir riscos ambientais e preservar a longevidade das tecnologias disponíveis no mercado (Vargas; Roman, 2008; Cunha *et al.*, 2011).

Dessa forma, estudos que integrem desempenho agrônômico e segurança operacional tornam-se essenciais para o uso sustentável de herbicidas em sistemas agrícolas intensivos. A partir desse contexto, a tese foi estruturada em capítulos que abordam, de forma específica, os efeitos da tecnologia de aplicação do dicamba sobre o desempenho agrônômico e a descontaminação do pulverizador.

A tecnologia de aplicação exerce influência direta tanto sobre a eficácia do controle de plantas daninhas quanto sobre o potencial risco de deriva e contaminação cruzada do dicamba, sendo esperado que modificações em

parâmetros operacionais, como características do sistema de pulverização, condições de aplicação e limpeza do pulverizador resultem em respostas distintas quanto ao desempenho agrônomo e à segurança da aplicação.

A partir dessa hipótese, foram definidos como objetivos avaliar a eficiência agrônoma no controle das espécies *Bidens pilosa*, *Alternanthera tenella*, *Raphanus raphanistrum* e *Ipomoea purpurea*, bem como a segurança operacional da aplicação da mistura de herbicidas dicamba e glifosato na cultura da soja, abrangendo uma visão geral do manejo que vai desde a influência de pontas de pulverização, taxas de aplicação, características do espectro de gotas e procedimentos de limpeza do sistema de pulverização, visando otimizar o controle de plantas daninhas e reduzir riscos de contaminação ambiental e cruzada.

CAPÍTULO 1

EFICIÊNCIA DE CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS E ESPECTRO DE GOTAS EM FUNÇÃO DE PONTAS COM INDUÇÃO DE AR E TAXAS DE APLICAÇÃO EM MISTURA DE DICAMBA E GLIFOSATO NA CULTURA DA SOJA

RESUMO

A interferência das plantas daninhas pode comprometer o desenvolvimento da cultura da soja e reduzir significativamente o rendimento, tornando o controle químico uma ferramenta essencial, especialmente com o uso de herbicidas auxínicos como o dicamba, que demandam elevado rigor técnico na aplicação. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de controle de *Bidens pilosa*, *Alternanthera tenella*, *Raphanus raphanistrum* e *Ipomoea purpurea* em função do uso de modelos distintos de pontas de pulverização com indução de ar (MUG 110015 e a AVI-UC 11002), com diferentes taxas de aplicação (86, 96 e 106 L ha⁻¹), bem como relacionar essa eficiência às diferenças observadas no espectro de gotas. Em campo foram conduzidos dois experimentos em áreas distintas, na safra de soja 2023/24, cultivar BRS 2553XTD, sob o delineamento em blocos casualizados utilizando dois modelos de pontas de pulverização com indução de ar (MUG 110°015 e a AVI-UC 110°02) combinados a três taxas de aplicação (86, 96 e 106 L ha⁻¹) da mistura de herbicidas Xtendicam® (Dicamba – 1 L p.c. ha⁻¹); Roundup® Transorb R (Glifosato – 2 L p.c. ha⁻¹) e XtendProtect 2® (Adjuvante - 1% v.v⁻¹), além de um tratamento com capina manual e um tratamento testemunha, totalizando 8 tratamentos, visando o controle das espécies *Bidens pilosa*, *Alternanthera tenella*, *Raphanus raphanistrum* e *Ipomoea purpurea*. Os resultados demonstraram que todas as espécies foram eficientemente controladas por todos os tratamentos, sem variações significativas entre modelos de pontas ou taxas de aplicação, indicando que a eficiência do controle não foi influenciada pelas estratégias operacionais avaliadas ao final do experimento. Em laboratório, a avaliação do espectro de gotas evidenciou diferenças relevantes entre os modelos de pontas, com destaque para a ponta MUG 110015, que apresentou maiores valores de diâmetro mediano volumétrico,

menor fração de gotas finas e menor amplitude relativa, indicando maior segurança operacional do ponto de vista do risco potencial de deriva.

Palavras-chave: pontas de pulverização; taxa de aplicação; espectro de gotas.

ABSTRACT

This study addresses the impact of weed interference on soybean development and yield, highlighting chemical control as an essential tool, particularly with the use of auxinic herbicides such as dicamba, which require a high level of technical precision during application. The objective of this study was to evaluate the control efficiency of *Bidens pilosa*, *Alternanthera tenella*, *Raphanus raphanistrum*, and *Ipomoea purpurea* as affected by different air-induction spray nozzle models (MUG 110015 and AVI-UC 11002) combined with different application rates (86, 96, and 106 L ha⁻¹), as well as to relate this efficiency to differences in droplet size spectrum. Two field experiments were conducted in distinct areas during the 2023/24 soybean growing season using the cultivar BRS 2553XTD, in a randomized complete block design. The treatments were two air-induction spray nozzles models (MUG 110015 and AVI-UC 11002) combined to three application rates (86, 96, and 106 L ha⁻¹) of the herbicide mixture composed of XtendiCam® (dicamba – 1 L c.p. ha⁻¹), Roundup® Transorb R (glyphosate – 2 L c.p. ha⁻¹), and XtendProtect 2® (adjuvant – 1% v/v) in addition to the hand-weeded treatment and an untreated control, totaling eight treatments. The results showed that all weed species were effectively controlled by all treatments, with no significant differences among nozzle types or application rates, indicating that control efficiency was not influenced by the evaluated operational strategies in the end of the experiment. Under laboratory conditions, droplet spectrum analysis revealed relevant differences between nozzle models, with the MUG 110015 nozzle showing higher volumetric median diameter, lower fraction of fine droplets, and reduced relative span, indicating greater operational safety in terms of potential drift risk.

Keywords: spray nozzles; application rate; droplet size spectrum.

1.1 INTRODUÇÃO

Na cultura da soja, as plantas daninhas destacam-se como um dos principais fatores limitantes à produtividade, devido à competição por recursos essenciais como água, luz, nutrientes e espaço, além de efeitos indiretos, como alelopatia e atuação como hospedeiras de pragas e patógenos (Chauhan; Mahajan, 2014; Pannacci; Tei; Guiducci, 2018; Soltani *et al.*, 2017). Essa interferência ao longo do ciclo pode resultar em reduções expressivas na produtividade de grãos (Braz, 2021).

O controle químico constitui a base do manejo de plantas daninhas na soja, em função de sua elevada eficiência, rapidez de ação e viabilidade em sistemas de larga escala, sendo especialmente relevante nos estádios iniciais da cultura e em sistemas conservacionistas, como o plantio direto (Vidal; Merotto Júnior, 2001; Gazziero, 2015).

A eficácia dessas estratégias depende do adequado posicionamento das aplicações dentro do período crítico de prevenção à interferência, uma vez que falhas nesse intervalo podem comprometer significativamente o rendimento (Pitelli; Durigan, 1984).

Embora a adoção de cultivares tolerantes a herbicidas tenha ampliado as opções de manejo e simplificado as operações, o uso contínuo de mecanismos de ação semelhantes tem favorecido a seleção de plantas daninhas resistentes, reforçando a necessidade de planejamento criterioso do manejo químico (Duke, 2018; Heap, 2023).

Os herbicidas auxínicos constituem um dos grupos mais antigos e amplamente utilizados no manejo de plantas daninhas, sendo caracterizados por mimetizarem a ação fisiológica do ácido indolacético (AIA), principal auxina natural das plantas (Grossmann, 2010; Christoffoleti, 2015). Esses compostos atuam principalmente sobre espécies dicotiledôneas, promovendo crescimento desordenado, alterações na divisão e alongamento celular, desorganização dos tecidos vasculares e, conseqüentemente, a morte da planta. O mecanismo de ação desses herbicidas está associado à ativação anormal de vias hormonais, com desregulação da expressão gênica relacionada ao crescimento, à síntese de etileno e ao metabolismo de ácido abscísico, resultando em colapso fisiológico das plantas sensíveis (Grossmann, 2010; Senseman, 2007).

O dicamba (3,6-dicloro-2-metoxibenzoico) é um herbicida auxínico pertencente ao grupo dos ácidos benzoicos, amplamente utilizado no controle de plantas daninhas dicotiledôneas em diversas culturas agrícolas. Seu modo de ação envolve rápida absorção foliar e radicular, seguida de translocação predominantemente via xilema e floema, permitindo sua redistribuição para meristemas apicais e tecidos jovens, locais de maior sensibilidade à ação auxínica. Após a absorção, o dicamba desencadeia uma resposta hormonal exacerbada, levando à epinastia, engrossamento de caules, deformações foliares e interrupção do transporte normal de fotoassimilados, culminando na morte da planta daninha (Sterling; Hall, 1997; Grossmann, 2010).

Na cultura da soja, o dicamba ganhou relevância recente em função do aumento da incidência de plantas daninhas resistentes a herbicidas inibidores da EPSPS e da ALS, ampliando-se sua utilização em programas de manejo químico, especialmente em cultivares geneticamente modificadas tolerantes a esse herbicida. A inclusão do dicamba nesses sistemas permitiu maior flexibilidade no controle de espécies problemáticas, contribuindo para a diversificação de mecanismos de ação. No entanto, a eficiência agronômica desse herbicida está fortemente condicionada ao momento de aplicação, ao estágio das plantas daninhas e às condições ambientais, uma vez que sua ação depende de intenso metabolismo ativo da planta-alvo (Behrens *et al.*, 2007; Mueller *et al.*, 2013).

Diante disso, a aplicação de dicamba exige adoção rigorosa de boas práticas agrícolas, incluindo restrições quanto à velocidade do vento, temperatura, umidade relativa do ar e inversões térmicas, além do uso obrigatório de tecnologias de redução de deriva. A literatura científica evidencia que falhas na aplicação desse herbicida têm sido responsáveis por extensos casos de fitointoxicação em culturas não alvo, o que resultou em crescente atenção regulatória e na necessidade de geração de dados científicos específicos para diferentes condições edafoclimáticas. Assim, o uso seguro e eficiente do dicamba está diretamente relacionado à integração entre manejo químico e tecnologia de aplicação, sendo este um dos principais desafios atuais no manejo de plantas daninhas (Mueller *et al.*, 2013; Kniss, 2018).

Com a evolução das formulações, produtos como o Dicamax® passaram a utilizar dicamba na forma de sal diglicolamina (DGA) associado à tecnologia VaporGrip®, reduzindo o potencial de volatilização em relação a formulações

anteriores. Enquanto o sal DGA já confere menor volatilidade, a tecnologia VaporGrip® atua aumentando a estabilidade da molécula e reduzindo a formação de vapores após a aplicação. Esses avanços contribuem para a mitigação da deriva secundária e maior segurança no uso do dicamba em sistemas agrícolas mais sensíveis (Bayer Cropscience, 2026). Embora avanços tenham sido observados no desenvolvimento de formulações e na definição de boas práticas operacionais, ainda persistem lacunas quanto à influência de parâmetros operacionais do sistema de pulverização sobre a eficiência biológica e o potencial risco ambiental do dicamba, particularmente em condições edafoclimáticas representativas das regiões produtoras de soja no Brasil.

Diante da relevância do dicamba como ferramenta estratégica no manejo de plantas daninhas na cultura da soja e dos reconhecidos desafios associados ao seu uso, especialmente no que se refere ao risco de movimentação fora do alvo, torna-se evidente a necessidade de aprofundamento dos estudos relacionados à tecnologia de aplicação desse herbicida. Tecnologia de aplicação é definida como o conjunto de conhecimentos técnicos e científicos visando a correta colocação de um produto biologicamente ativo no alvo, quando necessário, de forma econômica, em quantidade suficiente e com o mínimo de contaminação do ambiente (Matuo, 1990).

Parte-se, portanto, das hipóteses: (I) pontas de pulverização de fabricantes distintos, quando operadas sob condições equivalentes de pressão e taxa de aplicação, têm potencial para proporcionar níveis semelhantes de controle de plantas daninhas, mesmo apresentando diferenças no espectro de gotas; (II) pressupõem-se que variações moderadas na taxa de aplicação (86, 96 e 106 L ha⁻¹) não comprometem a eficiência de controle das plantas daninhas, desde que a pulverização seja realizada com pontas adequadas e sob condições operacionais controladas; e (III) diferenças nos parâmetros do espectro de gotas (Dv0,1, Dv0,5, Dv0,9, V150 e amplitude relativa) podem não se refletir necessariamente em diferenças significativas no controle das plantas daninhas, especialmente quando a aplicação ocorre em condições ambientais favoráveis.

A partir dessas hipóteses, foi definido como objetivo avaliar a eficiência de controle de *Bidens pilosa*, *Alternanthera tenella*, *Raphanus raphanistrum* e *Ipomoea purpurea* em função do uso de modelos distintos de pontas de pulverização com indução de ar (MUG 110°015 e a AVI-UC 110°02), com

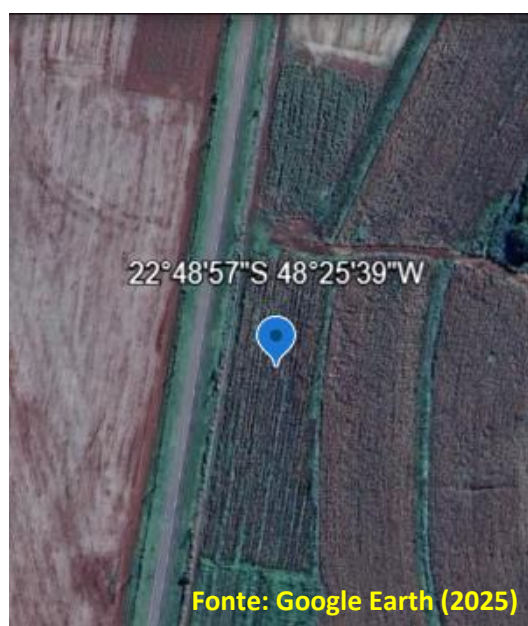
diferentes taxas de aplicação (86, 96 e 106 L ha⁻¹), bem como relacionar essa eficiência às diferenças observadas no espectro de gotas.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Instalação e condução dos experimentos

Dois ensaios foram conduzidos a campo, no mesmo local, na safra 2023/24 em área experimental da Fazenda da Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Campus de Botucatu, região Centro-Sul do estado de São Paulo, em sistema de produção convencional (Figura 1). O preparo do solo foi realizado com aração, gradagem e adubação, conforme necessidades para a cultura da soja observadas por meio de análise de solo.

