

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**Volume de calda e espectro de gotas na eficácia de herbicidas em aplicação
terrestre e aérea por meio de aeronave remotamente pilotada**

Valter Vaz
Doctor Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

VALTER VAZ

Volume de calda e espectro de gotas na eficácia de herbicidas em aplicação terrestre e aérea por meio de aeronave remotamente pilotada

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Francisco C. L. de Freitas

Coorientadores: Ricardo A. de La Cruz
Mariana B. T. Diniz

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

V393v Vaz, Valter, 1996-
2025 Volume de calda e espectro de gotas na eficácia de
herbicidas em aplicação terrestre e aérea por meio de aeronave
remotamente pilotada / Valter Vaz. – Viçosa, MG, 2025.
1 tese eletrônica (58 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Francisco Cláudio Lopes de Freitas.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Agronomia, 2025.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.580>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Ervas daninhas - Controle. 2. Produtos químicos agrícolas - Aplicação - Medição. 3. Herbicidas. 4. Drone.
I. Freitas, Francisco Cláudio Lopes de, 1968-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. III. Título.

CDD 22. ed. 632.5

VALTER VAZ

Volume de calda e espectro de gotas na eficácia de herbicidas em aplicação terrestre e aérea por meio de aeronave remotamente pilotada

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 25 de agosto de 2025.

Assentimento:

Valter Vaz
Autor

Francisco Claudio Lopes de Freitas
Orientador

Essa tese foi assinada digitalmente pelo autor em 09/09/2025 às 18:27:25 e pelo orientador em 10/09/2025 às 20:55:04. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **1TST.I3YB.2CZY** e clique no botão 'Validar documento'.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

A Deus.

Aos meus pais, Maria Aurora Peixoto Vaz e Cristiano Vaz Neto, pela educação que me proporcionaram.

Ao professor e orientador Francisco Cláudio Lopes de Freitas pela paciência, dedicação e ensinamentos.

Aos professores e coorientadores Ricardo Alcântara de la Cruz e Mariana Beatriz Teixeira Diniz, pelo apoio, dedicação e ensinamentos.

Aos professores e toda equipe do grupo de pesquisa de Manejo Integrado de Plantas Daninhas (MIPD), pela dedicação e conhecimentos compartilhados.

Aos funcionários do Vale da Agronomia e da UEPE Aeroporto pela ajuda na execução dos trabalhos em campo e pela amizade.

Ao Samuel do Val Gomide (SG Pulverizações), pela prestação do serviço de aplicação com drone, e Marllon Fialho de Castro, pelo suporte técnico.

À Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Agronomia e ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia por todo apoio, estrutura e oportunidade de cursar o mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

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

A todos que torceram por mim e que de alguma forma contribuiu para a conclusão de mais uma etapa em minha vida, muito obrigado!

RESUMO

VAZ, Valter, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2025. **Volume de calda e espectro de gotas na eficácia de herbicidas em aplicação terrestre e aérea por meio de aeronave remotamente pilotada.** Orientador: Francisco Claudio Lopes de Freitas. Coorientadores: Ricardo Alcantara de La Cruz e Mariana Beatriz Teixeira Diniz.

Os avanços nos equipamentos para aplicação de herbicidas revolucionaram o setor, permitindo o uso de volumes de calda muito abaixo dos indicados nas bulas para a maioria dos produtos. Essa tendência, aliada ao crescimento do uso de aeronaves remotamente pilotada (ARP, ou drones) e à busca por maior eficiência operacional, tem ampliado as opções para manejo de plantas daninhas e dessecação pré-colheita. No entanto, ainda há carência de informações técnicas sobre a eficácia de aplicações em baixo volume, especialmente para herbicidas translocados via xilema e dessecantes de contato, bem como sobre a interação entre volume de calda e espectro de gotas. Este trabalho é composto por duas pesquisas com o objetivo de avaliar a influência do volume de calda e do espectro de gotas sobre a qualidade de aplicação e a eficácia da dessecação e controle de plantas daninhas. Na primeira pesquisa (Capítulo 1), avaliou-se a aplicação de diquat (400 g i.a. ha⁻¹) em cinco volumes de calda, sendo quatro via ARP (5, 10, 15 e 20 L ha⁻¹) e um terrestre (200 L ha⁻¹) para dessecação do feijoeiro em pré-colheita, em duas épocas (verão-outono e outono-inverno). Nas aplicações com ARP, a cada 1 L ha⁻¹ de aumento no volume, houve incremento de 8,2 gotas cm⁻² e 0,3% na cobertura. Todos os tratamentos proporcionaram 100% de desfolha até 11 dias após aplicação (DAA) e anteciparam a colheita em até 15 dias, sem afetar a produtividade. Conclui-se que a dessecação pode ser realizada eficientemente via ARP com volumes de 5 a 20 L ha⁻¹. Na segunda pesquisa (Capítulo 2), avaliou-se quatro volumes de calda (35, 70, 140 e 280 L ha⁻¹) e dois espectros de gotas (médias – DMV 292 µm e muito grossas – DMV 466 µm) para aplicação de atrazine (2 kg i.a. ha⁻¹ + 0,5% v/v óleo vegetal) com pulverizador tratorizado, analisando qualidade de aplicação [densidade de gotas (gotas cm⁻²), cobertura (%) e deposição] e eficácia no controle de plantas daninhas no milho. A densidade de gotas e a cobertura aumentaram até cerca de 140 L ha⁻¹, com tendência de estabilização. Gotas médias proporcionaram maior densidade e cobertura nos volumes de 140 e 280 L ha⁻¹. A deposição do herbicida, avaliada por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), foi superior a 91%, demonstrando retenção proporcional a dose aplicada. O controle foi de 88% (35 L ha⁻¹) a 98% (=70 L ha⁻¹), sem influência do espectro de gotas, e não houve variação na produtividade, evitando perdas entre 24 e 34%.

Conclui-se que, para aplicação de atrazine com pulverizador tratorizado, deve-se usar volumes a partir de 70 L ha⁻¹, com gotas médias a muito grossas. A utilização de baixos volumes de calda, associada a adjuvantes e tecnologia de aplicação adequada, mantém alta eficiência agrônômica na dessecação pré-colheita e no controle de plantas daninhas, otimizando o uso de insumos, reduzindo custos e aumentando a autonomia das operações agrícolas.

Palavras-chave: porcentagem de cobertura; densidade de gotas; herbicida; drone; baixo volume

ABSTRACT

VAZ, Valter, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2025. **Spray Solution Volume and Droplet Spectrum in the Efficacy of Herbicides Applied by Ground and Aerial Application Using Remotely Piloted Aircraft.** Adviser: Francisco Claudio Lopes de Freitas. Co-advisers: Ricardo Alcantara de La Cruz and Mariana Beatriz Teixeira Diniz.

Advances in herbicide application equipment have revolutionized the sector, enabling the use of spray volumes well below those recommended on product labels for most chemicals. This trend, combined with the increasing use of remotely piloted aircraft (RPA, or drones) and the pursuit of greater operational efficiency, has expanded the options for weed management and pre-harvest desiccation. However, there is still a lack of technical information regarding the effectiveness of low-volume applications, particularly for xylem-translocated herbicides and contact desiccants, as well as on the interaction between spray volume and droplet spectrum. This study comprises two experiments aimed at evaluating the influence of spray volume and droplet spectrum on application quality and the effectiveness of desiccation and weed control. In the first experiment (Chapter 1), diquat (400 g a.i. ha⁻¹) was applied at five spray volumes, four by RPA (5, 10, 15, and 20 L ha⁻¹) and one by ground sprayer (200 L ha⁻¹), for pre-harvest desiccation of common bean in two growing seasons (summer–autumn and autumn–winter). In the RPA treatments, each 1 L ha⁻¹ increase in spray volume resulted in an increment of 8.2 droplets cm⁻² and a 0.3% increase in coverage. All treatments provided 100% defoliation up to 11 days after application (DAA) and advanced harvest by up to 15 days, without affecting yield. It was concluded that desiccation can be efficiently performed via RPA at spray volumes ranging from 5 to 20 L ha⁻¹. In the second experiment (Chapter 2), four spray volumes (35, 70, 140, and 280 L ha⁻¹) and two droplet spectra (medium – VMD 292 µm, and very coarse – VMD 466 µm) were evaluated for the application of atrazine (2 kg a.i. ha⁻¹ + 0.5% v/v vegetable oil) with a tractor-mounted sprayer, assessing application quality [droplet density (droplets cm⁻²), coverage (%), and deposition] and efficacy in weed control in maize. Droplet density and coverage increased up to approximately 140 L ha⁻¹, with a tendency to stabilize thereafter. Medium droplets provided higher density and coverage at 140 and 280 L ha⁻¹. Herbicide deposition, assessed by high-performance liquid chromatography (HPLC), exceeded 91%, demonstrating retention proportional to the applied dose. Weed control ranged from 88% (35 L ha⁻¹) to 98% (=70 L ha⁻¹), with no influence of droplet spectrum, and there

was no variation in crop yield, preventing losses between 24% and 34%. It was concluded that, for atrazine applications with a tractor-mounted sprayer, spray volumes of at least 70 L ha⁻¹ should be used, with medium to very coarse droplets. The use of low spray volumes, when combined with adjuvants and appropriate application technology, maintains high agronomic efficiency in pre-harvest desiccation and weed control, optimizing input use, reducing costs, and increasing the autonomy of agricultural operations.