Figura 1 – Área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão onde foram realizados ambos os experimentos na safra 2023/24.



O local de instalação do experimento possui solo Latossolo Vermelho, de acordo com a classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). O clima predominante do local é o tropical de altitude, apresentando inverno seco e verão quente e chuvoso (Lombardi Neto; Drugowich, 1994).

1.2.2 Levantamento fitossociológico

O diagnóstico da comunidade infestante foi realizado previamente à gradagem, utilizando-se o método do quadrado inventário. Para isso, empregou-se um quadrado amostral de PVC ($0,5 \times 0,5$ m; $0,25$ m²), lançado aleatoriamente duas vezes por parcela, totalizando 64 unidades amostrais por ensaio (Figura 2). As espécies presentes foram identificadas com base em literatura especializada (LORENZI, 2014).

Figura 2 – Quadrado inventário para identificação das plantas daninhas.
Safra 2023/24. Botucatu, SP.



Foram selecionadas quatro espécies que apresentaram maior infestação de acordo com o levantamento fitossociológico, além de sua elevada importância agronômica em áreas de produção de soja no Brasil, sendo elas: Picão-preto (*Bidens pilosa*), Apaga-fogo (*Alternanthera tenella*), Nabiça (*Raphanus raphanistrum*) e Corda-de-viola (*Ipomoea purpurea*).

1.2.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, com tratamentos distribuídos em esquema fatorial $2 \times 3 + 2$, sendo duas pontas de pulverização com tecnologia antideriva por indução de ar (Magno Ultra Grossa, da empresa MagnoJet®, e AVI UC, da empresa Solcera®) combinadas a três taxas de

aplicação (86, 96 e 106 L ha⁻¹), além de uma testemunha sem aplicação de herbicida e uma testemunha capinada, com quatro repetições (Tabela 1).

Tabela 1 – Tratamentos, pontas de pulverização, condições operacionais e taxa de aplicação do herbicida dicamba em pós-emergência inicial para o controle de plantas daninhas na soja.

Tratamento	Ponta	Pressão (KPa)	Vazão (L min ⁻¹)	Velocidade (Km h ⁻¹)	Taxa (L ha ⁻¹)
Testemunha absoluta	-	-	-	-	-
Testemunha capinada	-	-	-	-	-
3	MUG ¹ 110015	276	0,58	8	86
4	MUG 110015	345	0,64	8	96
5	MUG 110015	414	0,7	8	106
6	AVI UC ² 11002	300	0,8	11.2	86
7	AVI UC 11002	300	0,8	10	96
8	AVI UC 11002	400	0,91	10.3	106

¹Magno Ultra Grossa; ²Albuz Ultra Corse (não homologada pela Bayer nessa vazão)

As taxas de aplicação foram definidas com base no intervalo recomendado pelo fabricante (100–150 L ha⁻¹), incluindo valores ligeiramente inferiores ao mínimo recomendado, com o objetivo de simular condições frequentemente adotadas em campo, nas quais produtores reduzem o volume de aplicação visando maior eficiência operacional. Dessa forma, buscou-se avaliar o impacto dessa prática sobre a eficiência de controle das plantas daninhas.

As pontas de pulverização utilizadas foram a MUG 110015 e AVI UC 11002. De acordo com o descrito em catálogo pela fabricante MagnoJet®, a MUG possui a tecnologia antideriva de indução de ar, produz gotas ultra grossas, potencial risco de deriva abaixo de 1%, sendo homologada para a aplicação de Dicamba no Brasil e nos Estados Unidos da América. A amplitude de pressões (de 207 a 689 KPa), ângulo de abertura de 110° e inclinação de 30° possibilitam diversas configurações de posicionamento na barra, sendo todas voltadas para frente (configuração utilizada nesse trabalho), voltadas para trás ou alternadas entre ambas as posições, de modo a facilitar sua utilização.

Já o modelo AVI-UC, da fabricante Solcera®, não está homologada para a aplicação do dicamba na vazão selecionada, apesar de, segundo o fabricante,

possuir a tecnologia de indução de ar e produzir gotas ultra grossas com faixa de pressão de trabalho de 300 a 500 kPa, constando a angulação de abertura de 110°. A seleção desses modelos de pontas se deu pelo seu uso e conformidade com a regulamentação brasileira (modelo MUG) além da necessidade de obter resultados reais a campo com situações comuns aos sojicultores que, na ausência de pontas homologadas, acabam optando por pontas não homologadas (AVI-UC 02).

Para as parcelas com capina manual o procedimento foi realizado com a utilização de enxadas, fazendo a retirada total das plantas daninhas nas parcelas com esse tratamento. As parcelas experimentais foram constituídas com 10 metros de comprimento por 5 metros de largura, totalizando 50 m² cada, com 4 repetições e contando com duplicata da área, como ilustra a Figura 3. As pontas de pulverização e os produtos fitossanitários usados nos testes são mostrados na Figura 4.

Figura 3 – Ilustração das áreas adotadas no experimento, junto de seus respectivos tratamentos.

1	7	1	8
CARREADOR			
2	8	2	7
3	5	3	6
CARREADOR			
4	1	8	5
5	2	7	4
CARREADOR			
6	4	6	3
7	3	5	2
CARREADOR			
8	6	4	1

1	7	1	8
CARREADOR			
2	8	2	7
3	5	3	6
CARREADOR			
4	1	8	5
5	2	7	4
CARREADOR			
6	4	6	3
7	3	5	2
CARREADOR			
8	6	4	1

Figura 4 – Pontas de pulverização AVI UC 11002 e MUG 110015, e produtos utilizados no experimento – Herbicidas Roundup Transorb R, adjuvante e XtendProtect e Herbicida XtendiCam.



1.2.4 Aplicação

A aplicação foi realizada em 08 de janeiro de 2024, em pós-emergência inicial das plantas daninhas, com plântulas apresentando aproximadamente 10 cm de altura, conforme recomendação do fabricante. Utilizou-se a mistura de XtendiCam® (dicamba – 1 L p.c. ha⁻¹), Roundup® Transorb R (glyphosate – 2 L p.c. ha⁻¹) e XtendProtect 2® (adjuvante – 1% v/v), aplicada de acordo com os tratamentos e o delineamento experimental estabelecidos. As aplicações foram realizadas com pulverizador de barras Jacto®, modelo Condor 800 AM14, equipado com barras de 14,5 m e pontas espaçadas em 0,50 m, acoplado ao sistema de três pontos do trator da marca New Holland®, modelo TL85 (Figura 5), visando manter condições reais de aplicação. A velocidade de deslocamento foi ajustada conforme a taxa de aplicação, sendo utilizada apenas metade da barra, com o fechamento das demais seções, sem alteração na pressão de trabalho e na vazão das pontas.

Figura 5 – Pulverizador montado em trator.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Os dados meteorológicos de temperatura e umidade relativa do ar foram registrados durante as aplicações realizadas a campo a fim de atender as condições ideais para a aplicação dos herbicidas, de acordo com a recomendação do fabricante, conforme constam na Tabela 2.

Tabela 2 – Condições meteorológicas no momento da aplicação.

	Aplicação a campo
Temperatura (°C)	28,0 ± 2
Umidade Relativa (%)	61 ± 6
Velocidade do vento (km/h)	~ 6,4
Data de aplicação	08/01/2024

1.2.5 Semeadura

As sementes de soja utilizadas foram Brasmex Nexus I2X®, cultivar que possui a tecnologia Intacta 2 Xtend, que confere tolerância aos herbicidas dicamba e glifosato, com hábito de crescimento indeterminado e ampla janela de semeadura. O espaçamento de semeadura foi de 0,45 metros entre linhas e a densidade de 14 sementes por metro. A correção do solo, adubação de plantio e

cobertura foram realizadas de acordo com o manejo adotado pela FEPE - Lageado, e os tratamentos fitossanitários visando o controle de pragas e doenças foram realizados de acordo com a necessidade e ocorrência na lavoura.

1.2.6 Eficácia de controle

Foram realizadas avaliações nas espécies de plantas daninhas mais frequentes, germinadas do banco de sementes que havia no solo, sendo elas: Apaga-Fogo (*Alternanthera tenella*), Corda-de-Viola (*Ipomoea purpurea*), Nabiça (*Raphanus raphanistrum*) e Picão-Preto (*Bidens pilosa*). As avaliações visuais de controle das plantas daninhas foram realizadas aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA). As porcentagens de controle obtidas nas avaliações foram correlacionadas com a escala de notas da SBPCPD (1995), apresentada na Tabela 3, que atribui nota de controle, bem como o seu conceito, para cada classe de porcentagem estabelecida.

Tabela 3 – Escala de notas utilizada para avaliação da eficiência de controle de plantas daninhas.

Porcentagem de controle (%)	Descrição do controle
(A) 90-100	Excelente ou total
(B) 80-89	Bom, aceitável para infestação da área
(C) 70-79	Moderado, insuficiente para infestação da área
(D) 50-69	Deficiente ou inexpressivo
(E) 0-50	Ausência de controle

Fonte: SBPCPD (1995)

1.2.7 Análise do Espectro de Gotas

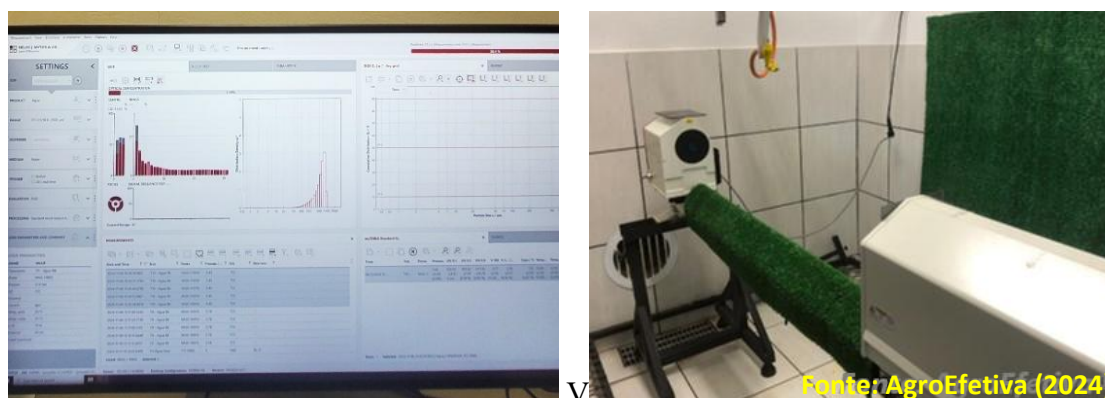
As análises do espectro de gotas foram conduzidas no Laboratório de Máquinas Pulverizadoras da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), em Botucatu/SP, Brasil, utilizando o equipamento SYMPATEC, modelo HELOS/KR-Vario (Sympatec Inc., Clausthal, Alemanha), equipado com uma lente R7 (Figura 3). Este equipamento é amplamente reconhecido por sua capacidade de realizar análises quantitativas precisas do tamanho de partículas em

pulverizações estendidas e em nuvens de aerossol, abrangendo um intervalo de partículas de 18 a 3.500 μm por meio da difração de feixe de laser.

O experimento foi realizado em uma sala de pulverização, com o sistema configurado de maneira que a ponta de pulverização ficasse posicionada a uma altura de 0,5 m em relação ao feixe de laser, onde realizava uma trajetória linear horizontal com o auxílio de um sistema automático, sendo pulverizado o jato transversalmente, atravessando o feixe de laser do analisador de partículas (Figura 5). Essa disposição permitiu a obtenção direta do espectro de gotas, sendo realizada cada leitura durante um período de 24,5 segundos, sendo essa considerada uma repetição experimental.

A caracterização do espectro de gotas foi realizada conforme as normas ISO 25358 e ASABE S572.1, em condições controladas de laboratório, utilizando difração a laser para determinação da distribuição volumétrica das gotas. As medições foram conduzidas com amostragem estatisticamente representativa, envolvendo uma quantidade de 10.000 gotas por leitura. Os resultados foram expressos pelos diâmetros $Dv_{0,1}$, $Dv_{0,5}$ e $Dv_{0,9}$, bem como pela amplitude relativa (SPAN), sendo o espectro classificado em categorias padronizadas de tamanho de gotas, permitindo inferências sobre o potencial de deriva e a eficiência de deposição (ISO, 2019; ASABE, 2009).

Figura 5 – Monitor com software Helos Mytos & Co. utilizado na leitura do espectro de gotas e SYMPATEC (HELOS/KR-Vario).



A calda utilizada na avaliação de espectro de gotas foi a mesma utilizada no experimento a campo, ou seja, XtendiCam® (dicamba – 1 L p.c. ha⁻¹), Roundup® Transorb R (glyphosate – 2 L p.c. ha⁻¹) e XtendProtect 2® (adjuvante – 1% v/v). As configurações de pressão, calda aplicada, doses, taxas de aplicação e vazão

foram replicadas do experimento a campo para o laboratório, sendo monitoradas e controladas as variáveis como temperatura e umidade relativa na sala de aplicação através de um termo-higrômetro (Incoterm TH50).

Em todos os tratamentos, a pressão foi aferida por um manômetro digital, modelo SalcasPress 1000, e a vazão aferida pelo método de massa, utilizando uma balança de precisão modelo Marte AS5500C, da qual após um minuto de aplicação utilizando água era tido o peso e verificado de acordo com a sua respectiva vazão na pressão catalogada pelo fabricante da ponta.

Foram avaliados os parâmetros $Dv0,1$, $Dv0,5$, $Dv0,9$, $V150$ e amplitude relativa (span) nas respectivas pressões utilizadas nos diferentes tratamentos aplicados a campo, de acordo com a pressão e vazão do pulverizador.

Para o cálculo da amplitude relativa (SPAN), consideraram-se os seguintes parâmetros: $Dv0,1$: diâmetro da gota em que 10% do volume total do líquido pulverizado é formado por gotas menores; $Dv0,5$: diâmetro da gota em que 50% do volume total do líquido pulverizado é formado por gotas menores, também denominado diâmetro mediano volumétrico (DMV); $Dv0,9$: diâmetro da gota em que 90% do volume total do líquido pulverizado é formado por gotas maiores. O cálculo foi realizado conforme a fórmula descrita na Equação 1 (E1):

$$span = \frac{(Dv09 - Dv0,1)}{Dv0,5}$$

Durante as avaliações buscou-se manter as condições de temperatura e umidade relativa do ar controladas, conforme valores da Tabela 4. As análises foram realizadas em sala com as luzes apagadas e portas fechadas para evitar interferências no feixe de laser e na pulverização.

Tabela 4 – Condições meteorológicas no momento do experimento em laboratório.

Leitura do espectro de gotas	
Temperatura (°C)	25,0 ± 1
Umidade Relativa (%)	80 ± 2
Velocidade do vento (km/h)	0
Data do ensaio	30/10/2024

1.2.8 Análise dos dados

Os dois experimentos conduzidos em campo foram analisados de forma independente, não sendo realizada análise conjunta, em razão das diferenças inerentes às condições experimentais. Para as análises estatísticas, considerou-se apenas o arranjo fatorial (3 taxas de aplicação × 2 modelos de pontas), sendo as testemunhas (capinada e sem controle) excluídas dessa etapa. Essa abordagem foi adotada por não haver equivalência estrutural entre os tratamentos fatoriais e as testemunhas, uma vez que estas não se enquadram na combinação dos fatores estudados, o que inviabiliza sua inclusão em análises fatoriais sem comprometer a interpretação dos efeitos principais e da interação. Assim, as testemunhas foram utilizadas como referência para interpretação biológica dos resultados, enquanto as inferências estatísticas foram restritas aos tratamentos que compõem o fatorial.

Os dados obtidos nos experimentos referentes ao controle de plantas daninhas e ao espectro de gotas, respectivamente, foram submetidos à análise de variância (ANOVA) por meio do teste F a 5% de probabilidade. As médias, quando significativas, foram comparadas pelo teste Fisher – LSD ($P \leq 0,05$). Os dados foram analisados pelos softwares estatísticos R (versão 3.5.1) e o pacote de dados Agricolae.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Controle das plantas daninhas

A análise de variância referente ao controle de *Bidens pilosa*, *Alternanthera tenella*, *Raphanus raphanistrum* e *Ipomoea purpurea* aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA), na área 1, em função das pontas de pulverização, taxas de aplicação e da interação entre esses fatores é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 - Controle de *Bidens pilosa*, *Alternanthera tenella*, *Raphanus raphanistrum* e *Ipomoea purpurea* aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação da mistura herbicida e adjuvante na cultura da soja com diferentes pontas de pulverização e taxas de aplicação. Área 1, Botucatu, SP, 2023/24.

		<i>Bidens pilosa</i>		<i>Alternanthera tenella</i>		<i>Raphanus raphanistrum</i>		<i>Ipomoea purpurea</i>	
	Fonte	F	Probabilidade	F	Probabilidade	F	Probabilidade	F	Probabilidade
7 DAA	Ponta	1,8	0,198 NS	0	0,964 NS	2,38	0,140 NS	0	0,969 NS
	Taxa	0,3	0,726 NS	0,4	0,676 NS	2,22	0,137 NS	0,12	0,888 NS
	P×T	0,5	0,646 NS	0,43	0,654 NS	3,01	0,074 NS	0,2	0,819 NS
	CV (%)	5,09		5,37		3,6		6,03	
14 DAA	Ponta	0	0,899 NS	0,18	0,679 NS	7,04	0,016 *	0,3	0,591 NS
	Taxa	0,6	0,561 NS	2,14	0,147 NS	0,2	0,824 NS	1,43	0,266 NS
	P×T	1,3	0,308 NS	0,76	0,480 NS	0,85	0,445 NS	0,53	0,600 NS
	CV (%)	1,77		1,71		1,73		1,69	
21 DAA	Ponta	0,2	0,704 NS	0,27	0,608 NS	8,2	0,010 *	0,14	0,717 NS
	Taxa	0,5	0,627 NS	0,52	0,601 NS	1,85	0,186 NS	0,73	0,497 NS
	P×T	0,5	0,606 NS	0,85	0,445 NS	0,19	0,832 NS	1,93	0,174 NS
	CV (%)	3,65		3,58		3,18		3,53	

NS: não significativo;

* significativo a $p < 0,05$

Aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação, não foram observados efeitos significativos das pontas de pulverização, taxas de aplicação ou da interação entre esses fatores no controle das espécies avaliadas ($p < 0,05$), com exceção da espécie *Raphanus raphanistrum*, foi observado efeito significativo do fator ponta de pulverização aos 14 e 21 DAA na Área 1. O teste LSD de Fisher ($p \leq 0,05$) indicou maior eficiência de controle para a ponta MUG em comparação à AVI-UC. No entanto, as diferenças observadas foram de baixa magnitude, com níveis de controle superiores a 96% em ambos os tratamentos (Tabela 6).

Tabela 6 – Efeito das pontas de pulverização no controle de *Raphanus raphanistrum* aos 14 e 21 dias após aplicação da mistura de herbicidas. Área 1, Botucatu, SP, 2023/24.

14DAA	
Ponta	Controle (%)
MUG	98,25a
AVI-UC	96,5b
21DAA	
Ponta	Controle (%)
MUG	100a
AVI-UC	98,75b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem ($P < 0,05$), pelo teste Fisher – LSD

Por fim, aos 28 e 35 dias após a aplicação, todos os tratamentos proporcionaram controle total (100%) das espécies, não sendo observada variabilidade entre parcelas, o que inviabilizou a aplicação de análise estatística inferencial.

A Tabela 7 apresenta a análise de variância referente ao controle de *Bidens pilosa*, *Alternanthera tenella*, *Raphanus raphanistrum* e *Ipomoea purpurea* aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA), na área 2, em função das pontas de pulverização, taxas de aplicação e da interação entre esses fatores.

Tabela 7 - Controle de *Bidens pilosa*, *Alternanthera tenella*, *Raphanus raphanistrum* e *Ipomoea purpurea* aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação da mistura herbicida e adjuvante na cultura da soja com diferentes pontas de pulverização e taxas de aplicação. Área 1, Botucatu, SP, 2023/24.

		<i>Bidens pilosa</i>			<i>Alternanthera tenella</i>			<i>Raphanus raphanistrum</i>		<i>Ipomoea purpurea</i>	
	Fonte	F	Probabilidade	F	Probabilidade	F	Probabilidade	F	Probabilidade	F	Probabilidade
7 DAA	Ponta	0,22	0,645 NS	1,58	0,224 NS	11,7 ₁	0,003 *	0,81	0,380 NS		
	Taxa	0,04	0,957 NS	0,23	0,793 NS	1,59	0,231 NS	0,03	0,975 NS		
	P×T	0,78	0,471 NS	0,76	0,481 NS	0,03	0,968 NS	1,85	0,186 NS		
	CV (%)	4,29			3,77	3,53		4,43			
14 DAA	Ponta	0,68	0,421 NS	0,09	0,765 NS	0,01	0,942 NS	0,11	0,749 NS		
	Taxa	0,98	0,395 NS	0,18	0,840 NS	0,73	0,497 NS	4,47	0,277 NS		
	P×T	0,21	0,814 NS	0,37	0,698 NS	1,87	0,182 NS	2,26	0,134 NS		
	CV (%)	3,67		3,65		3,26		3,48			
21 DAA		1,87	0,188 NS	0,06	0,812 NS	0,04	0,835 NS	1,15	0,298 NS		
		0,77	0,479 NS	2,1	0,151 NS	0,81	0,459 NS	2,36	0,123 NS		
		0,36	0,700 NS	0,29	0,754 NS	0,1	0,901 NS	0,11	0,895 NS		
	CV (%)	2,77		3,55		2,82		2,86			

Como visto na área 1, com exceção da espécie *Raphanus raphanistrum*, foi observado efeito significativo do fator ponta de pulverização aos 7 DAA na Área 2. O teste LSD de Fisher ($p \leq 0,05$) indicou maior eficiência de controle para a ponta MUG em comparação à AVI-UC (Tabela 8). Aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação, não foram observados efeitos significativos das pontas de pulverização, taxas de aplicação ou da interação entre esses fatores para o restante das espécies avaliadas ($p < 0,05$).

Tabela 8 – Efeito das pontas de pulverização no controle de *Raphanus raphanistrum* aos 7 dias após aplicação da mistura de herbicidas. Área 2, Botucatu, SP, 2023/24.

Tratamento	Média (%)
MUG 106	79,5a
MUG 96	78,5ab
MUG 86	77,25ab
AVI UC 106	76ab
AVI UC 96	75,5b
AVI UC 86	74,25b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem ($P < 0,05$), pelo teste Fisher – LSD

A resposta das espécies *Bidens pilosa*, *Alternanthera tenella*, *Raphanus raphanistrum* e *Ipomoea purpurea* aos tratamentos avaliados neste estudo evidencia que o sucesso do controle químico está diretamente associado à interação entre o estágio fenológico das plantas daninhas e o adequado enquadramento da tecnologia de aplicação. De maneira geral, todas as espécies apresentaram elevada suscetibilidade quando manejadas em estádios iniciais de desenvolvimento, condição em que se encontravam no momento das aplicações, o que contribuiu para os altos níveis de controle observados.

Para *B. pilosa*, espécie de ciclo curto e elevada plasticidade fenológica, a literatura demonstra que aplicações realizadas até duas a quatro folhas resultam em maior eficiência de controle, enquanto aplicações tardias aumentam a probabilidade de sobrevivência e recuperação (Pereira *et al.*, 2022). Nesse sentido, os resultados obtidos corroboram estudos que indicam elevada sensibilidade dessa espécie a herbicidas auxínicos, como o dicamba, quando aplicados sob condições favoráveis de deposição e absorção foliar (Gazola; Mundt, 2024), justificando a ausência de diferenças entre tratamentos observada neste estudo.

Comportamento semelhante foi observado para *A. tenella*, cuja resposta ao controle químico também é fortemente dependente do estágio de desenvolvimento. Plantas jovens apresentam maior suscetibilidade, enquanto indivíduos mais desenvolvidos tendem a apresentar maior tolerância e capacidade de rebrota (Silva *et al.*, 2021; Galon *et al.*, 2019). Além disso, o hábito de

crescimento prostrado dessa espécie pode limitar a interceptação de gotas, especialmente quando são utilizadas estratégias voltadas à redução da deriva, como a adoção de espectros de gotas mais grossas.

Nesse contexto, embora gotas de maior diâmetro contribuam para maior segurança operacional, podem reduzir a cobertura do alvo em espécies de baixo porte, exigindo ajustes operacionais para garantir deposição adequada (Cunha; Alves, 2020; Matthews, 2014). Ainda assim, a ausência de diferenças significativas entre tratamentos indica que, nas condições avaliadas, a tecnologia de aplicação foi suficiente para superar essas limitações.

Para *R. raphanistrum*, no entanto, foram observadas diferenças significativas entre pontas de pulverização na Área 1 aos 14 e 21 DAA, bem como na Área 2 aos 7 DAA, evidenciando que essa espécie apresentou maior sensibilidade às variações na tecnologia de aplicação em comparação às demais. Trata-se de uma espécie altamente competitiva, com rápido crescimento inicial e elevada taxa de acúmulo de biomassa, características que podem influenciar diretamente a interceptação e retenção de gotas.

Estudos indicam que a arquitetura foliar e a orientação das folhas de *R. raphanistrum* favorecem maior interceptação de gotas em comparação a espécies de hábito prostrado, tornando a eficiência da deposição um fator determinante para o sucesso do controle (Norsworthy *et al.*, 2012). Além disso, trabalhos que avaliam a influência do espectro de gotas na eficácia de herbicidas demonstram que diferenças no tamanho de gotas podem resultar em variações na cobertura e na distribuição da calda sobre o dossel, especialmente em espécies com maior área foliar e estrutura mais ereta (Cunha *et al.*, 2016; Matthews, 2014).

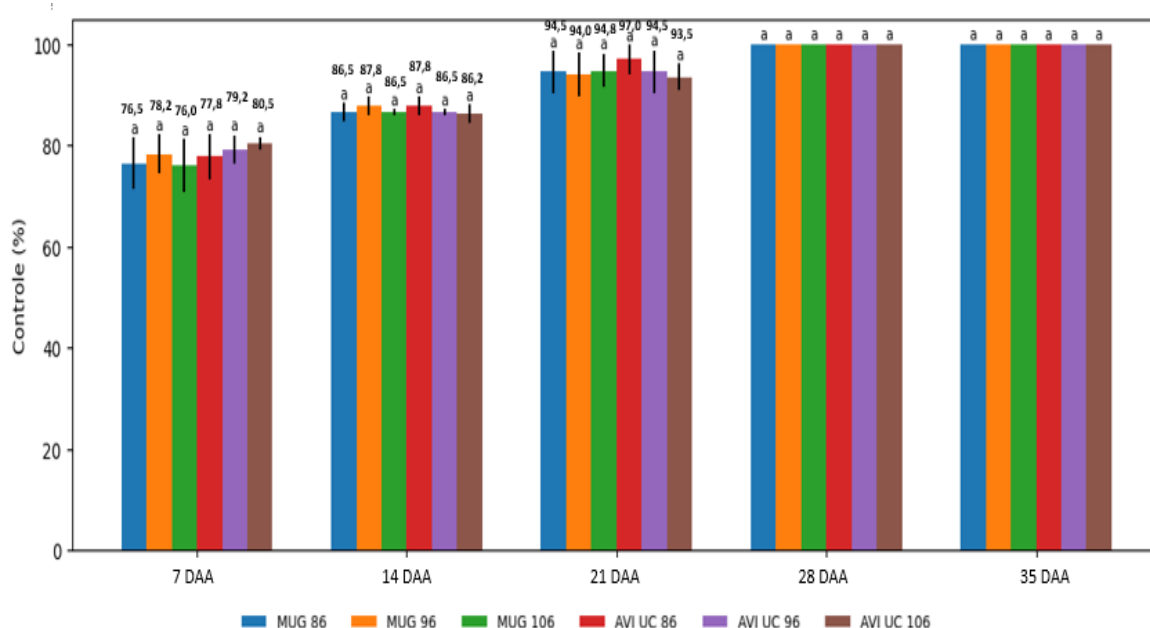
Nesse contexto, a ponta MUG 110015, caracterizada pelo ângulo de ataque de 30°, pode ter proporcionado melhor deposição em determinadas condições, resultando nas diferenças observadas. No entanto, é importante destacar que essas diferenças foram pontuais e não consistentes ao longo das avaliações e áreas, possibilitando também a sugestão de que estão mais associadas a variações experimentais do que a um efeito sistemático dos tratamentos.