Keywords: percentage of coverage; droplet density; herbicide; drone; low volume

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	10
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
Capítulo 1: Dessecação pré-colheita de feijão com diquat: Comparação entre aplicações aéreas e terrestres e volumes de calda	17
RESUMO	17
1. INTRODUÇÃO	19
2. MATERIAL E MÉTODOS	20
2.1. Caracterização da área experimental	20
2.2. Delineamento experimental e tratamentos	21
2.3. Aplicação do herbicida	22
2.4. Variáveis analisadas	23
2.5. Análise estatística	24
3. RESULTADOS	24
3.1. Qualidade da aplicação	24
3.2. Desfolha	26
3.3. Teor de Umidade dos Grãos	27
3.4. Produtividade	28
4. DISCUSSÃO	28
5. CONCLUSÕES	31
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
Capítulo 2: Controle de plantas daninhas com atrazine: influência do volume de calda e espectro de gotas	37
RESUMO	37
1. INTRODUÇÃO	39
2. MATERIAL E MÉTODOS	40
2.1. Delineamento experimental e tratamentos	40

2.2.	Caracterização experimental	40
2.3.	Aplicação do herbicida	41
2.4.	Variáveis resposta	42
2.5.	Análise estatística	46
3.	RESULTADOS	47
3.1.	Caracterização do espectro de gotas	47
3.2.	Qualidade da aplicação	47
3.3.	Análise cromatográfica	48
3.4.	Controle de plantas daninhas	50
3.5.	Produtividade da cultura do milho	50
4.	DISCUSSÃO	51
5.	CONCLUSÃO	54
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

INTRODUÇÃO GERAL

A eficiência na aplicação de herbicidas em pós-emergência está diretamente relacionada ao ajuste adequado dos parâmetros operacionais, em especial ao volume de calda e ao espectro de gotas utilizados. Esses fatores impactam a deposição da calda, a densidade de gotas e a cobertura do alvo, influenciando a ação do herbicida sobre as plantas daninhas (FREITAS et al., 2022; VAZ et al., 2024). Para a definição desses parâmetros, deve-se considerar as características do herbicida, o estágio das plantas daninhas, as condições ambientais e a tecnologia empregada na aplicação (GRIESANG & FERREIRA, 2021).

Herbicidas sistêmicos, como o glyphosate e o 2,4-D, que translocam via xilema e floema, demandam cobertura menor, pois são redistribuídos nos tecidos vegetais (MOTA et al., 2021). Já os herbicidas com translocação restrita ao xilema, como o atrazine, requerem maior cobertura do alvo, já que a translocação ocorre apenas no sentido do fluxo transpiratório (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2021). Por sua vez, herbicidas de contato, como o fomesafen e o diquat, necessitam de elevada cobertura e densidade de gotas, pois sua ação se limita à área atingida pela gota pulverizada (MENDES et al., 2022; VAZ et al., 2024). Em trabalhos anteriores, constatou-se que para aplicação do herbicida fomesafen, volumes de calda superior a 70 L ha⁻¹ com gotas médias ou muito grossas pode ser utilizado, desde que aplicação respeite o estágio de desenvolvimento da planta daninha (dois a três pares de folhas) e a utilização de adjuvante (VAZ et al., 2024).

O uso de óleo vegetal na aplicação de atrazine sobre controle de *Ipomoea triloba* foi investigado em diferentes volumes de calda (50 e 200 L ha⁻¹), os tratamentos sem adição de óleo vegetal não apresentaram controle eficiente, mesmo no volume de 200 L ha⁻¹, enquanto com a adição de óleo vegetal, independente do volume de calda o controle foi eficiente (DAMO, 2023).

O volume de calda ou taxa de aplicação é classificado cinco categorias: alto volume (maior que 600 L ha⁻¹); volume médio (200 – 600 L ha⁻¹); volume baixo (50 – 200 L ha⁻¹); volume muito baixo (5 – 50 L ha⁻¹); e volume ultrabaixo (< 5 L ha⁻¹) (Mattheus, 1979). Entretanto, essa classificação envolve aplicações com características muito distintas, como aplicações de inseticidas e fungicidas em hortaliças e espécies arbóreas que podem requerer volumes muito diferentes.

Nas aplicações terrestres de herbicidas com pulverizadores de barra, é comum verificar recomendações em bula com volumes de calda superiores a 200 L ha⁻¹, chegando até 400 L ha⁻¹. Considerando o grande avanço na tecnologia de aplicação, atualmente é possível obter boa cobertura do alvo com volumes de calda bem inferiores aos sugeridos por Matthews (1979). Nesse sentido é possível afirmar que o volume de calda ideal é o menor volume possível, que proporciona a cobertura necessária do alvo e aplicação segura do ponto de vista ambiental (Freitas, 2022).

Aplicações com volumes inferiores a 70 L ha⁻¹ são viáveis e apresentam vantagens como maior autonomia operacional, menor consumo e transporte de água, redução de custos possibilidade de aplicação em horários mais adequados. Também reduzem o uso de adjuvantes, já que a dose é proporcional ao volume de calda (FREITAS et al., 2022). Em contrapartida, volumes muito baixos exigem rigorosa calibração e seleção de tamanho de gotas para evitar deriva, sobretudo para herbicidas de contato (FERGUSON et al., 2016). Além de problemas relacionados à incompatibilidade física na calda, que pode ser um problema principalmente para aplicações com aeronaves remotamente pilotada (ARP) popularmente conhecidos como drones, que utilizam ultra baixos volumes (inferiores a 20 L ha⁻¹).

Dentre os equipamentos de pulverização, os ARP, representam uma nova abordagem alinhada com os princípios da agricultura digital, e apresenta vantagens como: consumo reduzido de água, não causa compactação no solo nem amassamento na cultura, permite aplicação em áreas de difícil acesso, precisão e uniformidade na aplicação, redução da exposição do operador, além de operar com baixos volumes de aplicação o que aumenta o rendimento operacional (HAFEEZ et al., 2023; OLIVEIRA et al., 2024).

Apesar dos benefícios do uso de ARP na aplicação de produtos fitossanitários, é importante considerar seus desafios, como a necessidade de mão-de-obra especializada, baixa capacidade de carga, restrições operacionais em função da fonte de energia, dificuldade na mistura de produtos e maior risco de deriva, já que as gotas se formam mais distantes do alvo (HAFEEZ et al., 2023; CARNEIRO et al., 2024). Além disso, há barreiras regulatórias complexas, envolvendo diferentes órgãos — como a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) — e incluem

exigências relativas ao registro dos equipamentos, certificações de aeronavegabilidade, qualificação profissional por meio do Certificado de Aplicação Aeroagrícola Remota (CAAR), presença obrigatória do responsável no local da aplicação, além do cumprimento rigoroso de normas de segurança e possibilidade de sanções legais (MAPA, 2021; ANAC, 2023; OLIVEIRA et al., 2024).

Embora ainda existem desafios operacionais e regulatórios, a aplicação de produtos fitossanitários por ARP já é amplamente utilizada no campo, avançando em ritmo mais acelerado do que a própria produção científica. Ainda que sejam relativamente poucos, já existem trabalhos que avaliam essa tecnologia e fornecem evidências importantes sobre seu desempenho.

Resultados de pesquisas recentes demonstram a eficácia de parâmetros operacionais da pulverização aérea com ARP e terrestre com pulverizador costal pressurizado com CO₂, utilizando volumes de calda de 19 e 37 L ha⁻¹ para ARP e 140 L ha⁻¹ para o pulverizador pressurizado a CO₂, observa-se que a densidade de gotas na superfície adaxial da folha aumentou substancialmente para aplicação via ARP em comparação à aplicação terrestre, possivelmente em função da turbulência gerada pelo fluxo descendente de ar dos rotores. Esse fluxo, ao interagir com a superfície foliar e o dossel, cria zonas de recirculação chamadas vórtices, capazes de direcionar a calda ao alvo, além de movimentar e inverter as folhas, expondo a face inferior à pulverização. Esse efeito aerodinâmico favorece a deposição de gotas em áreas de difícil alcance e aumentar a eficácia de herbicidas de contato (MARTIN et al., 2020a).

O impacto do volume de calda na deposição de pulverização e no controle de pragas e doenças em trigo (*Triticum aestivum*) foi investigado utilizando helicóptero pulverizador (9, 17 e 28 L ha⁻¹) e pulverizador costal elétrico (225 e 450 L ha⁻¹). No volume de 9 L ha⁻¹, tanto a deposição quanto o controle de pragas e doenças foram insatisfatórios. Já os volumes de 17 L ha⁻¹ (com inseticida sistêmico) e 28 L ha⁻¹ (com inseticida e fungicida de contato), a eficácia foi comparável ao pulverizador costal elétrico. Em ambos os volumes utilizados no pulverizador costal, verificou-se menor deposição devido a perdas por escorrimento (WANG et al., 2019).

A aplicação via ARP de glyphosate (415 g e.a. ha⁻¹) com diferentes pontas de pulverização e volumes de calda variando de 9 a 28 L ha⁻¹, para controle de plantas daninhas em terras de pousio no Texas, EUA resultou em boa eficácia, independente do volume de calda ou ponta de pulverização empregada (MARTIN et al., 2020b). A

eficiência de dessecação de plantas de cobertura com glyphosate aplicado via ARP, nos volumes de 5, 10, 15, 20 e 25 L ha⁻¹, manteve-se elevada, independentemente do volume utilizado (CARNEIRO et al., 2024). Em conjunto, os resultados indicam que herbicidas sistêmicos como o glyphosate não dependem diretamente do volume de calda, pois o produto absorvido pela folha é redistribuído para as demais partes da planta (MARTIN et al., 2020b; MOTA et al., 2021; CARNEIRO et al., 2024).

Para herbicidas que translocam via xilema ou de ação de contato a cobertura do alvo influencia a ação do produto quando aplicados em pós-emergência (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2021; VAZ et al., 2024). A dessecação de algodão com tidiazuron e diuron (360 e 180 g L⁻¹, respectivamente) via ARP, em volumes de 15, 18 e 22,5 L ha⁻¹, apresentou índices de desfolha aos 14 dias após aplicação (DAA) de 95% para 22,5 L ha⁻¹ e de 85 e 90% para 15 e 18 L ha⁻¹, respectivamente, o que demonstra que a eficiência da desfolha está relacionada com o volume de calda (MENG et al., 2019).