Para *I. purpurea*, espécie trepadora de rápido crescimento e elevada capacidade de sombreamento, os resultados reforçam a importância do estágio fenológico e da deposição eficiente da calda sobre os tecidos jovens e metabolicamente ativos. A literatura indica que plantas em estádios iniciais são

significativamente mais suscetíveis ao controle químico, enquanto indivíduos mais desenvolvidos apresentam maior dificuldade de controle (Culpepper *et al.*, 2018). A ausência de diferenças significativas entre tratamentos sugere que, nas condições deste estudo, a tecnologia de aplicação foi adequada para garantir a deposição e absorção do herbicida, independentemente das variações no espectro de gotas.

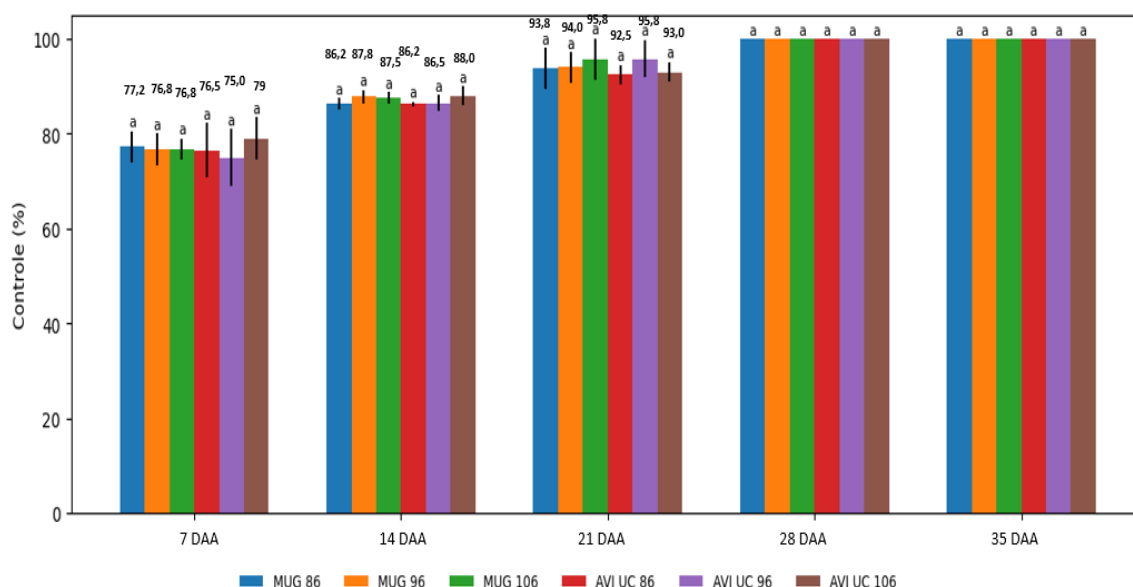
De forma integrada, os resultados indicam que, embora diferenças pontuais possam ocorrer, como observado para *R. raphanistrum*, o controle das espécies avaliadas foi predominantemente estável e pouco sensível às variações nas estratégias operacionais testadas. Esse comportamento reforça que, quando as aplicações são realizadas em estádios iniciais de desenvolvimento e atendendo os preceitos adequados de tecnologia de aplicação, a eficiência dos herbicidas auxínicos tende a ser elevada e consistente.

Figura 6 – Controle (%) de *Bidens pilosa* na cultura da soja aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA) da mistura herbicida, com diferentes pontas e taxas de aplicação. Área 1, Botucatu, SP, 2023/24.



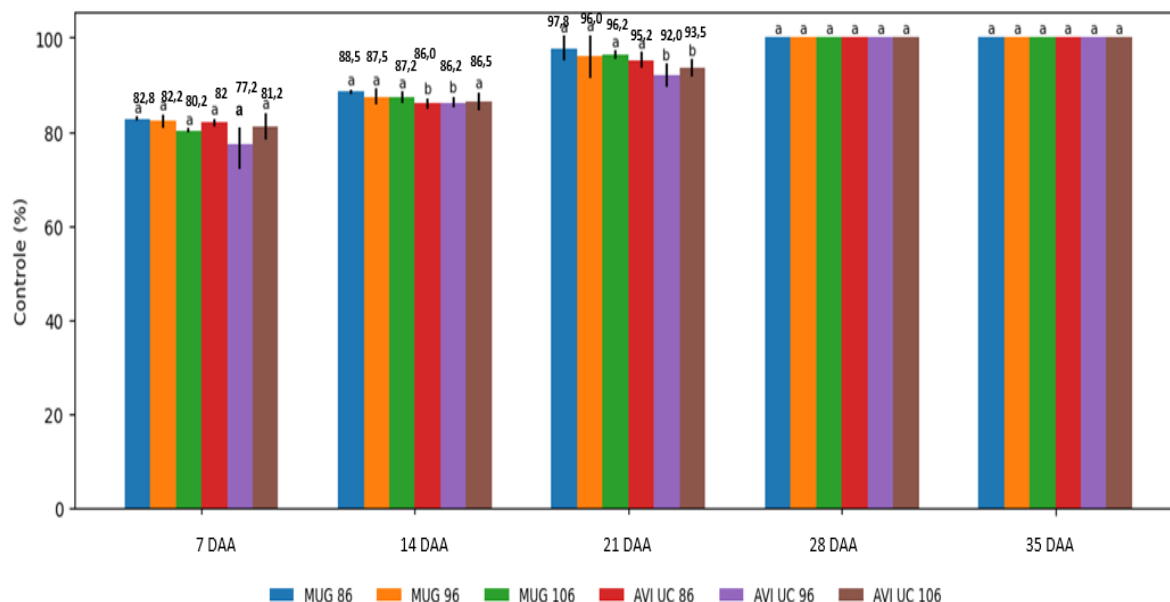
Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Barras de erro representam o intervalo de confiança de 95% da média (IC95%)

Figura 7 – Controle (%) de *Alternanthera tenella* na cultura da soja aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA) da mistura herbicida, com diferentes pontas e taxas de aplicação. Área 1, Botucatu, SP, 2023/24.



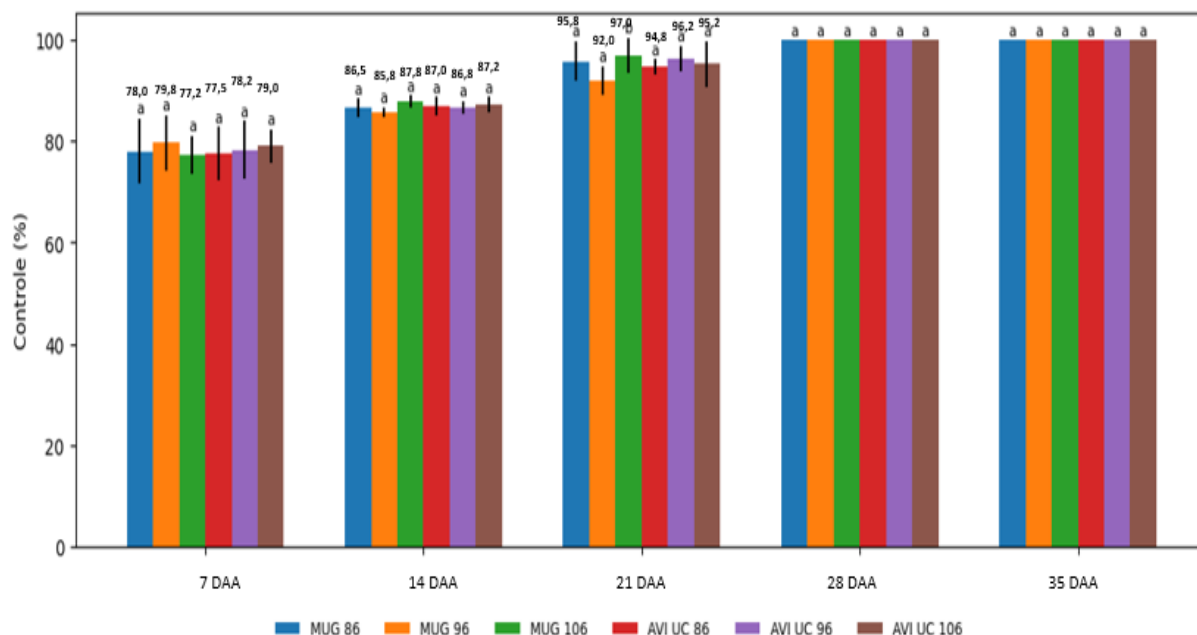
Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Barras de erro representam o intervalo de confiança de 95% da média (IC95%)

Figura 8 – Controle (%) de *Raphanus raphanistrum* na cultura da soja aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA) da mistura herbicida, com diferentes pontas e taxas de aplicação. Área 1, Botucatu, SP, 2023/24.



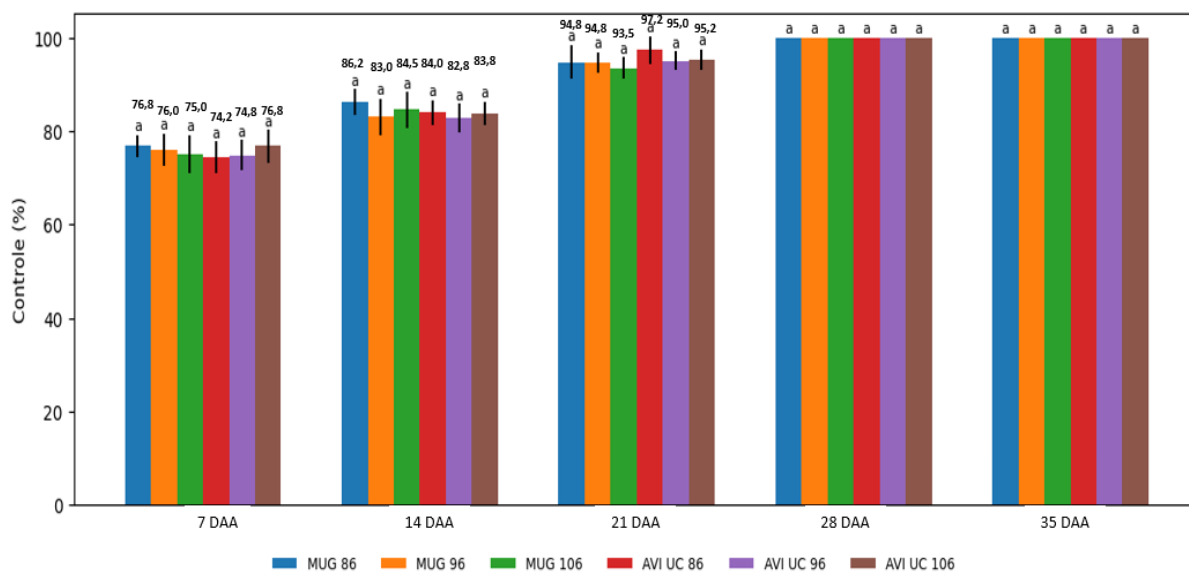
Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Barras de erro representam o intervalo de confiança de 95% da média (IC95%)

Figura 9 - Controle (%) de *Ipomoea purpurea* na cultura da soja aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA) da mistura herbicida, com diferentes pontas e taxas de aplicação. Área 1, Botucatu, SP, 2023/24.



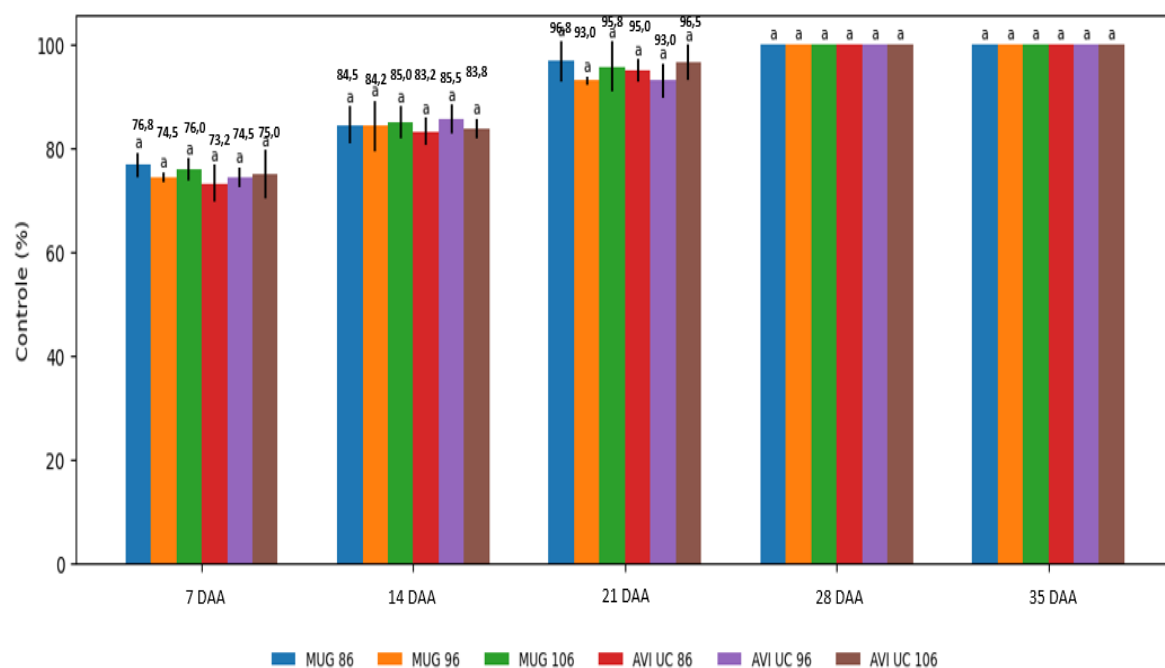
Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Barras de erro representam o intervalo de confiança de 95% da média (IC95%)

Figura 10 - Controle (%) de *Bidens pilosa* na cultura da soja aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA) da mistura herbicida, com diferentes pontas e taxas de aplicação. Área 2, Botucatu, SP, 2023/24.



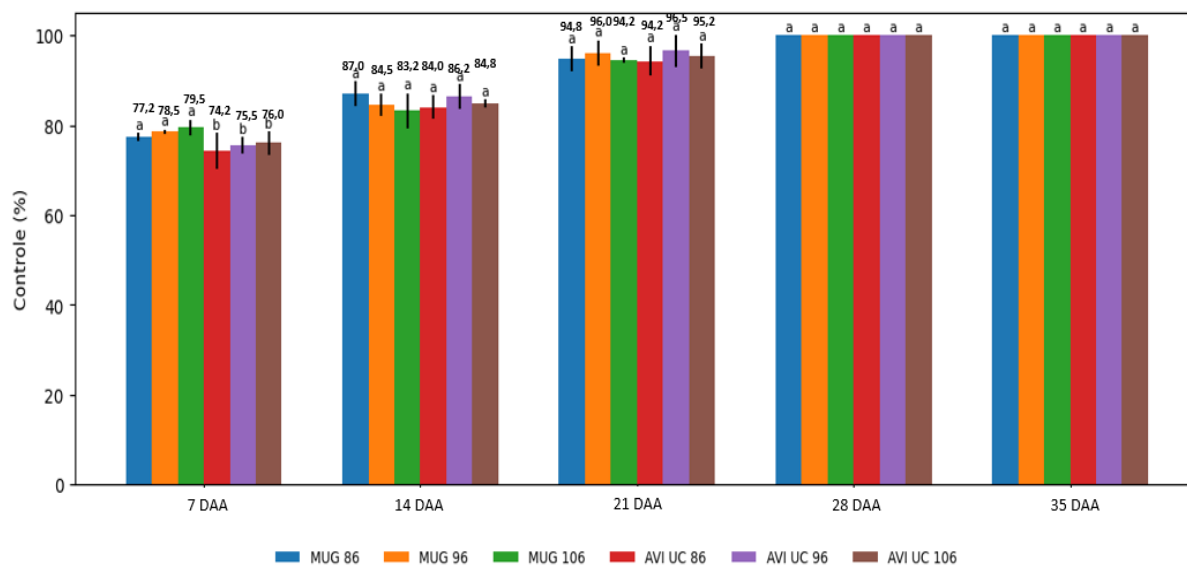
Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Barras de erro representam o intervalo de confiança de 95% da média (IC95%)

Figura 11 - Controle (%) de *Alternanthera tenella* na cultura da soja aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA) da mistura herbicida, com diferentes pontas e taxas de aplicação. Área 2, Botucatu, SP, 2023/24.



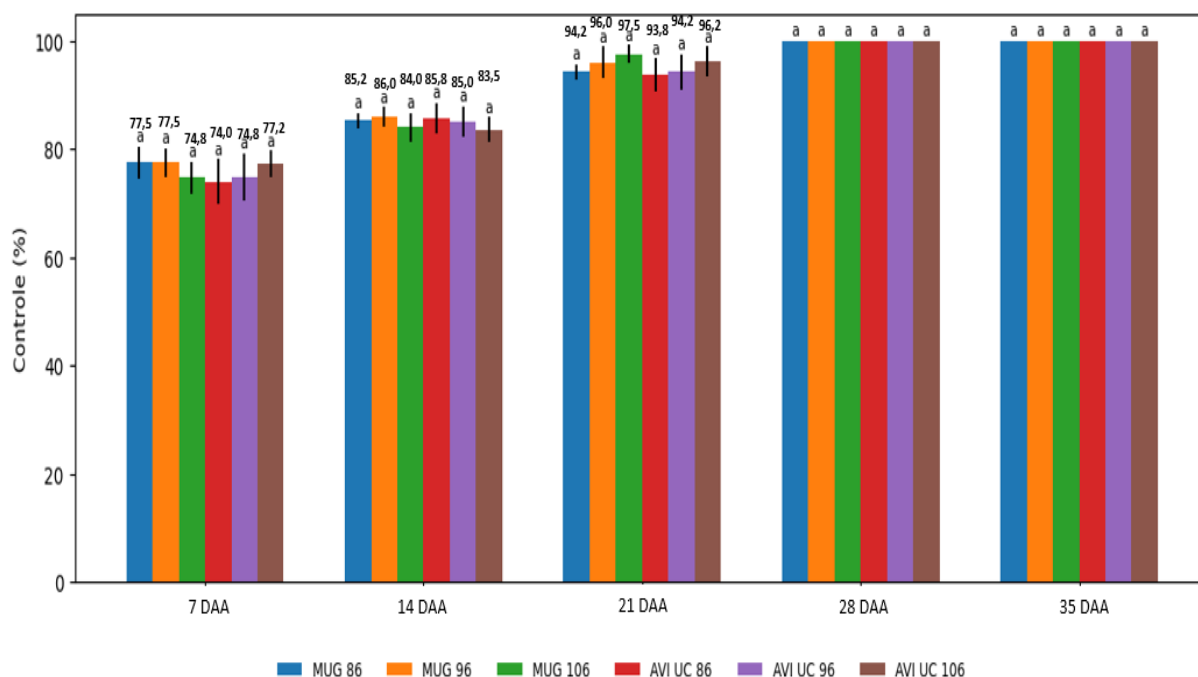
Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Barras de erro representam o intervalo de confiança de 95% da média (IC95%)

Figura 12 - Controle (%) de *Raphanus raphanistrum* na cultura da soja aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA) da mistura herbicida, com diferentes pontas e taxas de aplicação. Área 2, Botucatu, SP, 2023/24.



Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Barras de erro representam o intervalo de confiança de 95% da média (IC95%)

Figura 13 - Controle (%) de *Ipomoea purpurea* na cultura da soja aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA) da mistura herbicida, com diferentes pontas e taxas de aplicação. Área 2, Botucatu, SP, 2023/24.



Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Barras de erro representam o intervalo de confiança de 95% da média (IC95%)

1.3.2 Espectro de gotas

Os dados obtidos da leitura do espectro de gotas foram agrupados na Tabela 12, com as mesmas taxas (86, 96 e 106 L ha⁻¹) e suas respectivas pressões de trabalho utilizadas nos tratamentos a campo, com a combinação de adjuvante (XtendProtect) e herbicidas (Xtendicam e Roundup Transorb R).

Tabela 12 – Dv0,1, Dv0,5, Dv0,9, V150 e Amplitude Relativa (Índice Span) das pontas MUG 110015 e AVI UC 11002 em diferentes pressões e taxas de aplicação da calda de pulverização.

Ponta	Pressão (kPa)	Taxa (L ha ⁻¹)	Dv0,1 (µm)	Dv0,5 (µm)	Dv0,9 (µm)	V150 (%)	A.R.
MUG 110015	276	86	336,22 a*	892,48 a	1324,67 a	1,80 b	1,11 c
MUG 110015	345	96	325,27 a	875,35 a	1312,74 a	2,23 ab	1,13 c
MUG 110015	414	106	303,89 a	832,62 a	1287,91 a	2,23 ab	1,18 c
AVI UC 11002	300	86	224,51 b	579,71 b	995,01 b	3,29 ab	1,33 b
AVI UC 11002	300	96	222,15 b	573,61 b	981,83 b	3,39 ab	1,32 b
AVI UC 11002	400	106	192,61 b	499,97 b	904,48 b	5,07 a	1,42 a
C. V. %			3,47	1,43	0,74	9,45	0,12

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; DV: diâmetro volumétrico; V150: porcentagem de gotas < 150 µm; AR: amplitude relativa

Os resultados descritos na Tabela 12 evidenciam diferenças consistentes no espectro de gotas produzido pelas pontas MUG 110015 e AVI UC 11002, bem como variações associadas às condições operacionais avaliadas, refletindo o papel determinante do modelo de ponta na formação do espectro das gotas de pulverização. Os coeficientes de variação observados para as variáveis Dv0,1, Dv0,5, Dv0,9, V150 e amplitude relativa foram baixos, indicando elevada precisão experimental e confiabilidade dos dados obtidos, em concordância com valores reportados em estudos de caracterização do espectro de gotas em condições controladas (Nuyttens *et al.*, 2007; Fritz; Hoffmann, 2012).

Para a classificação de uma pulverização, considerando o tamanho das gotas, o diâmetro mediano volumétrico (DMV ou DV0,5), medido em micrômetros (µm), deve ser comparado ao obtido por pontas de referência avaliadas utilizando-se o mesmo método de determinação do tamanho das gotas (Raetano; Chechetto, 2019).

Os valores de Dv0,1 diferiram significativamente entre os modelos de pontas, com a MUG 110015 apresentando diâmetros superiores aos observados para a AVI UC 11002, independentemente da pressão e da taxa de aplicação. Esse comportamento indica menor fração de gotas muito finas para a MUG 110015,

aspecto relevante sob a ótica do risco potencial de deriva, uma vez que o $Dv_{0,1}$ é amplamente utilizado como indicador da presença de gotas mais suscetíveis ao transporte fora do alvo (Cunha; Teixeira, 2001; Fritz *et al.*, 2012). Resultados semelhantes foram reportados por Nuyttens *et al.* (2007), que observaram redução significativa da fração de gotas finas em pontas com maior capacidade de controle do espectro, mesmo quando operadas em diferentes pressões.

Em relação ao $Dv_{0,5}$ (DMV), de acordo com a classificação do espectro de gotas proposta pela ASABE S572.1–2021 e harmonizada pela ISO 25358:2018, os valores observados para a ponta MUG 110015 enquadram-se na classe Ultra Grossa, conforme exigido para aplicações com herbicidas auxínicos como o dicamba, enquanto os valores obtidos para a ponta AVI UC 11002 situam-se entre as classes Muito Grossa e Extremamente Grossa, dependendo da condição operacional.

Gotas maiores são menos suscetíveis à exoderiva e evaporação, sendo indicadas para aplicações em áreas sujeitas a ventos ou baixa umidade relativa (Cunha *et al.*, 2004). Em contrapartida, gotas menores, apesar de garantirem uma cobertura mais uniforme, pode aumentar significativamente o potencial risco de deriva.

Os valores de $Dv_{0,9}$ seguiram tendência semelhante à observada para o DMV, com a MUG 110015 apresentando maiores diâmetros, o que indica a presença de gotas de maior tamanho no extremo superior do espectro. A avaliação integrada dos parâmetros $Dv_{0,1}$, $Dv_{0,5}$ e $Dv_{0,9}$ indica que a ponta MUG 110015 gerou uma distribuição de gotas predominante ultra grossas. Por outro lado, a AVI UC 11002 apresentou maior contribuição de frações de menor diâmetro de gotas.

A variável V150, considerada um dos principais indicadores diretos do potencial risco de deriva, apresentou valores significativamente superiores para a AVI UC 11002 em todas as condições avaliadas, evidenciando maior volume percentual de gotas com diâmetro inferior a 150 μm . De acordo com Fritz *et al.* (2012) e Nuyttens *et al.* (2011), incrementos no V150 estão diretamente associados ao aumento do risco de deriva física, especialmente sob condições ambientais desfavoráveis. Assim, embora ambas as pontas atendam às exigências normativas para aplicações com dicamba, os resultados indicam que a MUG 110015 apresenta maior margem de segurança sob a ótica do controle da fração de gotas finas.

A amplitude relativa (Span) também diferiu entre os modelos avaliados, com a AVI UC 11002 apresentando valores mais elevados, indicando um espectro de gotas mais heterogêneo. Valores mais baixos de amplitude relativa são desejáveis por representarem maior uniformidade do espectro, o que contribui para maior previsibilidade do comportamento das gotas no trajeto até o alvo (Cunha; Teixeira, 2001; Matthews, 2014). A menor amplitude relativa observada para a MUG 110015 sugere maior controle do processo de atomização, aspecto relevante para aplicações que exigem elevado rigor operacional, como aquelas envolvendo herbicidas auxínicos.

De forma integrada, os resultados da Tabela 12 demonstram que existem diferenças importantes no espectro de gotas gerado, especialmente no que se refere à fração de gotas finas e à uniformidade do espectro. Esses resultados corroboram estudos prévios que destacam que a escolha do modelo de ponta, mesmo dentro de classes de gotas semelhantes, pode resultar em diferenças relevantes no potencial risco de deriva, reforçando a necessidade de criteriosa seleção do equipamento no manejo da tecnologia de aplicação (Nuyttens *et al.*, 2007; Fritz *et al.*, 2012; Matthews, 2014).

1.4 CONCLUSÃO

Nas condições em que o experimento foi conduzido, pode-se concluir que:

- A utilização de diferentes modelos de pontas de pulverização, com recomendações técnicas para a aplicação do herbicida dicamba, não influencia de maneira significativa a eficiência de controle das espécies de plantas daninhas em estudo aos 35 dias após a aplicação;
- A redução da taxa de aplicação em relação àquela recomendada pelo fabricante do herbicida (entre 100 e 150 L ha⁻¹) não resulta em perda de eficiência no controle das plantas daninhas, considerando as condições operacionais e os estádios de desenvolvimento das espécies no momento da aplicação evidenciando maior capacidade operacional em menores taxas mantendo a eficiência de controle;
- Embora as pontas avaliadas pertençam ao mesmo grupo de pontas homologadas para a aplicação do dicamba, a ponta MUG 110015 apresenta características do espectro de gotas, como maiores valores de diâmetro

mediano volumétrico e menor fração de gotas finas, que indicam maior segurança operacional do ponto de vista do risco potencial de deriva na aplicação de herbicidas auxínicos.

REFERÊNCIAS

- ANTUNIASI, U. R.; BOLLER, W. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 316-322, 2011.
- ASABE – AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **ASABE S572.1: Spray nozzle classification by droplet spectra**. St. Joseph, MI: ASABE, 2021.
- BAYER CROPSCIENCE. **Dicamax® – Bula do produto**. Disponível em: https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2020-11/dicamax1020.pdf? Acesso em: 03 de abril de 2026.
- BEHRENS, R. *et al.* Dicamba volatility. **Weed Science**, Champaign, v. 55, n. 2, p. 135–142, 2007.
- BRAZ, G.B.P. *et al.* Sourgrass interference on soybean grown in Brazilian Cerrado. **Revista Caatinga** 2021, 34, 350–358.
- CHAUHAN, B.S.; MAHAJAN, G. Integrated weed management in soybean. In **Recent Advances in Weed Management**; Springer: New York, NY, USA, 2014; p. 223–237.
- CHRISTOFFOLETI, P. J. **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 4. ed. Piracicaba: HRAC-BR, 2015.
- CULPEPPER, A. S. *et al.* Glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) and other troublesome weeds of the southeastern United States. **Weed Technology**, v. 32, n. 5, p. 561–573, 2018.
- CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas: fundamentos e práticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 185–193, 2020.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M. Características técnicas de pontas de pulverização hidráulicas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 344–350, 2001.

CUNHA, J. P. A. R. *et al.* Avaliação da uniformidade de pulverizadores de barra. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 4, p. 267-272, 2004.