O impacto individual e a interação dos parâmetros operacionais de ARP na distribuição de gotas sobre a copa do algodão, considerando diferentes volumes (9, 12 e 15 L ha⁻¹), tamanhos de gotas (100, 150 e 200 µm) e alturas de voo (1, 2 e 3 m), indicam que ajustes nesses parâmetros podem otimizar a penetração das gotas, sendo o volume de pulverização um fator determinante para a distribuição e deposição da calda de pulverização (CHEN et al., 2021).

Os resultados dos estudos mencionados evidenciam que o desempenho da aplicação via ARP varia conforme o tipo de herbicida, o volume de calda e as condições operacionais empregadas. Nesse contexto, as ARPs introduzem novas oportunidades e desafios na definição do volume de calda ideal. Embora essa tecnologia possibilite aplicações com volumes inferiores a 20 L ha⁻¹, a eficácia do tratamento depende diretamente da cobertura obtida, o que torna imprescindível compreender a interação entre volume de calda, espectro de gotas e o modo de ação do herbicida utilizado nesta modalidade de aplicação (HAFEEZ et al., 2023; CARNEIRO et al., 2024).

Assim, torna-se fundamental gerar informações técnicas que orientem a escolha do volume e do espectro de gotas mais adequados para diferentes classes de herbicidas em aplicações com pulverizadores terrestres e em aplicação aérea por meio de ARP, promovendo a eficiência agrônômica, a sustentabilidade ambiental e a racionalização do uso de insumos na agricultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (Brasil). Resolução nº 710, de 27 de junho de 2023. Altera o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil – RBAC nº 94, que dispõe sobre aeronaves não tripuladas. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 72, 28 jun. 2023.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 298, de 22 de setembro de 2021. Estabelece requisitos para a aplicação aérea de agrotóxicos, adjuvantes, fertilizantes e sementes por aeronaves remotamente pilotadas. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 181, p. 10, 23 set. 2021.

CARNEIRO, R. P.; et al. Variation of glyphosate spray volume in the drying of ground cover plants with an unmanned aerial vehicle. **Crop Protection**, v. 181, p. 106694, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106694>

CHEN, P.; et al. Droplet distributions in cotton harvest aid applications vary with the interactions among the unmanned aerial vehicle spraying parameters. **Industrial Crops and Products**, v. 163, p. 113324, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113324>.

DAMO, L. **Volume de calda e adição de óleo mineral para aplicação de glyphosate e atrazine sobre o controle de *Ipomoea triloba***. 2023. 58p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2023.

FERGUSON, J. C. et al. Assessing the deposition and canopy penetration of nozzles with different spray qualities in an oat (*Avena sativa* L.) canopy. **Crop Protection**, v. 81, p. 14–19, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.11.013>

FREITAS, F. C. L. de; CUNHA, J. P. A. R.; ZANON, A. J. **Desafios e avanços na tecnologia de aplicação de herbicidas**. In: MENDES, K. F.; SILVA, A. A. (org.). Plantas daninhas: herbicidas. São Paulo: Oficina de Textos, 2022. p. 155–200.

GRIESANG, F.; FERREIRA, M.C. **Tecnologia de aplicação para herbicidas**. In: BARROSO, A.A.M.; MURATA, A.T. (Org.). Matologia: Estudos sobre plantas daninhas. 1ª ed. Jaboticabal – SP: Fábrica da Palavra, p.428-449, 2021.

HAFEEZ, A. et al. Implementation of drone technology for farm monitoring & pesticide spraying: a review. **Information Processing in Agriculture**, v. 10, n. 2, p. 192–203, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2022.02.002>

MARTIN, D. E. et al. Aerial application methods for control of weed species in fallow farmlands in Texas. **Agronomy**, v. 10, n. 11, e1764, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10111764>.

MARTIN, D. et al. Spray deposition on weeds (Palmer amaranth and morningglory) from a remotely piloted aerial application system and backpack sprayer. **Drones**, v. 4, n. 3, p. 59, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones4030059>.

MENDES, K. F.; SILVA, A. A.; MIELKE, K. C. **Classificação, seletividade e mecanismos de ação de herbicidas**. In: MENDES, K. F.; SILVA, A. A. (org.). Plantas daninhas: herbicidas. São Paulo: Oficina de Textos, 2022. p. 17–49.

MENG, Y. et al. Harvest-aid application strategy in different cotton planting densities by unmanned aerial vehicle. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 2, n. 1, p. 31-41, 2019. DOI: <https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20190201.0027>.

MATTHEWS, G. A. Pesticide Application Methods. London, Longman, 1979. 334 p.

MOTA, L. M.; et al. Controle de *Urochloa brizantha* cv. Marandu por glifosato e sua interação com a disponibilidade de luz. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 6, p. 130–139, 2021. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.006.0011>

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; BIFFE, D. F.; MACHADO, F. G. **Mecanismos de ação de herbicidas**. In: BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. (org.). Matologia: estudos sobre plantas daninhas. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021. p. 170–204.

OLIVEIRA, F. S. et al. *Tecnologia de drones voltada para pulverização agrícola*. **Scientific Electronic Archives**, v. 18, n. 1, 2024. <https://doi.org/10.36560/18120252017>.

VAZ, V. et al. Spray volume and droplet spectrum in the control of *Bidens pilosa* and *Ipomoea triloba* with the Fomesafen herbicide. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 28, n. 8, e282568, 2024. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n8e282568>.

WANG, G. et al. Field evaluation of an unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: effect of spray volume on deposition and the control of pests and disease in wheat. **Pest Management Science**, v. 75, n. 6, p. 1546-1555, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5321>.

Capítulo 1: Dessecação pré-colheita de feijão com diquat: Comparação entre aplicações aéreas e terrestres e volumes de calda

RESUMO

A dessecação em pré-colheita é uma prática importante para antecipar e viabilizar a colheita mecanizada. O presente estudo teve como objetivos avaliar a qualidade da aplicação e a eficácia do diquat (400 g i.a. ha⁻¹) aplicado em diferentes volumes de calda, por meio de aeronave remotamente pilotada (ARP / “drones”) (5; 10; 15 e 20 L ha⁻¹) e aplicação terrestre (200 L ha⁻¹), bem como verificar o tempo de antecipação para a colheita do feijoeiro em duas épocas de cultivo (verão-outono e outono-inverno). Nas aplicações via ARP, verificou-se que para cada 1,0 L ha⁻¹ que se aumenta no volume de calda ocorre incremento de 8,2 gotas cm⁻² e 0,3% na cobertura. Aos 4 e 7 dias após a aplicação (DAA), os menores índices de desfolha ocorreram com volumes de calda de 5 e 10 L ha⁻¹, em comparação aos volumes de 15, 20 e 200 L ha⁻¹, no entanto, aos 11 DAA, observou-se 100% de desfolha para todos os volumes de calda avaliados em ambas as épocas de cultivo. Os tratamentos com diquat atingiram a umidade ideal para colheita mecanizada (17–18%) aos 11 DAA no cultivo verão-outono e aos 12 DAA no cultivo outono-inverno, independentemente do volume de calda, de modo a proporcionar antecipação da colheita em 15 e 12 dias nos experimentos de verão-outono e outono-inverno, respectivamente, em relação aos tratamentos sem aplicação do dessecante, sem prejuízo à produtividade de grãos. Conclui-se, portanto, que a dessecação em pré-colheita pode ser realizada de forma eficiente com aplicação via ARP, utilizando volumes de calda entre 5 e 20 L ha⁻¹.

Palavras chave: Porcentagem de cobertura; eficiência de desfolha; colheita mecânica; aeronave não tripulada; densidade de gotas.

Pre-harvest desiccation of common bean with diquat: comparison between aerial and ground applications and spray volumes

ABSTRACT

Pre-harvest desiccation is an important practice to anticipate and enable mechanized harvesting. The present study aimed to evaluate the application quality and efficacy of diquat (400 g a.i. ha⁻¹) applied at different spray volumes using a remotely piloted aircraft (RPA, or “drone”) (5, 10, 15, and 20 L ha⁻¹) and a ground sprayer (200 L ha⁻¹), as well as to determine the extent to which bean harvest could be anticipated in two cropping seasons (summer–autumn and autumn–winter). For RPA applications, each 1.0 L ha⁻¹ increase in spray volume resulted in an increase of 8.2 droplets cm⁻² and 0.3% in coverage. At 4 and 7 days after application (DAA), the lowest defoliation rates were observed with spray volumes of 5 and 10 L ha⁻¹ compared to 15, 20, and 200 L ha⁻¹; however, at 11 DAA, 100% defoliation was achieved for all spray volumes in both cropping seasons. Treatments with diquat reached the ideal grain moisture for mechanized harvesting (17–18%) at 11 DAA in the summer–autumn crop and at 12 DAA in the autumn–winter crop, regardless of spray volume, resulting in harvest anticipation of 15 and 12 days, respectively, compared to the untreated control, without yield reduction. Therefore, it is concluded that pre-harvest desiccation can be efficiently performed using RPA with spray volumes between 5 and 20 L ha⁻¹.

Keywords: Coverage percentage; defoliation efficiency; mechanized harvesting; unmanned aircraft; droplet density.

1. INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) atinge a maturidade fisiológica quando 50% das vagens perdem sua pigmentação e adquirem a coloração típica da variedade. No entanto, o teor de umidade dos grãos ainda é elevado, situando-se entre 40% e 50%, a depender da cultivar (PRIA & AMORIM, 2018). A colheita mecanizada com umidade dos grãos superior a 18% acarreta perdas por esmagamento durante o processo de trilha (PEREIRA FILHO et al., 2021). A dessecação pré-colheita é fundamental para uniformizar a umidade dos grãos, antecipar a colheita, ampliar a janela de plantio da cultura sucessora e reduzir a exposição das sementes a fatores ambientais adversos (MARQUES et al., 2023). Essa prática é comum em culturas como milho e soja (SILVA et al., 2023), mas sua adoção na cultura do feijão ainda não é expressiva (PINTO et al., 2014).

O paraquat, herbicida amplamente utilizado para dessecação pré-colheita, foi banido no Brasil em 2020 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017). Como alternativa, o diquat passou a ser empregado na dessecação de culturas como soja e feijão (ZUFFO et al., 2020; ALBRECHT et al., 2022; SILVA et al., 2022). O diquat é um herbicida de contato, de amplo espectro, que atua interrompendo o processo de fotossíntese, promovendo a dessecação e morte acelerada das plantas (GUO et al., 2023). Além disso, apresenta curta persistência no solo, o que o torna adequado para aplicações pré-colheita ou pré-plantio, sem risco de efeitos residuais no solo sobre culturas subsequentes (GRINT et al., 2022).

Estudos recentes demonstram a eficácia do diquat na dessecação de culturas como soja e feijão-comum, embora a atenção ao estágio fenológico da planta seja essencial. Em soja (*Glycine max*), a aplicação de diquat nos estádios R7.2 e R7.3 promoveu aceleração da desfolha e da maturação, permitindo antecipar a colheita em aproximadamente três dias. Contudo, aplicações em estádios mais precoces resultaram em perdas de produtividade e qualidade dos grãos (ALBRECHT et al., 2022). No feijão-comum, a aplicação de diquat promoveu dessecação uniforme das folhas, vagens e caules, permitindo a antecipação da colheita sem comprometer o rendimento (SOLTANI et al., 2013).

O uso de ARP, para aplicação de defensivos agrícolas representa uma inovação promissora no contexto da agricultura digital. Essa tecnologia destaca-se pelo baixo consumo de água, ausência de compactação do solo ou danos mecânicos

à cultura, e pela capacidade de operar com baixos volumes de calda, o que aumenta a eficiência operacional (HAFEEZ et al., 2023; NOBRE et al., 2023; CANICATTI & VALLONE, 2024). Estudos recentes indicam que as ARP podem aumentar a eficácia de herbicidas de contato como o diquat, devido ao vórtice gerado pelas hélices, que auxilia no movimento das folhas e na deposição de gotas nas superfícies adaxial e abaxial (MARTIN et al., 2020a,b). Segundo informações contidas na bula, o volume de calda recomendado para aplicação de diquat varia entre 200 e 300 L ha⁻¹ para aplicações terrestres. No entanto, com o uso crescente de ARP, torna-se necessário reduzir esses volumes, para viabilizar aplicação em áreas maiores. Estudos comparativos entre ARP e pulverizadores convencionais indicam que a adequação do volume de calda e do tamanho das gotas é essencial para otimizar o controle de pragas (WANG et al., 2019; MARTIN et al., 2020a, b; CHEN et al., 2021).

Este estudo parte da hipótese de que a aplicação de diquat via ARP, utilizando volumes reduzidos de calda, pode proporcionar eficiência de desfolha comparável à obtida com aplicações terrestres convencionais. Assim, os objetivos foram avaliar a qualidade da pulverização e a eficiência da desfolha com aplicação de diquat em diferentes volumes de calda utilizando ARP (5, 10, 15 e 20 L ha⁻¹) e pulverizador costal pressurizado com CO₂ (200 L ha⁻¹), em duas épocas de cultivo, bem como analisar os efeitos na antecipação da colheita e na produtividade da cultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área experimental

O semeio do feijão no período de verão-outono foi realizado em 28 de fevereiro de 2024, sob condições de sequeiro, na UEPE aeroporto do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada em Viçosa, Minas Gerais, Brasil (latitude 20°44'35.9"S, longitude 42°50'40.6"W, e altitude aproximada de 650 m). O semeio do feijão outono-inverno foi realizado em 20 de maio de 2024, em área experimental irrigada por aspersão no município de Cajuri, Minas Gerais (UEPE Horta Nova) (latitude 20°76'19.9"S, longitude 42°82'49.6"W, e altitude aproximada de 700 m), onde se aplicou semanalmente uma lâmina de irrigação de 30 mm até a fase de maturação fisiológica das plantas (80 dias após a semeadura - DAS). Ambas as áreas haviam sido previamente utilizadas para produção de grãos: milho na área do feijão verão-outono, e milho e soja na área do feijão outono-inverno. Em

ambos experimentos a semeadura foi realizada em sistema de plantio direto, com espaçamento de 0,5 m entre linhas e densidade de 14 sementes por metro linear.

A adubação foi realizada com base em análise de solo e nas recomendações da 5ª Aproximação – Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (RIBEIRO & ALVAREZ, 1999). As práticas de manejo fitossanitário para controle de plantas daninhas, pragas e doenças foram realizadas conforme as exigências da cultura. Os dados médios de temperatura e precipitação foram obtidos da estação meteorológica da UFV (Figura 1), as informações climáticas são representativas para os municípios de Viçosa e Cajuri, dada a proximidade geográfica entre eles.

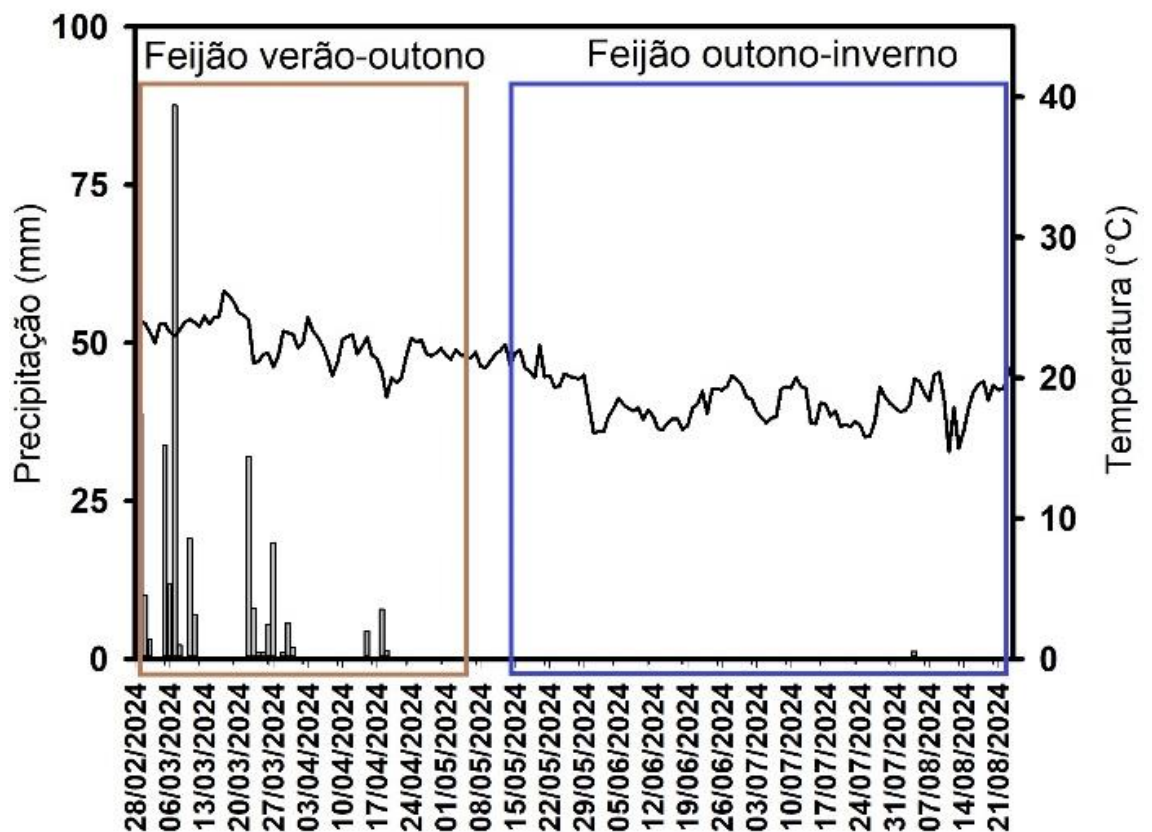


Figura 1: Dados meteorológicos referentes à temperatura média do ar e à precipitação diária, obtidos da estação meteorológica da Universidade Federal de Viçosa (UFV) durante o período de cultivo do feijão verão-outono e outono-inverno nos municípios de Viçosa e Cajuri, Minas Gerais, Brasil.

2.2. Delineamento experimental e tratamentos

Os experimentos foram conduzidos durante o período de verão-outono e outono-inverno, utilizando a cultivar VR 27 de feijão vermelho, semeada sob distintas

condições agronômicas e ambientais. Foi adotado o delineamento em blocos casualizados, com parcelas de 20×20 m, avaliando-se seis tratamentos, cada um com cinco repetições. Os tratamentos consistiram na aplicação de diquat via ARP em quatro volumes de calda (5, 10, 15 e 20 L ha⁻¹), um tratamento controle sem aplicação e um tratamento adicional com pulverizador costal pressurizado a CO₂, utilizando volume de calda de 200 L ha⁻¹.

2.3. Aplicação do herbicida

O diquat (Reglone® SL, Syngenta) foi aplicado na fase de maturação fisiológica da cultura do feijão, aos 65 e 96 DAS para o feijão verão-outono e outono-inverno, respectivamente (Figura 2). A dose do diquat foi de 400 g i.a. ha⁻¹ mais adjuvante ADMAX (Multiprime) na proporção de 1% v/v. Os volumes de calda foram de 5, 10, 15 e 20 L ha⁻¹, e foram aplicados utilizando o AGRAS T10 (DJI, China), os ajustes no equipamento envolveu a combinação da vazão das pontas (TT110015, duas ou quatro), faixa de aplicação e velocidade do equipamento (Tabela 1). A aplicação com volume de calda de 200 L ha⁻¹ foi realizada com pulverizador costal pressurizado por CO₂ (Herbicat, Brasil), equipado com barra de quatro pontas TT110015, espaçados a 0,5 m entre si, com altura de aplicação de 0,5 m do alvo.