DUKE, S. O. **The history and current status of glyphosate**. *Pest Management Science*, Hoboken, v. 74, n. 5, p. 1027–1034, 2018.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006, 306 p.

FRITZ, B. K. *et al.* Aerial application methods for increasing spray deposition on corn. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 28, n. 3, p. 357–364, 2012.

FRITZ, B. K.; HOFFMANN, W. C. Spray drift reduction technologies. In: MATTHEWS, G. A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. (eds.). **Pesticide application methods**. 4. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2015. p. 323–343.

GALON, L. *et al.* Integrated weed management in soybean cropping systems. **Crop Protection**, v. 118, p. 22–30, 2019.

GAZOLA, T.; MUNDT, T. T.; *et al.* Dynamics and weed control effectiveness of dicamba herbicide when applied directly on the soil and corn straw in Brazil. **Agronomy**, v. 14, n. 2, p. 1–14, 2024.

GAZZIERO, D. L. P. **Manejo de plantas daninhas na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2015. (Documentos, 364).

GROSSMANN, K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. **Pest Management Science**, Hoboken, v. 66, n. 2, p. 113–120, 2010.

HEAP, I. **The International Survey of Herbicide Resistant Weeds**. Disponível em: <www.weedscience.com>. Acesso em: 31 de dez. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 25358: Crop protection equipment — Droplet-size spectra classification.**

Geneva: ISO, 2018.

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água.** Campinas: CATI, v.2, 1994. 168p.

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional.** Nova Odessa: Instituto Plantarum, 7 ed., 383 p., 2014.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas.** Ed. FUNEP, 1990. 139p.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods.** 4. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2014. 536 p.

MUELLER, T. C. *et al.* Dicamba volatility and injury to non-target crops. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 61, n. 5, p. 1077–1083, 2013.

NORSWORTHY, J. K. *et al.* Reducing the risks of herbicide resistance: best management practices and recommendations. **Weed Science**, v. 60, n. sp1, p. 31–62, 2012.

NORSWORTHY, J. K.; OLIVER, L. R. Weed management systems for morningglories (*Ipomoea* spp.) in soybean. **Weed Technology**, v. 28, n. 1, p. 147–156, 2014.

NUYTTENS, D. *et al.* Drift reduction potential of nozzles with air induction. **Biosystems Engineering**, v. 97, n. 3, p. 337–345, 2007.

NUYTTENS, D. *et al.* The influence of operator-controlled variables on spray drift from field crop sprayers. **Transactions of the ASABE**, v. 54, n. 2, p. 491–501, 2011.

PANNACCI, E.; TEI, F.; GUIDUCCI, M. Evaluation of mechanical weed control in legume crops. **Crop Prot.** 2018, 104, 52–59.

PEREIRA, M. R. R.; *et al.* Susceptibility of *Bidens pilosa* to herbicides applied at different growth stages. **Bioscience Journal**, v. 38, n. 1, p. 1–10, 2022.

PITELLI, R. A.; DURIGAN, J. C. Ecologia das plantas daninhas e sua interferência nas culturas. In: PITELLI, R. A. (Org.). **Plantas daninhas e seu controle**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1984. p. 1–35.

RAETANO, C. G.; MOTA, A. A. B. Pontas de pulverização hidráulicas. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2 ed. Passo fundo: Aldeia Norte, p. 67-90, 2019.

SENSEMAN, S. A. Herbicide handbook. 9. ed. Lawrence: **Weed Science Society of America**, 2007.

SILVA, A. F.; *et al.* Susceptibility of *Alternanthera tenella* to herbicides applied at different growth stages. **Planta Daninha**, v. 39, e021237481, 2021.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: SBCPD, p. 42, 1995.

SOLTANI, N. *et al.* Perspectives on potential soybean yield losses from weeds in North America. **Weed Technol.** 2017, 31, 148–154.

STERLING, T. M.; HALL, J. C. Mechanism of action of natural auxins and the auxinic herbicides. In: ROE, R. M.; BURTON, J. D.; KUHR, R. J. **Herbicide activity: toxicology, biochemistry and molecular biology**. Amsterdam: IOS Press, 1997. p. 111–141.

VARGAS, L.; GLEBER, E. L. **Condições ambientais para aplicação de herbicidas**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2005. (Circular Técnica).

VIDAL, R. A.; MEROTTO JÚNIOR, A. **Manejo de plantas daninhas na cultura da soja**. Porto Alegre: Evangraf, 2001.

ZHU, H. *et al.* Evaluation of droplet size and velocity distributions from agricultural nozzles using laser diffraction technology. **Atomization and Sprays**, [S. l.], v. 21, n. 9, p. 755-767, 2011.

CAPÍTULO 2

DESCONTAMINAÇÃO DO CIRCUITO HIDRÁULICO DO PULVERIZADOR PÓS-APLICAÇÃO DO HERBICIDA DICAMBA

RESUMO

A contaminação cruzada de culturas sensíveis por resíduos de herbicidas auxínicos, especialmente o dicamba, presentes no sistema hidráulico de pulverizadores agrícolas representa um dos principais desafios associados ao uso desse ingrediente ativo, podendo resultar em fitotoxicidade mesmo quando ocorrem exposições a concentrações extremamente baixas. Nesse contexto, a adoção de procedimentos rigorosos de limpeza do pulverizador, com destaque para a tríplice lavagem, constitui uma prática fundamental para a mitigação de riscos agrônômicos e ambientais. Com base nessa problemática, este capítulo teve como objetivo avaliar a eficiência de diferentes produtos de limpeza utilizados no sistema hidráulico de pulverizadores agrícolas, por meio da tríplice lavagem, na remoção de resíduos de uma mistura contendo dicamba, glifosato e adjuvante. O experimento foi conduzido em condições controladas, utilizando plantas de soja suscetíveis ao dicamba como plantas bioindicadoras do efeito residual. Os tratamentos consistiram na utilização dos produtos TP Agro Tank®, Six Clean®, BRANDT Equipment Cleaner® e Show Clean® (detergente neutro), além de um tratamento testemunha com lavagem apenas com água, todos submetidos ao procedimento de tríplice lavagem. Após a limpeza, a calda residual foi coletada e aplicada nas plantas bioindicadoras, sendo realizadas avaliações de fitotoxicidade. Os resultados demonstraram ausência de sintomas visuais de injúria em todos os tratamentos avaliados, indicando que a tríplice lavagem, quando corretamente executada, foi eficiente na remoção de resíduos biologicamente ativos da mistura herbicida, independentemente do produto de limpeza utilizado, reforçando a importância do rigor operacional na descontaminação de pulverizadores para a prevenção da contaminação cruzada em sistemas de aplicação que envolvem dicamba.

Palavras-chave: limpeza de tanque; auxínicos; fitotoxicidade.

ABSTRACT

Cross-contamination of sensitive crops by residues of auxinic herbicides, particularly dicamba, remaining in the hydraulic system of agricultural sprayers represents one of the main challenges associated with the use of this active ingredient, as phytotoxic effects may occur even at extremely low exposure concentrations. In this context, the adoption of rigorous sprayer cleaning procedures, especially triple rinsing, is a fundamental practice for mitigating agronomic and environmental risks. Based on this issue, this chapter aimed to evaluate the efficiency of different cleaning products used in the hydraulic system of agricultural sprayers, through triple rinsing, for the removal of residues from a mixture containing dicamba, glyphosate, and an adjuvant. The experiment was conducted under controlled conditions using dicamba-susceptible soybean plants as bioindicator plants of residual effects. Treatments consisted of the use of TP Agro Tank®, Six Clean®, BRANDT Equipment Cleaner®, and Show Clean® (neutral detergent), as well as a water-only control, all subjected to a triple-rinse procedure. After cleaning, the residual rinse solution was collected and applied to the bioindicator plants, followed by phytotoxicity evaluations. The results showed no visible injury symptoms in any of the evaluated treatments, indicating that triple rinsing, when properly executed, was effective in removing biologically active residues of the herbicide mixture regardless of the cleaning product used, reinforcing the importance of operational rigor in sprayer decontamination to prevent cross-contamination in application systems involving dicamba.

Keywords: sprayer tank cleaning; auxinic herbicides; phytotoxicity.

2.1 INTRODUÇÃO

A contaminação do tanque e do circuito hidráulico do pulverizador constitui uma importante fonte de fitotoxicidade por herbicidas em sistemas que envolvem aplicações sequenciais de diferentes ingredientes ativos, uma vez que o equipamento pode atuar como reservatório temporário de resíduos químicos passíveis de disponibilização em aplicações subsequentes (Andersen *et al.*, 2010; Matthews, 2014). A presença desses resíduos tem sido associada a episódios de fitotoxicidade não intencional em culturas sensíveis, decorrentes tanto da liberação posterior de compostos retidos no sistema de pulverização quanto de processos como deriva e volatilização, podendo resultar em sintomas visuais e perdas agronômicas mesmo quando as práticas de aplicação aparentam ter sido adequadas (WSSA, 2018; Andersen *et al.*, 2010).

Estudos experimentais e revisões indicam que resíduos em níveis da ordem de poucos ppm (1–10 ppm) podem permanecer em componentes internos e não drenáveis do pulverizador, como tanques, filtros, válvulas, mangueiras, barras e pontas, não sendo completamente removidos por procedimentos de drenagem simples, o que favorece a persistência de concentrações biologicamente ativas de herbicidas (Huyghebaert *et al.*, 2007; Andersen *et al.*, 2010; Matthews, 2014; Inman *et al.*, 2021). Esses resíduos podem ser suficientes para causar fitotoxicidade em culturas altamente sensíveis, como a soja não tolerante aos auxínicos, reforçando a importância do controle de fontes pontuais de contaminação (Soltani *et al.*, 2020; Andersen *et al.*, 2010).

No contexto brasileiro, investigações e relatos técnicos também evidenciam que o dicamba, devido à sua elevada atividade biológica em baixas doses, e misturas em tanque, podem aumentar o risco de efeitos residuais e que procedimentos de limpeza apenas com água nem sempre são suficientes para eliminar esses resíduos do sistema hidráulico (Marques, 2021; Carvalho, 2023).

Esse fenômeno é particularmente crítico para herbicidas de alta atividade fisiológica, nos quais baixas quantidades, na ordem de 1-10 ppm, podem ser suficientes para provocar sintomas visíveis de injúria em culturas sensíveis, tornando a contaminação cruzada uma preocupação agronômica relevante e recorrente em diferentes sistemas de produção (Andersen *et al.*, 2010; Soltani *et al.*, 2020; Inman *et al.*, 2021). Dessa forma, o pulverizador deixa de ser apenas

um meio de aplicação e passa a representar um elemento central na gestão do risco de danos não intencionais, reforçando a necessidade de protocolos de limpeza eficientes e tecnicamente embasados para mitigar os efeitos de resíduos herbicidas no campo (Matthews, 2014; WSSA, 2018).

A persistência de resíduos de herbicidas no sistema hidráulico de pulverizadores está diretamente relacionada às propriedades físico-químicas das moléculas aplicadas e aos materiais constituintes do equipamento, como polímeros, borrachas e superfícies metálicas, que podem favorecer processos de adsorção e retenção temporária dos ingredientes ativos (Huyghebaert *et al.*, 2007; Matthews, 2014).

As propriedades físico-químicas do dicamba estão diretamente relacionadas ao seu potencial de retenção e disponibilização em sistemas de pulverização. Sua elevada solubilidade em água e caráter aniônico em pH usual de calda favorecem a permanência do herbicida dissolvido em resíduos líquidos retidos em componentes do circuito hidráulico, dificultando sua remoção completa por drenagem simples (Andersen *et al.*, 2010; Carbonari *et al.*, 2022).

Herbicidas com elevada solubilidade em água, alta atividade biológica e capacidade de interação com superfícies internas, como ocorre com compostos auxínicos, podem permanecer em volumes residuais localizados em mangueiras, filtros e válvulas, sendo gradualmente liberados em aplicações subsequentes mesmo após procedimentos convencionais de lavagem (Andersen *et al.*, 2010; Nuyttens *et al.*, 2011). Além disso, a complexidade do circuito hidráulico dos pulverizadores modernos aumenta a probabilidade de existência de pontos mortos e regiões de difícil drenagem, nos quais concentrações biologicamente ativas podem se manter por períodos prolongados, ampliando o risco de fitotoxicidade em culturas sensíveis (Nuyttens *et al.*, 2011; Matthews, 2014).

A sensibilidade diferencial das culturas agrícolas a resíduos de herbicidas constitui um aspecto central na avaliação do risco de contaminação cruzada, uma vez que espécies não tolerantes podem manifestar sintomas visuais e fisiológicos mesmo quando expostas a concentrações extremamente baixas de determinados ingredientes ativos (Matthews, 2014; Soltani *et al.*, 2020). Nesse contexto, o uso de plantas bioindicadoras tem sido amplamente adotado como ferramenta experimental para detectar a presença de resíduos biologicamente ativos remanescentes em sistemas de pulverização, devido à elevada sensibilidade

dessas culturas e à clara expressão de sintomas típicos de injúria (Andersen *et al.*, 2010; Huyghebaert *et al.*, 2007).

Diversos estudos demonstram que resíduos de herbicidas auxínicos retidos em pulverizadores, mesmo após procedimentos básicos de limpeza, podem causar injúrias significativas quando redistribuídos em aplicações subsequentes, configurando-se como uma das principais causas de danos não intencionais em sistemas agrícolas intensivos (Peterson *et al.*, 2016; Soltani *et al.*, 2020). Esses efeitos são particularmente evidentes em culturas altamente sensíveis, como soja não tolerante ao dicamba, batata e feijão, nas quais exposições a doses subletais podem resultar em sintomas visuais severos e redução de produtividade, mesmo em níveis muito baixos de contaminação (Everitt; Keeling, 2009; Moore *et al.*, 2013). Assim, a elevada eficácia biológica desses herbicidas, aliada à dificuldade de remoção completa de resíduos do sistema hidráulico, torna imprescindível a adoção de estratégias rigorosas de descontaminação de pulverizadores, especialmente quando esses produtos são utilizados em áreas com sucessão de culturas sensíveis (Grossmann, 2010; Peterson *et al.*, 2016).

O uso de misturas em tanque, prática amplamente adotada para ampliar o espectro de controle e otimizar operações agrícolas, pode intensificar a persistência de resíduos de herbicidas no sistema hidráulico dos pulverizadores, especialmente quando envolve moléculas de elevada atividade biológica associadas a adjuvantes específicos (Green; Hale; Kwon, 2012; Penner, 2000).