Tabela 1: Parâmetros operacionais da aplicação via aeronave remotamente pilotada (ARP)

Volume de calda (L ha ⁻¹)	Velocidade (km h ⁻¹)	Faixa de aplicação (m)	Vazão por ponta (L min ⁻¹)	
			2 pontas	4 pontas
5	18	4,5	0,337	-
10	18	4,5	-	0,337
15	18	3,0	-	0,337
20	18	2,2	-	0,335

Altura de voo de 3 metros.

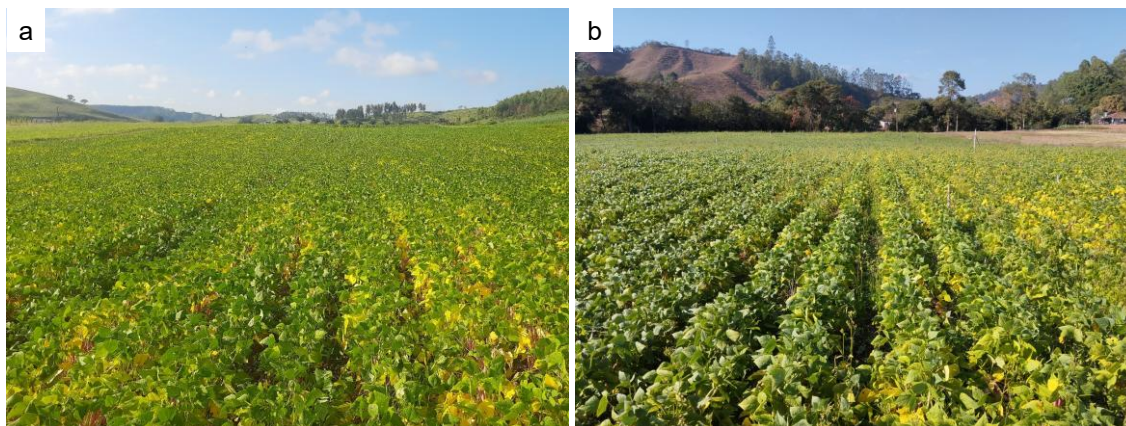


Figura 2: Maturação fisiológica do feijão verão-outono aos 65 DAS (a), e do feijão outono-inverno aos 96 DAS (b)

Durante a aplicação do herbicida para o feijão verão-outono, as condições ambientais foram de 26 ± 1 °C de temperatura, $50 \pm 5\%$ de umidade relativa e velocidade do vento entre 4 e 6 km h⁻¹. Para o feijão de outono-inverno, a temperatura foi de 22 ± 1 °C, umidade relativa de $60 \pm 5\%$, e velocidade do vento entre 4 e 6 km h⁻¹. As condições ambientais foram registradas no início da aplicação com auxílio de um Termohigrômetro Digital Luxímetro Anemômetro (Lutron, LM-8000 A, China).

2.4. Variáveis analisadas

Qualidade de Aplicação: A porcentagem de área coberta, densidade de gotas (gotas cm⁻²), deposição (L ha⁻¹) e amplitude relativa (SPAN) foram determinados por meio de imagens digitalizadas com resolução de 600 pontos por polegada (PPP), e analisadas utilizando o software Gotas (Embrapa, 2000). As imagens foram obtidas a partir de papéis hidrossensíveis (Syngenta, Suíça) posicionados horizontalmente na altura das plantas de feijão.

Desfolha: A desfolha das plantas de feijão foi avaliada visualmente aos 4, 7 e 11 dias após a aplicação (DAA), utilizando uma escala percentual de 0% (sem desfolha) a 100% (desfolha total).

Teor de Umidade dos Grãos: Este parâmetro foi monitorado a partir de 4 DAA até que os grãos atingissem 18% de umidade, por meio da avaliação de amostras de aproximadamente 150 g de grãos por tratamento. As medições foram realizadas utilizando medidor de umidade de grãos modelo G600 (Gehaka Agri, São Paulo, Brasil), conforme as instruções do fabricante.

Produtividade: Todas plantas foram coletadas de duas linhas centrais de três metros de comprimento de cada parcela experimental. Após a trilha e limpeza dos grãos, foi determinada a produtividade em kg ha^{-1} , com umidade corrigida para 15%.

2.5. Análise estatística

Análise de regressão foi realizada para avaliar os parâmetros de deposição de gotas, porcentagem de cobertura, volume de deposição e amplitude relativa (SPAN). Os modelos de regressão foram selecionados com base na significância dos coeficientes, avaliada por meio do teste t ao nível de 5% de probabilidade, no coeficiente de determinação e na relevância biológica do fenômeno. Os dados de porcentagem de desfolha, teor de umidade dos grãos e produtividade foram submetidos à análise de variância (ANOVA). O teste de Tukey foi utilizado para comparar os resultados entre os tratamentos com aplicação via ARP (baixos volumes de calda), enquanto o teste de Dunnett foi utilizado para comparações entre os tratamentos via ARP e o tratamento com pulverizador pressurizado a CO_2 (Controle positivo) e a testemunha sem aplicação (controle negativo). Ambos os testes de comparação de médias foram realizados ao nível de significância de $p \leq 0,05$, utilizando o software estatístico R. Os gráficos foram elaborados com o auxílio do software Sigma Plot 14.0 (Systat Software, San Jose, CA, EUA).

3. RESULTADOS

3.1. Qualidade da aplicação

A densidade de gotas aumentou 6,8 vezes de 5 L ha^{-1} ($19,6 \text{ gotas cm}^{-2}$) para 20 L ha^{-1} ($134,3 \text{ gotas cm}^{-2}$), enquanto que de 20 para 200 L ha^{-1} ($222,4 \text{ gotas cm}^{-2}$) aumentou apenas 1,65 vezes (Figura 3a). A cobertura aumentou 6,6 vezes de 5 L ha^{-1} (0,8%) para 20 L ha^{-1} (4,96%), e de 20 L ha^{-1} para 200 L ha^{-1} (35%) o aumento foi de 7 vezes (Figura 3b). Nas aplicações via ARP, a cada incremento de 1 L na calda, observou-se aumento de $8,2 \text{ gotas cm}^{-2}$ na densidade de gotas e de 0,3% na cobertura, conforme o parâmetro 'a' da regressão. Os valores de deposição foram semelhantes tanto para ARP quanto para o pulverizador costal pressurizado com CO_2 (Figura 3c), a amplitude relativa (SPAN próximo de 1,0) manteve-se constante entre todos os volumes de calda avaliados (Figura 3d). A Figura 3e ilustra os papéis

hidrossensíveis nos volumes de 5, 20 e 200 L ha⁻¹, evidenciando a qualidade da pulverização, a densidade de gotas e a cobertura.

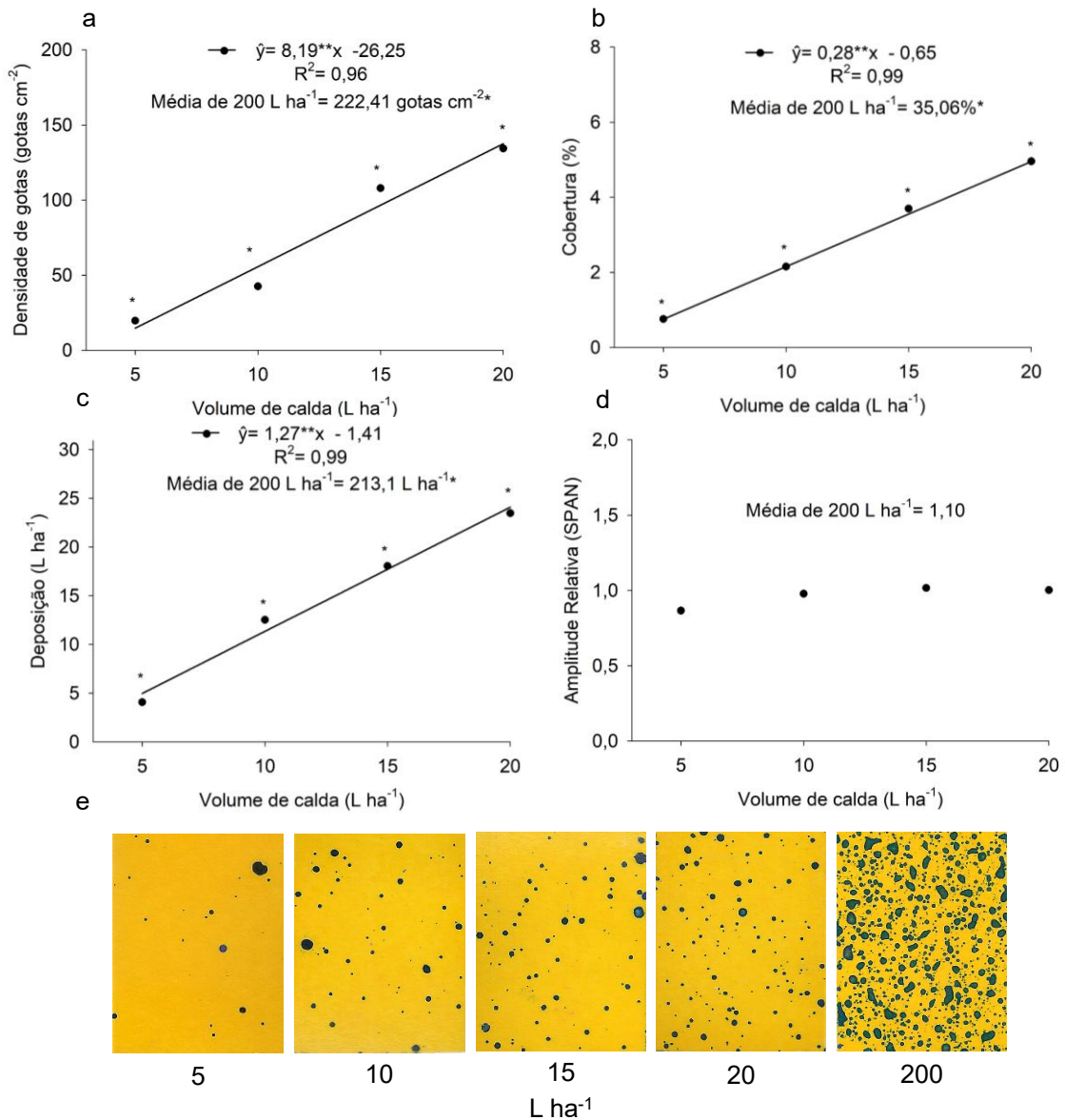


Figura 3: Densidade de gotas (gotas cm⁻²) (a), cobertura (%) (b), deposição (L ha⁻¹) (c) e amplitude relativa (SPAN) (d) obtidas em papel hidrossensível após aplicação de diquat em diferentes volumes de calda para a dessecação do feijão verão-outono e outono-inverno, utilizando ARP e pulverizador costal pressurizado por CO₂. Papéis hidrossensíveis nos volumes de calda de 5 a 200 L ha⁻¹ (e). Médias com * se diferem pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

3.2. Desfolha

No feijão verão-outono, observou-se 10% menos desfolha aos 4 e 7 dias após a aplicação (DAA) nos tratamentos com volumes de 5 e 10 L ha⁻¹, em comparação com os volumes de 15, 20 e 200 L ha⁻¹. No entanto, aos 11 DAA, a desfolha atingiu 100% em todos os tratamentos (Figura 4a). No feijão outono-inverno, a desfolha aos 4 DAA foi de 70% para o tratamento com 5 L ha⁻¹, enquanto todos os demais tratamentos apresentaram níveis superiores a 80%. Aos 7 DAA, a desfolha atingiu 87% no tratamento com 5 L ha⁻¹, e os demais tratamentos apresentaram 100% de desfolha. Aos 11 DAA, todos os tratamentos atingiram 100% de desfolha (Figura 4b). As parcelas sem aplicação (controle), tanto do feijão verão-outono quanto do feijão outono-inverno, ainda apresentavam grande quantidade de folhas verdes aos 11 DAA (Figura 4c).

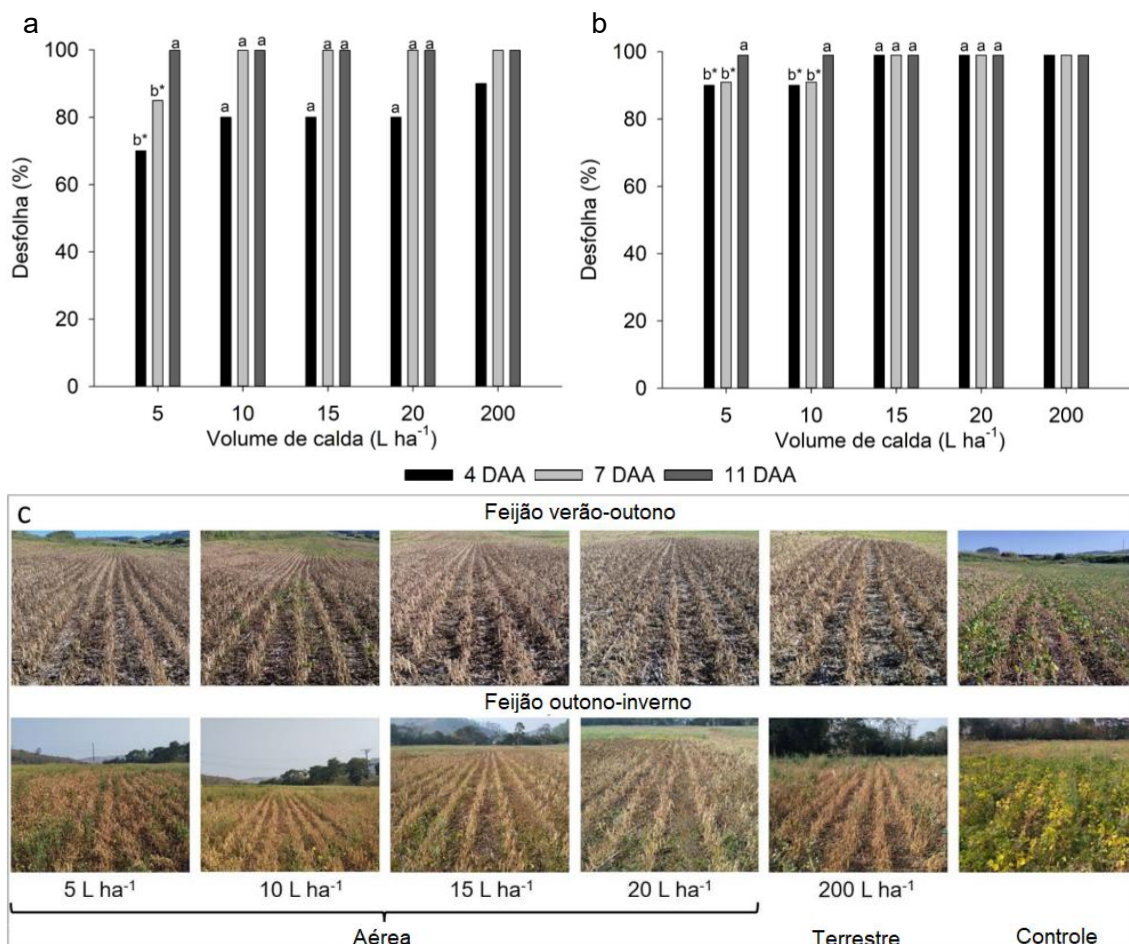


Figura 4: Desfolha (%) do feijão verão-outono (a) e do feijão outono-inverno (b) após aplicação de diquat nos volumes de calda de 5 a 20 L ha⁻¹ utilizando ARP e 200 L ha⁻¹ com pulverizador costal pressurizado a CO₂, aos 4, 7 e 11 DAA (c). Nível de

dessecação do feijão verão-outono e outono-inverno com aplicação de diquat em diferentes volumes de calda, por via aérea e terrestre, em comparação com a testemunha sem aplicação aos 11 DAA. Médias seguidas de * diferem da testemunha sem aplicação e de ' diferem do controle com 200 L ha⁻¹, pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

3.3. Teor de Umidade dos Grãos

No feijão verão-outono, o teor de umidade dos grãos aos 6 DAA foi de aproximadamente 35% nos tratamentos com aplicação via ARP e na testemunha, enquanto o tratamento com 200 L ha⁻¹ reduziu a umidade em 15%. Aos 11 DAA, todos os tratamentos atingiram níveis adequados de umidade para colheita, sendo 18% nos tratamentos com 5 e 10 L ha⁻¹ e 17% nos tratamentos com 15, 20 e 200 L ha⁻¹. Entretanto, os grãos da testemunha ainda apresentavam 22,5% de umidade, atingindo o nível adequado para colheita (18%) apenas aos 26 DAA (Figura 5a). Para o feijão outono-inverno, o teor de umidade dos grãos aos 9 DAA foi de aproximadamente 19% nos tratamentos com ARP e 16,2% no tratamento com 200 L ha⁻¹, enquanto a testemunha apresentava 35%. Aos 12 DAA, todos os tratamentos já haviam atingido níveis adequados de umidade, variando de 16% a 17%, enquanto a testemunha ainda mantinha 35% de umidade. O teor adequado para colheita foi alcançado pela testemunha apenas aos 24 DAA (15,2%) (Figura 5b).

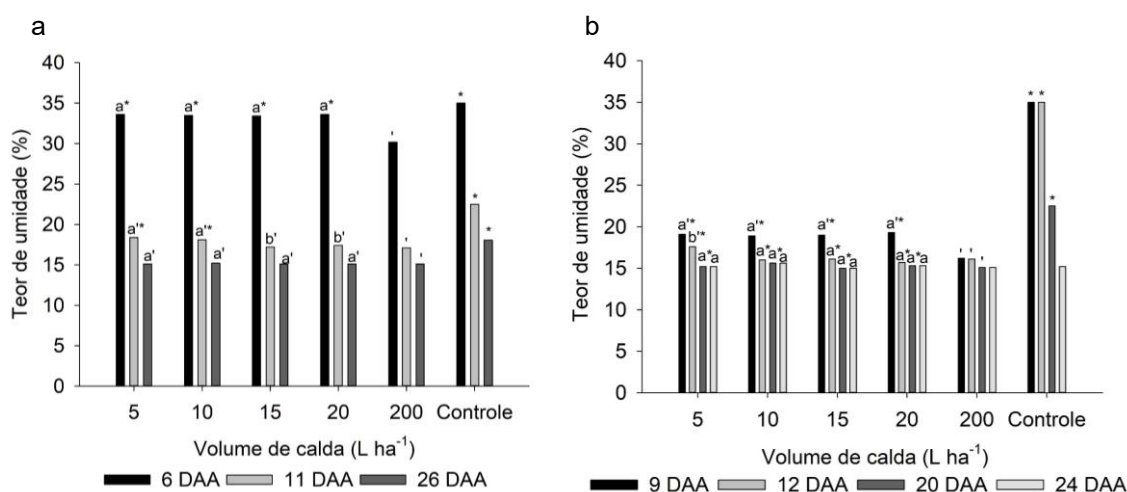


Figura 5: Teor de umidade dos grãos no feijão verão-outono (a) e no feijão outono-inverno (b) submetidos à dessecação com aplicação de diquat nos volumes de calda de 5 a 20 L ha⁻¹, utilizando ARP, e 200 L ha⁻¹ com pulverizador costal pressurizado por CO₂. Médias seguidas de * diferem da testemunha sem aplicação e ' diferem do controle com 200 L ha⁻¹, pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

3.4. Produtividade

A produtividade média do feijão não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos para cada área experimental. Tanto o tratamento controle quanto as aplicações de diquat via ARP e pulverizador costal pressurizado por CO₂ resultaram em produtividades semelhantes. Apesar disso, a produtividade do feijão verão-outono foi consideravelmente inferior à do feijão outono-inverno. Para o feijão verão-outono, os rendimentos variaram de 1.615 a 1.947 kg ha⁻¹, com média de 1.733 kg ha⁻¹. Em contraste, os rendimentos do feijão outono-inverno variaram de 2874 a 3111 kg ha⁻¹, com média de 3011 kg ha⁻¹ (Figura 6). Essa diferença na produtividade pode ser atribuída à irrigação semanal aplicada ao feijão outono-inverno até a maturidade fisiológica, bem como às distintas condições ambientais e agronômicas entre os dois sistemas de cultivo.