No caso do dicamba, misturas com glifosato e adjuvantes desenvolvidos para reduzir volatilização e deriva podem aumentar a estabilidade da molécula na calda e sua interação com materiais poliméricos do sistema hidráulico, elevando o risco de liberação residual em aplicações subsequentes (Green; Hale; Kwon, 2012; Soltani *et al.*, 2020).

Assim, a descontaminação eficaz do pulverizador após aplicações que envolvem dicamba ou misturas contendo adjuvantes constitui um passo crítico para prevenir danos off-target, proteger culturas sensíveis e reduzir impactos ambientais e econômicos, justificando estudos comparativos sobre a eficiência de diferentes agentes e protocolos de limpeza aplicados em condições operacionais reais (WSSA, 2018; Andersen *et al.*, 2010; Marques, 2021).

Os procedimentos de limpeza de pulverizadores agrícolas representam uma etapa fundamental na mitigação do risco de contaminação cruzada por herbicidas,

sendo a tríplice lavagem amplamente recomendada por órgãos reguladores, fabricantes e literatura técnica como prática padrão após aplicações potencialmente fitotóxicas (Huyghebaert *et al.*, 2007; Matthews, 2014). Esse procedimento baseia-se na sucessiva diluição e remoção dos resíduos remanescentes no sistema hidráulico, reduzindo progressivamente a concentração de ingredientes ativos presentes no equipamento; contudo, sua eficiência pode ser limitada quando realizada exclusivamente com água, sobretudo após aplicações de herbicidas de alta atividade biológica e elevada afinidade por superfícies internas do pulverizador (Andersen *et al.*, 2010; Matthews, 2014).

Os produtos comerciais destinados à limpeza de pulverizadores agrícolas têm sido desenvolvidos com o objetivo de aumentar a eficiência da remoção de resíduos de herbicidas do sistema hidráulico, atuando por meio de diferentes mecanismos, como ajuste de pH da calda, ação detergente, solubilização e complexação de moléculas adsorvidas às superfícies internas do equipamento (Penner, 2000; Matthews, 2014).

Apesar da ampla disponibilidade desses produtos no mercado, ainda são limitados os estudos científicos que comparam, de forma sistemática e sob condições controladas, a eficiência relativa de diferentes formulações na descontaminação de pulverizadores após aplicações de herbicidas auxínicos, especialmente envolvendo o dicamba e misturas em tanque com adjuvantes (Andersen *et al.*, 2010; Soltani *et al.*, 2020).

Diante disso, parte-se da hipótese de que produtos de limpeza específicos apresentam eficiência superior à lavagem convencional apenas com água na remoção de resíduos biologicamente ativos da mistura dicamba, glifosato e adjuvante, reduzindo o potencial de fitotoxicidade em culturas não tolerantes.

Assim, o objetivo deste capítulo foi avaliar a eficiência de diferentes produtos de limpeza utilizados no sistema hidráulico de pulverizadores agrícolas, por meio da tríplice lavagem, na remoção de resíduos da referida mistura herbicida, utilizando plantas de soja suscetíveis como bioindicadoras do efeito residual.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos consistiram em diferentes produtos comerciais utilizados para a limpeza de pulverizadores agrícolas, além de uma testemunha submetida apenas à lavagem com água (Tabela 1).

Tabela 1 – Informações sobre os produtos utilizados nos tratamentos.

Produto	Fabricante	Natureza	Dose
TP Agro Tank	Teixeira Pinto	Detergente desengraxante	0,1% v.v ⁻¹
Six Clean	Customise agro	Detergente neutro	0,5% v.v ⁻¹
Equipment Cleaner	Brandt	Tensoativo alcalinizante	1,0% v.v ⁻¹
Show Clean	Macatuba LTDA.	Detergente neutro	0,5% v.v ⁻¹
Testemunha (água)	-	-	-

Cada tratamento correspondeu a um procedimento completo de tríplice lavagem do pulverizador, utilizando as doses recomendadas pelos respectivos fabricantes, seguido da coleta da calda final e aplicação dessa calda sobre plantas de soja suscetíveis, utilizadas como bioindicadoras da presença de resíduos biologicamente ativos.

2.2.2. Preparo da calda e aplicação inicial

O pulverizador utilizado no experimento foi o da marca Jacto®, modelo Condor 800 AM14, com agitador mecânico, tanque de polietileno, equipado com barras de 14,5 metros bicos de pulverização espaçados em 0,50 metros entre si, montado no sistema de três pontos do trator da marca New Holland® modelo TL85. Inicialmente, foi realizado o preparo da calda de aplicação com taxa de aplicação de 150 L ha⁻¹ contendo a mistura de herbicidas Xtendicam® (Dicamba – 1 L p.c. ha⁻¹); Roundup® Transorb R (Glifosato – 2 L p.c. ha⁻¹) e XtendProtect 2® (Adjuvante - 1% v.v⁻¹), obedecendo a ordem de preparo (Figura 1), sendo o Roundup acrescido em água, com 50% do volume do tanque, seguido pelo Xtendicam e, após completa homogeneização da mistura, acrescido o adjuvante Xtend Protect, todos os produtos foram colocados via tampa do tanque

Figura 1 – Herbicidas e adjuvante utilizados no ensaio de descontaminação do sistema hidráulico.



Em seguida, procedeu-se à aplicação da calda por um período de cinco minutos, suficiente para que a calda circulasse por todo o circuito hidráulico, seguida do esvaziamento completo do tanque (Figura 2).

Figura 2 – Procedimentos de a) aplicação; e b) esvaziamento do tanque de pulverização.



2.2.3. Procedimento de limpeza do pulverizador

Após a aplicação da mistura herbicida e esvaziamento completo do pulverizador, foi realizado o procedimento de limpeza do pulverizador por meio da tríplice lavagem, conforme metodologia estabelecida pela EPA (2006) e FAO (2008).

1. Reabastecimento do tanque em 25% da capacidade apenas com água, correspondendo à primeira etapa da tríplice lavagem;
2. Recirculação do sistema durante cinco minutos, garantindo que a calda percorra todo o circuito hidráulico, seguida de aplicação por cinco minutos;
3. Esvaziamento completo do tanque;
4. Reabastecimento do tanque em 25% da capacidade, contendo o respectivo produto de limpeza, conforme cada tratamento, correspondendo à segunda etapa da tríplice lavagem;
5. Recirculação do sistema durante cinco minutos, garantindo que a calda percorra todo o circuito hidráulico, seguida de aplicação por cinco minutos;
6. Desmontagem e limpeza dos componentes principais, como filtros, portabicos e bicos;
7. Esvaziamento completo do tanque;
8. Reabastecimento do tanque em 25% da capacidade apenas com água, correspondente à última etapa da tríplice lavagem;
9. Recirculação do sistema durante cinco minutos, garantindo que a calda percorra todo o circuito hidráulico, seguida de aplicação por cinco minutos;
10. Esvaziamento completo do tanque (calda com destinação adequada para tanque de decantação).

Após a conclusão da tríplice lavagem, o tanque foi novamente reabastecido apenas com água, submetido à agitação por cinco minutos e operado por mais cinco minutos, momento no qual foram coletados 2 L da calda resultante do procedimento de limpeza com o auxílio de baldes de 5 litros de capacidade, posicionados sob diferentes pontas de pulverização ao longo da barra (Figura 3).

Figura 3 – Coleta da calda de pulverização pós-lavagem do sistema hidráulico com uso do balde.



2.2.4. Aplicação da calda residual e bioensaio

Como bioindicador dos resíduos remanescentes, foram utilizadas plantas de soja suscetíveis ao herbicida dicamba. A soja foi semeada em vasos de polietileno com dimensões de 15 × 15 × 10 cm, preenchidos com solo de textura arenosa previamente peneirado (Figura 4) em casa de vegetação com condições controladas, com temperatura média de 25 ± 2 °C e umidade relativa de $65 \pm 5\%$. A cultivar utilizada foi Brevant DS6217IPRO, portadora da tecnologia Intacta RR2 PRO, de hábito de crescimento indeterminado e sem tolerância genética ao

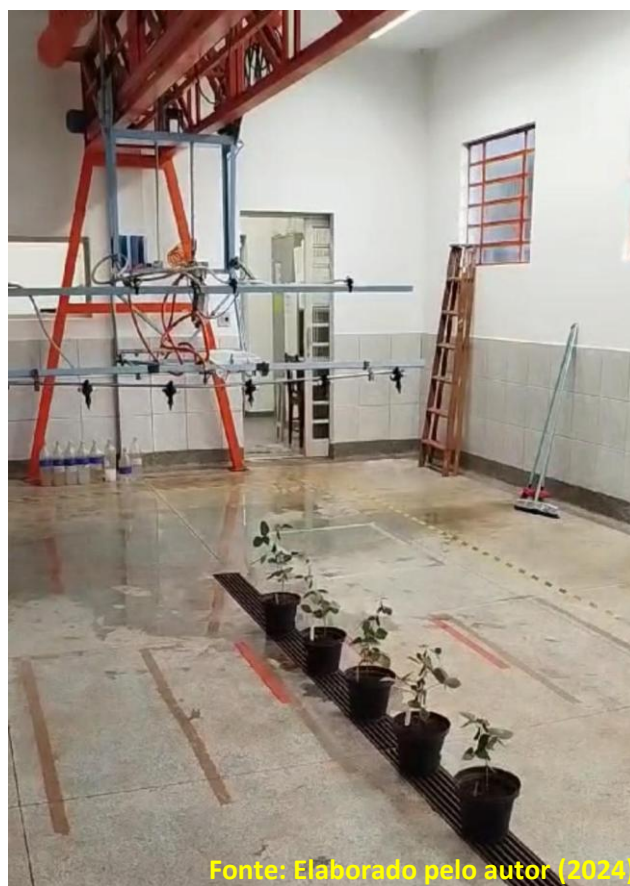
herbicida dicamba. Antes da semeadura, o solo foi umedecido e recoberto com uma camada de aproximadamente 2,0 cm de substrato comercial Carolina Soil®, com a finalidade de promover maior uniformidade na germinação e emergência das plântulas.

Figura 4 – Soja cultivada em vaso como planta bioindicadora.



A calda coletada ao final do procedimento de limpeza foi imediatamente aplicada sobre plantas de soja suscetíveis ao dicamba, em estágio V3. A aplicação dos tratamentos foi realizada utilizando um sistema de pulverização móvel com controle de velocidade de deslocamento e pressão de trabalho, localizado no Laboratório de Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas – PROTEC, do Departamento de Proteção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA/UNESP, Campus de Botucatu (Figura 5).

Figura 5 – Aplicação da calda nas plantas de soja bioindicadoras.



Essa aplicação teve como finalidade avaliar, por meio de bioensaio, a presença de resíduos biologicamente ativos remanescentes no sistema hidráulico do pulverizador após cada tratamento de limpeza foi utilizada uma taxa de aplicação de 120 L ha^{-1} , seguindo recomendação do fabricante do herbicida, que recomenda taxas de aplicação entre 100 a 150 L ha^{-1} . A ponta utilizada foi a ponta Magno Ultra Grossa, da empresa MagnoJet® sob pressão de trabalho de 30 PSI e velocidade de 5 km/h. As plantas foram mantidas em casa de vegetação sob condições controladas após a aplicação, sendo irrigadas e conduzidas de forma a evitar estresses adicionais que pudessem interferir na manifestação dos sintomas de fitotoxicidade.

2.2.5. Avaliação dos sintomas de fitotoxicidade

A eficiência dos tratamentos de limpeza foi avaliada indiretamente por meio da observação e quantificação dos sintomas de fitotoxicidade causados pela calda residual nas plantas de soja bioindicadoras. Foram considerados sintomas típicos

de injúria por dicamba, como epinastia, encarquilhamento foliar, deformações do limbo e redução do crescimento vegetativo.

As avaliações foram realizadas em intervalos definidos após a aplicação, utilizando-se escalas visuais de injúria, expressas em porcentagem, em que zero correspondeu à ausência de sintomas e 100% à morte da planta, conforme estabelecido pela SBCPD (1995) e classificados conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Escala de notas para avaliação visual de intoxicação das plantas pela mistura herbicida.

Conceito	Notas	Observação
Muito leve	0-5	Sintomas fracos ou pouco evidentes. Nota zero quando não se observam quaisquer alterações na cultura.
Leve	6-10	Sintomas nítidos, de baixa intensidade.
Moderada	11-20	Sintomas nítidos, mais intensos que na classe anterior.
Aceitável	21-35	Sintomas pronunciados, porém, totalmente tolerados pela cultura.
Preocupante	36-45	Sintomas mais drásticos que na categoria anterior, mas ainda passíveis de recuperação, e sem expectativas de redução no rendimento econômico.
Alta	46-60	Danos irreversíveis, com previsão de redução no rendimento econômico.
Muito alta	61-100	Danos irreversíveis muito severos, com previsão de redução drástica no rendimento econômico. Nota 100 para a morte de toda a cultura.

Fonte: SBCPD (1995)

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Fitotoxicidade

No presente experimento, a aplicação da calda residual coletada após a realização completa da tríplice lavagem, incluindo a testemunha submetida à lavagem apenas com água, não provocou manifestação de sintomas visuais característicos de injúria por dicamba nas plantas de soja utilizadas como bioindicadoras. Esse resultado indica que, sob as condições operacionais e metodológicas adotadas (cultivar suscetível, solo de textura arenosa, agitação do tanque por 5 minutos em cada etapa e aplicação da calda residual por 5 minutos), o procedimento de limpeza foi capaz de reduzir a carga de resíduo a níveis biologicamente insignificantes para a soja sensível.

A eficiência da tríplice lavagem está diretamente relacionada ao princípio da diluição sucessiva, associado à remoção física dos resíduos retidos em volumes residuais e em componentes de difícil drenagem do pulverizador. Estudos clássicos demonstram que a repetição das etapas de enxágue, aliada à agitação adequada do sistema e à operação do pulverizador durante o processo de limpeza, promove significativa redução da carga residual de herbicidas presentes no tanque, mangueiras, filtros e válvulas (Huyghebaert *et al.*, 2007; Andersen *et al.*, 2010). Nesse contexto, a correta execução do protocolo, incluindo tempo suficiente de agitação e aplicação da calda de limpeza, constitui fator determinante para a eficácia do procedimento, muitas vezes superando a simples escolha do agente de limpeza utilizado.