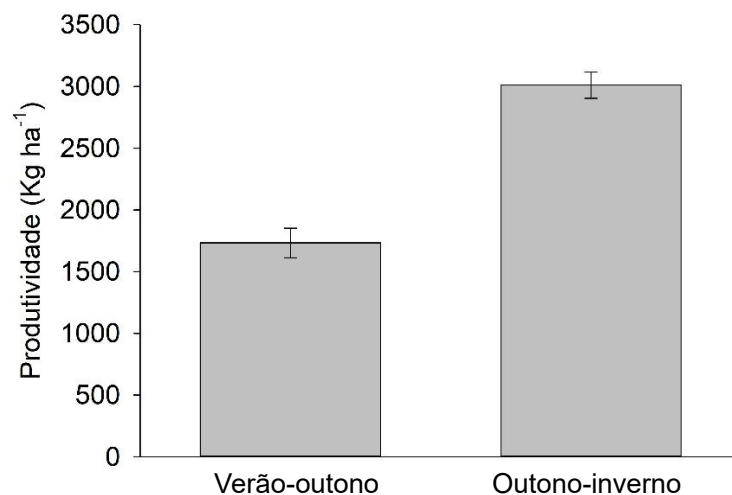


Figura 6: Produtividade média do feijão verão-outono e outono-inverno cultivados sob distintas condições ambientais e agronômicas (com e sem irrigação) nos municípios de Viçosa e Cajuri, Minas Gerais, Brasil.

4. DISCUSSÃO

A densidade de gotas e a cobertura aumentaram com o incremento no volume de calda nas aplicações realizadas com ARP. Volumes maiores de calda resultam em maior número de gotas, o que aumenta a densidade de gotas e cobertura (MARTIN et al., 2020a, b; CARNEIRO et al., 2024). Em um estudo de dessecação de plantas de cobertura, o glifosato foi aplicado via ARP com bico XR11001, obtendo densidades de cobertura, o glifosato foi aplicado via ARP com bico XR11001, obtendo densidades de 21 e 140 gotas cm⁻² para volumes de 5 e 20 L ha⁻¹, respectivamente (CARNEIRO

et al., 2024), valores similares aos observados neste estudo. A densidade recomendada de gotas para herbicidas de contato varia entre 30 e 50 gotas cm^{-2} para gotas médias a grossas (MAGDALENA et al., 2010). Neste estudo, essa densidade foi alcançada com volume de 10 L ha^{-1} . No entanto, os dados de cobertura foram maiores no estudo de Carneiro et al. (2024) (2% e 11%) em comparação com os obtidos neste trabalho (0,8% e 4,96%) para os mesmos volumes. Essa diferença pode ser explicada pelo tipo de ponta utilizada: As pontas XR produzem gotas finas, enquanto a TT utilizada neste estudo produzem gotas grossas. Assim, gotas menores proporciona maior cobertura (FREITAS et al., 2022), ao contrário do presente estudo, onde foram utilizadas gotas muito grossas (5 a 20 L ha^{-1}).

A redução da deriva contribui para minimizar os riscos de contaminação ambiental, sendo esse um dos aspectos fundamentais da tecnologia de aplicação (MATTHEWS, 2015; FELEMA et al., 2023; HAFEEZ et al., 2023). Os resultados de deposição obtidos neste estudo indicam boa retenção da calda no alvo. Em contraste, estudos que utilizaram gotas finas, como os de Sarghini et al. (2019) e Carneiro et al. (2024), relataram taxas de deposição de 31% e 68% do volume aplicado, respectivamente. Quanto menor o diâmetro da gota, maior sua suscetibilidade à deriva (CHEN et al., 2020; PASCUZZI et al., 2020). Em relação à amplitude relativa, os valores permaneceram constantes e próximos de 1, o que indica maior uniformidade no tamanho das gotas (VITÓRIA et al., 2019; CHEN et al., 2022).

A desfolha observada no feijão verão-outono e outono-inverno demonstrou que volumes menores de calda (5 e 10 L ha^{-1}) resultaram em menor desfolha aos 4 e 7 DAA, quando comparados aos volumes mais altos (15, 20 e 200 L ha^{-1}). Entretanto, essa diferença foi compensada aos 11 e 12 DAA, quando todos os tratamentos atingiram 100% de desfolha, indicando que, apesar do efeito inicial mais lento com volumes reduzidos, o resultado final foi equivalente entre os tratamentos. Para aplicações terrestres, volume de 200 L ha^{-1} promove excelente dessecação do feijão com uso de diquat (CASTOLDI et al., 2019). Em estudo com dessecação de algodão via ARP, uma mistura de tidiazuron + diuron (0,18 L ha^{-1} , 360 e 180 g L^{-1} , respectivamente) resultou em 95%, 90% e 85% de dessecação aos 14 DAA para volumes de 22,5, 18 e 15 L ha^{-1} , respectivamente (MENG et al., 2019). Esses resultados contrastam com os do presente estudo. Produtos como diquat, tidiazuron e diuron requerem maior cobertura, por serem herbicidas de contato. Contudo, a

necessidade de cobertura também depende de outros fatores, como a área foliar do alvo (FREITAS et al., 2022), o que pode explicar os resultados obtidos, visto que o feijão apresenta menor área foliar em comparação ao algodão. Para produtos sistêmicos, a exigência de cobertura é menor, pois são translocados via xilema e floema, alcançando todas as células da planta (MOTA et al., 2021). Apesar da menor deposição observada no estudo de Carneiro et al. (2024), foram obtidos excelentes resultados de dessecação em cobertura vegetal com herbicida sistêmico (glifosato 1000 g i.a. ha⁻¹) em todos os volumes de calda avaliados (5, 10, 15, 20 e 25 L ha⁻¹).

Quanto ao teor de umidade dos grãos, o feijão verão-outono perdeu umidade mais lentamente do que o feijão outono-inverno. Essa diferença pode ser atribuída à época de dessecação. No feijão outono-inverno, a dessecação foi realizada em agosto (inverno no Hemisfério Sul), período tipicamente mais seco e frio. Por outro lado, a dessecação do feijão verão-outono ocorreu em maio, no outono, estação com temperaturas mais amenas e maior umidade relativa (Box, 2002). Além disso, a irrigação manteve o solo do feijão outono-inverno mais úmido, retardando a perda de umidade dos grãos (Figura 5b). Essas diferenças ambientais influenciaram significativamente a taxa de perda de umidade nos grãos (Figura 5). Os resultados deste estudo demonstram que as ARP apresentaram desempenho semelhante ao dos métodos tradicionais (SILVA et al., 2022), com ganhos em eficiência operacional, configurando-se como alternativa eficaz para a aplicação de diquat na dessecação pré-colheita do feijão, com volumes de calda de 5, 10, 15 e 20 L ha⁻¹. A possibilidade de realizar aplicações aéreas com baixos volumes de água em terrenos irregulares, como encostas e morros da região da Zona da Mata mineira (MÜLLER et al., 2011), onde este estudo foi conduzido, pode viabilizar a prática da dessecação na cultura do feijão e facilitar a colheita.

A produtividade do feijão não foi afetada pelos tratamentos com diquat. A diferença observada na produtividade do feijão verão-outono e outono-inverno está relacionada às distintas condições ambientais (sazonais) e agronômicas (com e sem irrigação) entre as áreas experimentais. Como a semeadura foi realizada em sistema de plantio direto em áreas previamente utilizadas para produção de grãos (GUZZETTI et al., 2020; DURAIRAJ et al., 2021), a quantidade de palhada no momento da semeadura era semelhante. Assim, a diferença de produtividade é atribuída a época de plantio e às condições ambientais associadas (AMIN et al., 2024). O feijão verão-

outono foi semeado no final do verão, período com chuvas de até 87 mm (totalizando 304 mm no ciclo), dias mais longos e temperatura média de 22,6 °C — até 12 °C superior à do feijão outono-inverno (Figura 1). Esses fatores contribuíram para um ciclo mais curto do feijão verão-outono (65 dias). Em contraste, o feijão outono-inverno apresentou ciclo mais longo (95 dias), influenciado por temperaturas médias mais baixas (18,1 °C), dias mais curtos e precipitação mínima (apenas 9 mm). No entanto, o uso da irrigação permitiu elevadas produtividades, compatíveis com as médias regionais (COELHO et al., 2023).