Resultados semelhantes têm sido relatados na literatura, especialmente em estudos que avaliaram a eficiência de protocolos de limpeza conduzidos com volumes adequados de água, múltiplas etapas de lavagem e circulação da calda por todo o sistema hidráulico do pulverizador. Browne *et al.* (2020) observaram que a tríplice lavagem, quando corretamente executada, foi suficiente para reduzir a retenção de dicamba em pulverizadores comerciais a níveis que não ocasionaram injúria visual em plantas de soja não tolerantes, mesmo sem o uso de agentes de limpeza específicos.

Da mesma forma, Huyghebaert *et al.* (2007) demonstraram que a repetição das etapas de enxágue e a adequada agitação do sistema exercem papel central na diluição e remoção de resíduos herbicidas presentes em componentes de difícil drenagem, como mangueiras, filtros e válvulas.

Entretanto, a interpretação desses resultados deve considerar que a eficiência da limpeza de pulverizadores é fortemente dependente das condições operacionais e estruturais do equipamento. Estudos indicam que fatores como o material do tanque, a complexidade do circuito hidráulico, a formulação do herbicida e a presença de adjuvantes podem influenciar a retenção de resíduos e, conseqüentemente, o risco de fitotoxicidade em aplicações subsequentes (Marques, 2021; Carpenter, 2019).

Além disso, vale destacar que a ausência de resposta visual nas plantas bioindicadoras não implica, necessariamente, a completa eliminação química das moléculas do sistema hidráulico, mas sim a redução da concentração residual a níveis inferiores ao necessário para uma resposta fisiológica da cultura.

Por fim, a eficiência observada neste estudo não invalida a utilização de produtos de limpeza específicos, mas evidencia que o sucesso do processo de descontaminação está fortemente condicionado à correta aplicação dos princípios operacionais da limpeza do pulverizador, constituindo um aspecto central da tecnologia de aplicação e da gestão do risco associado ao uso de herbicidas auxínicos. A utilização de produtos de limpeza específicos deve ser compreendida como uma ferramenta complementar, especialmente relevante em cenários mais complexos ou críticos, e não como substituta da correta execução das etapas fundamentais da tríplice lavagem.

2.3.2. Limitações do bioensaio e sensibilidade do método

O bioensaio com plantas suscetíveis constitui uma ferramenta amplamente empregada para a detecção de resíduos biologicamente ativos de herbicidas, especialmente aqueles pertencentes ao grupo dos auxínicos, em razão da elevada sensibilidade fisiológica das culturas não tolerantes e da manifestação clara de sintomas visuais mesmo em exposições a concentrações extremamente baixas.

No presente estudo, a utilização da soja suscetível ao dicamba, conduzida em estágio vegetativo inicial e em solo de textura arenosa, representou um cenário conservador para a detecção de possíveis efeitos residuais, aumentando a probabilidade de manifestação de injúrias caso resíduos biologicamente ativos estivessem presentes na calda residual aplicada.

Entretanto, é necessário reconhecer que o bioensaio apresenta limitações inerentes à sua natureza, sobretudo no que se refere à distinção entre a presença química do ingrediente ativo e sua relevância biológica. A ausência de sintomas visuais indica que a concentração residual do herbicida foi inferior ao limiar necessário para desencadear respostas fisiológicas detectáveis na cultura avaliada, mas não implica, necessariamente, a completa ausência da molécula no sistema hidráulico do pulverizador.

Além disso, a resposta ao dicamba pode variar em função do estágio fenológico da cultura, das condições ambientais e do histórico fisiológico das plantas, o que influencia a expressão dos sintomas e a sensibilidade do bioensaio. Estudos demonstram que plantas em estágios iniciais tendem a apresentar maior sensibilidade a auxínicos, enquanto exposições tardias podem resultar em

respostas menos evidentes ou em efeitos subletais de difícil quantificação visual (Robinson *et al.*, 2013; Soltani *et al.*, 2020).

Dessa forma, embora o bioensaio utilizado neste estudo seja apropriado para a detecção de efeitos residuais com relevância agronômica, sua interpretação deve considerar o contexto experimental em que foi conduzido. Do ponto de vista metodológico, a opção pelo bioensaio visual mostrou-se adequada ao objetivo do estudo, que foi avaliar a eficiência dos procedimentos de limpeza do pulverizador na remoção de resíduos biologicamente ativos, e não quantificar a concentração química residual do herbicida.

2.4 CONCLUSÃO

Nas condições em que o experimento foi conduzido, pode-se concluir que:

- Os procedimentos de limpeza do pulverizador avaliados são eficientes na remoção de resíduos biologicamente ativos da mistura contendo dicamba, glifosato e adjuvante;
- A tríplice lavagem é suficiente para prevenir a manifestação de sintomas de fitotoxicidade em plantas de soja suscetíveis, inclusive quando submetido apenas à lavagem com água;
- Esses resultados indicam que o rigor operacional na limpeza do sistema hidráulico constitui o principal fator para a mitigação do risco de contaminação cruzada após aplicações com dicamba.

REFERÊNCIAS

ANDERSEN, P. G. *et al.* Towards efficient sprayer cleaning in the field and minimum point source pollution. **Aspects of Applied Biology**, v. 99, p. (apud), 2010.

BROWNE, F. B. *et al.* Dicamba retention in commercial sprayers following triple rinse cleanout procedures and soybean response to contamination concentrations. **Agronomy**, v. 10, n. 6, p. 772, 2020.

CARPENTER, Z. **Evaluation and development of effective tank cleanout procedures**. 2019. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Mississippi State University, Starkville, 2019.

CARVALHO, S. J. P. de; Susceptibility of non-tolerant soybean to low rates of dicamba. **Weed Control Journal**. 2023.

COCHRAN, W. G.; COX, G. M. **Experimental Designs**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1992.

EVERITT, J. D.; KEELING, J. W. Cotton growth and yield response to simulated dicamba drift. **Weed Technology**, v. 23, n. 4, p. 503–506, 2009.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Guidelines on management options for empty pesticide containers**. Rome, 2008.

GREEN, J. M.; HALE, T.; KWON, S. J. Enhanced volatility of dicamba when applied with glyphosate. **Weed Technology**, Lawrence, v. 26, n. 1, p. 87–94, 2012.

GROSSMANN, K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. **Pest Management Science**, Hoboken, v. 66, n. 2, p. 113–120, 2010.

HUYGHEBAERT, B. *et al.* Rinsing procedures to reduce point source contamination from field crop sprayers. **Biosystems Engineering**, London, v. 98, n. 3, p. 369–377, 2007.

INMAN, M. D. *et al.* Evaluation of dicamba retention in spray tanks and its impact on flue-cured tobacco. **Weed Technology**, v. 35, n. 1, p. 35–42, 2021.

MARQUES, M. G. Dicamba residues in sprayers: phytotoxicity on non-target crops. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (RBEAA)**. 2021.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. 4. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2014. 536 p.

MOORE, C. R. *et al.* Dicamba injury to sensitive crops: soybean, dry bean, and potato. **Weed Technology**, v. 27, n. 2, p. 301–308, 2013.

NUYTTENS, D. *et al.* **The influence of operator-controlled variables on spray drift from field crop sprayers**. *Transactions of the ASABE*, St. Joseph, v. 54, n. 2, p. 491–501, 2011.

PENNER, D. Spray adjuvants. In: KIRKWOOD, R. C. (ed.). **Pesticide behaviour in soils and water**. Chichester: John Wiley & Sons, 2000. p. 273–304.

PETERSON, M. A. *et al.* 2,4-D and dicamba resistance and susceptibility in soybean. **Weed Science**, Cambridge, v. 64, n. 1, p. 178–186, 2016.

ROBINSON, A. P. *et al.* Response of soybean to dicamba applied at vegetative and reproductive growth stages. **Weed Technology**, Lawrence, v. 27, n. 4, p. 696–703, 2013.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS.
Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Londrina: SBCPD, p. 42, 1995.

SOLTANI, N.; *et al.* Off-target-movement assessment of dicamba in North America. **Weed Technology**, v. 34, n. 3, 2020.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Labeling Statements for Pesticide Products**. 2006.

WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. **WSSA Research Workshop for Managing Dicamba Off-Target Movement: Final Report**. Arlington, VA: WSSA, 2018. 28 p. Disponível em: https://wssa.net/wp-content/uploads/Dicamba-Report_6_30_2018.pdf. Acesso em: 31 dez. 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados nesta tese demonstram que a eficiência e a segurança do uso do herbicida dicamba na cultura da soja estão diretamente associadas à correta adoção dos princípios da tecnologia de aplicação e ao rigor operacional ao longo de todo o processo de pulverização. A adequada condução das operações de aplicação e pós-aplicação mostrou-se determinante tanto para o controle eficiente das plantas daninhas quanto para a mitigação de riscos relacionados a impactos fora do alvo, reforçando a importância de decisões técnicas fundamentadas no manejo do equipamento.

Quando respeitadas as recomendações técnicas e legais para a aplicação do dicamba, a eficiência de controle das principais espécies de plantas daninhas avaliadas não foi influenciada de maneira significativa pelos diferentes modelos de pontas de pulverização e pelas taxas de aplicação estudadas. No entanto, diferenças relevantes foram observadas no espectro de gotas gerado, indicando que a escolha do modelo de ponta exerce papel fundamental na segurança da aplicação. Parâmetros como diâmetro mediano volumétrico, fração de gotas finas e uniformidade do espectro mostraram-se essenciais para a caracterização do potencial risco de deriva, evidenciando que a tecnologia de aplicação deve considerar simultaneamente eficiência biológica e segurança operacional.

De forma complementar, os resultados relacionados à limpeza do pulverizador evidenciaram que a descontaminação do sistema hidráulico, quando realizada de maneira criteriosa por meio da tríplice lavagem, foi eficiente na remoção de resíduos biologicamente ativos da mistura contendo dicamba, glifosato e adjuvante. A ausência de sintomas de fitotoxicidade em plantas de soja suscetíveis, inclusive após procedimentos realizados apenas com água, demonstrou que o rigor na execução das etapas de limpeza constitui o principal fator para a prevenção da contaminação cruzada, destacando a relevância das boas práticas operacionais no uso seguro do dicamba.

Como perspectivas para trabalhos futuros, destaca-se a condução de ensaios até a colheita, com delineamento específico para avaliação de produtividade e integração entre bioensaios e análises químicas de resíduos, que poderão ampliar a compreensão sobre os limiares de segurança e contribuir para o refinamento de recomendações técnicas para o uso sustentável do dicamba em sistemas agrícolas.

REFERÊNCIAS

- BEHRENS, M. R. *et al.* Dicamba resistance: Enlarging and preserving biotechnology-based weed management strategies. **Science**, v. 316, p. 1185–1188, 2007.
- BUTLER ELLIS, M. C. *et al.* The Silsoe spray drift model: a model of spray drift for the assessment of non-target exposures to pesticides. **Biosystems Engineering**, v. 81, n. 3, p. 333–345, 2002.
- CARBONARI, C. A.; *et al.* Volatilization of dicamba diglycolamine salt in different conditions. **Agronomy**, v. 12, n. 5, p. 1001, 2022.
- CAVALCANTE, W. S. da S. *et al.* Efeito do produto comercial Valio à base de óleo de laranja na qualidade da aplicação. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. e38511225946, 2022.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 12, safra 2024/25, n. 12 décimo segundo levantamento, setembro 2025.
- CUNHA, J. P. A. R. *et al.* Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 21, n. 2, p. 325-332, 2003. DOI: 10.1590/S0100-83582003000200019.
- CUNHA, J. P. A. R. *et al.* Deposição de calda pulverizada na cultura da soja promovida pela aplicação aérea e terrestre. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 343-351, 2011.
- CUNHA, J. P. A. R. *et al.* Spray drift and droplet spectrum from agricultural spray nozzles with different spray patterns. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 10, p. 903–908, 2016. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v20n10p903-908.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C. Avaliação da uniformidade de pulverizadores de barra. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 4, p. 267-272, 2004.

EBERT, T. A. *et al.* Deposit structure and efficacy of pesticide application: interactions between droplet size, formulation, and plant response. **Weed Research**, Oxford, v. 54, n. 1, p. 1–10, 2014. DOI: 10.1111/wre.12063.

GAZZIERO, D. L. P. *et al.* Interferência da buva em áreas cultivadas com soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., Ribeirão Preto, 2010. **Anais...** Londrina: SBCPD, p. 1555-1558.

HOFFMANN, G.; NOGUEIRA, D.; YURI. Avaliação do controle de plantas daninhas submetidas à aplicação de herbicidas de diferentes modos de ação e tamanho de gotas. **PesquisAgro**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 3–11, 2023.

MATTHEWS, G. A. Pesticide application methods. **Oxford**: Wiley-Blackwell, 2008.

MATUO, T. *et al.* **Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: FUNEP, 2010.

MOREIRA, R. B. **Espectro de gotas e índice de deriva de diferentes pontas com indução de ar na pulverização de associações de dicamba com glyphosate**. Botucatu, SP: Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2020. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura).

MUELLER, T. C.; STECKEL, L. E. Dicamba volatility in humidomes as affected by temperature and herbicide treatment. **Weed Technology**, v. 33, n. 4, p. 541–546, 2019.

PAIXÃO, G. P. da. **Mortalidade e probabilidade de falha associadas ao controle químico de Tuta absoluta em tomate em função do tamanho de**

gotas e do volume de pulverização. 2021. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021.

PEREIRA, C. *et al.* Eficiência da aplicação com uso de drone e pulverizador terrestre. **Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 21, n. 3, p. e3025–e3025, 2024.

SILVA, D. R. O. *et al.* Drift of 2,4-D and dicamba applied to soybean at vegetative and reproductive growth stage. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 48, n. 8. 2018. DOI: 10.1590/0103-8478cr20180179.

TAKANO, H. K. *et al.* Goosegrass resistant to glyphosate in Brazil. **Planta Daninha**, v. 35, p. 1-9, 2017.

VARGAS, L.; ROMAN, E. S. (Org.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas.** 2. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. 780 p.

VAZ, V. Volume de calda e tamanho de gotas na aplicação de herbicidas. 2022. 51 f. **Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)** – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2022.

VINK, J. P. *et al.* Glyphosate-resistant giant ragweed (*Ambrosia trifida* L.) control in dicamba-tolerant soybean. **Weed Technology**, [s.l.], v. 26, n. 1, p. 13-21, 2012.