5. CONCLUSÕES

A aplicação do herbicida diquat por meio de ARP mostrou-se eficaz na dessecação tanto do feijão verão-outono quanto outono-inverno, utilizando volumes de calda variando entre 5 e 20 L ha⁻¹, o que pode tornar essa prática viável para a cultura. A aplicação com ARP contribui para uma economia significativa de água. A dessecação também proporcionou a antecipação da colheita em 15 dias para o feijão verão-outono e 12 dias para o feijão outono-inverno, independentemente do método de aplicação ou do volume utilizado. Além disso, os tratamentos herbicidas para dessecação pré-colheita, seja por via aérea ou terrestre, não apresentaram impacto negativo sobre a produtividade da cultura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASABE – American Society of Agricultural and Biological Engineers. **Standard S-572.3**: Spray nozzle classification by droplet spectra. St. Joseph, Michigan, 2020. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=51101>. Acesso em: 7 maio 2025.

ALBRECHT, A. J. P.; ALBRECHT, L. P.; SILVA, A. F. M. Agronomic implications of Paraquat ban in Brazil. **Advances in Weed Science**, v. 40, n. 1, e020220040, 2022. DOI: <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2022;40:seventy-five009>.

AMIN, M. R.; ZHANG, J.; YANG, M. Effects of climate change on the yield and cropping area of major food crops: A case of Bangladesh. **Sustainability**, v. 7, n. 1, p. 898–915, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3390/su7010898>.

BOX, E. O. Vegetation analogs and differences in the Northern and Southern hemispheres: A global comparison. **Plant Ecology**, v. 163, p. 139–154, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1020901722992>.

CANICATTÌ, M.; VALLONE, M. Drones in vegetable crops: A systematic literature review. **Smart Agricultural Technology**, v. 7, 100396, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100396>.

CARNEIRO, R. P. et al. Variation of glyphosate spray volume in the drying of ground cover plants with an unmanned aerial vehicle. **Crop Protection**, v. 181, p. 106694, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106694>.

CASTOLDI, C. T. et al. Physiological quality of carioca bean seeds submitted to the application of desiccant herbicides in two periods. **Planta Daninha**, v. 37, e019215688, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100154>.

CHEN, S. et al. Effect of droplet size parameters on droplet deposition and drift of aerial spraying by using plant protection UAV. **Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 195, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10020195>.

CHEN, P. et al. Droplet distributions in cotton harvest aid applications vary with the interactions among the unmanned aerial vehicle spraying parameters. **Industrial**

Crops and Products, v. 163, p. 113324, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113324>.

CHEN, C. et al. Analysis of droplet size uniformity and selection of spray parameters based on the biological optimum particle size theory. **Environmental Research**, v. 204, p. 112076, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112076>.

COELHO, A. P. et al. Irrigation management of common bean cultivars with contrasting growth habits. **Agricultural Engineering**, v. 80, e20220038, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2022-0038>.

DURAIRAJ, E. S.; STUTE, J. K.; SANDLER, L. N. No-till farming: Agronomic intervention through cover cropping for enhancing crop productivity. In: JAYARAMAN, S. et al. (Ed.). **Conservation agriculture: A sustainable approach for soil health and food security**. Singapore: Springer, 2021. p. 55–77. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-0827-8_3.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Software Gotas**. 2000. Disponível em: https://www.cnpma.embrapa.br/novidades/sof_gota.html. Acesso em: 7 maio 2025.

FELEMA, S. et al. Optimal timing of fungicide applications on maize, soybean, and beans based on calendar and agrometeorological data. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 67, n. 4, p. 513–525, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/00288233.2023.2174562>.

FREITAS, F. C. L. et al. Desafios e avanços na tecnologia de aplicação de herbicidas. In: MENDES, K. F.; SILVA, A. A. (Ed.). **Plantas daninhas herbicidas**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2022. p. 155–200.

GRINT, K. R. et al. Low carryover risk of corn and soybean herbicides across soil management practices and environments. **Weed Technology**, v. 36, n. 1, p. 160–167, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2021.97>.

GUO, H.; LI, L.; GAO, L. Paraquat and diquat: Recent updates on their pretreatment and analysis methods since 2010 in biological samples. **Molecules**, v. 28, n. 2, p. 684, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28020684>.

GUZZETTI, L. et al. Sustainability perspectives of L. Walp cultivation under no tillage and water stress conditions. **Plants**, v. 91, n. 1, p. 48, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9010048>.

HAFEEZ, A. et al. Implementation of drone technology for farm monitoring & pesticide spraying: A review. **Information Processing in Agriculture**, v. 10, n. 2, p. 192–203, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2022.02.002>.

MAGDALENA, C. J.; CASTILLO, B. H.; PRINZIO, A. D.; HOMER, I. B.; VILLALBA, J. **Tecnología de aplicación de agroquímico**. 1.ed. Argentina, 2010.

MARQUES, R. L. L. et al. Qualidade fisiológica de sementes de soja submetidas à aplicação de dessecantes. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 16, n. 9, p. 17554–17569, 2023. DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.9-223>.

MARTIN, D. et al. Spray deposition on weeds (Palmer amaranth and morningglory) from a remotely piloted aerial application system and backpack sprayer. **Drones**, v. 4, n. 3, p. 59, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones4030059>.

MARTIN, D. E. et al. Aerial application methods for control of weed species in fallow farmlands in Texas. **Agronomy**, v. 10, n. 11, p. 1764, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10111764>.

MATTHEWS, G. A. **Pesticides: Health, safety and the environment**. Chichester: Wiley-Blackwell, 2015.

MENG, Y. et al. Harvest-aid application strategy in different cotton planting densities by unmanned aerial vehicle. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 2, n. 1, p. 31–41, 2019. DOI: <https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20190201.0027>.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (Brasil). Resolução RDC nº 177, de 21 de setembro de 2017. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19308145/do1-2017-09-22-resolucao-rdc-n-177-de-21-de-setembro-de-2017-19308065. Acesso em: 23 jul. 2024.

MOTA, L. M. et al. Controle de *Urochloa brizantha* cv. Marandu por glifosato e sua interação com a disponibilidade de luz. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 6, p. 130–139, 2021. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.006.0011>.

MÜLLER, M. D. et al. Economic analysis of an agrosilvipastoral system for a mountainous area in Zona da Mata Mineira, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1148–1153, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000005>.

NOBRE, F. L. L. et al. Use of drones in herbicide spot spraying: A systematic review. **Advances in Weed Science**, v. 41, e020230014, 2023. DOI: <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2023;41:00028>.

PASCUZZI, S. et al. A study on the drift of spray droplets dipped in airflows with different directions. **Sustainability**, v. 12, n. 11, p. 4644, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12114644>.

PEREIRA FILHO, W. J. et al. Quantitative losses in mechanized bean harvesting. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, e10810514207, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14207>.

PINTO, M. A. B. et al. Productivity and physiological quality of seeds with burn down herbicides at the pre harvest of bean crops. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 4, p. 384–391, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v36n4997>.

PRIA, M. D.; AMORIM, L. Métodos de avaliação das doenças. In: PRIA, M. D.; SILVA, O. C. (Ed.). **Cultura do feijão: doenças e controle**. 1. ed. Ponta Grossa: UEPG, 2018. p. 119–132.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T.; ALVAREZ, V. H. V. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. Viçosa: UFV, 1999.

SARGHINI, F. et al. First measurements of spray deposition obtained from UAV spray application technique. In: **2019 IEEE International Workshop on Metrology for**

Agriculture and Forestry (MetroAgriFor), p. 58–61. DOI: <https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor.2019.8909233>.

SILVA, P. V. et al. Pre-harvest desiccation strategies of soybean culture: A scenario without paraquat. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 57, n. 9, p. 710–719, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/03601234.2022.2100680>.

SILVA, G. F. et al. Physiological quality of soybean seeds as a function of soil management systems and pre-harvest desiccation. **Agronomy**, v. 13, n. 3, p. 847, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13030847>.

SOLTANI, N. et al. Desiccation in dry edible beans with various herbicides. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 93, n. 5, p. 871–877, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4141/CJPS2013-061>.

VITÓRIA, E. L. et al. Droplet spectrum produced in pumpkin cultures submitted to different forms of spraying. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 14, p. 56, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n14p56>.

WANG, G. et al. Field evaluation of an unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: Effect of spray volume on deposition and the control of pests and disease in wheat. **Pest Management Science**, v. 75, n. 6, p. 1546–1555, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5321>.

ZUFFO, A. M. et al. Harvest times with chemical desiccation and the effects on the enzymatic expression and physiological quality of soybean seeds. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 2, p. 361–370, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n209rc>.

Capítulo 2: Controle de plantas daninhas com atrazine: influência do volume de calda e espectro de gotas

RESUMO

Os avanços nos equipamentos para aplicação de herbicidas revolucionaram o setor, permitindo o uso de volumes de calda muito abaixo dos indicados nas bulas para a maioria dos produtos. Entretanto faltam informações confiáveis sobre a eficácia de aplicações em baixo volume e o espectro de gotas a ser utilizado para herbicidas translocados via xilema. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes volumes de calda (35, 70, 140 e 280 L ha⁻¹) e espectros de gotas (muito grossas - DMV 466 µm e médias - DMV 292 µm) utilizando pulverizador tratorizado sobre a qualidade de aplicação e eficácia do herbicida atrazine no controle de plantas daninhas em condições de campo. O experimento foi conduzido na cultura do milho, a dose de atrazine foi 2 kg i.a. ha⁻¹ associado a 0,5% v/v de óleo vegetal. A qualidade da aplicação foi avaliada por meio de papéis hidrossensíveis e a deposição estimada por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). A densidade de gotas e cobertura aumentaram exponencialmente até por volta do volume de 140 L ha⁻¹, com posterior tendência de estabilização. Gotas médias apresentaram maior densidade de gotas e cobertura nos volumes de 140 e 280 L ha⁻¹. A deposição do herbicida foi superior a 91%, demonstrando retenção proporcional a dose aplicada. Aos 21 DAA o controle variou de 88% (35 L ha⁻¹) a 98% a partir de 70 L ha⁻¹, independente do espectro de gotas. A aplicação de atrazine evitou perdas no rendimento da cultura entre 24 e 34% em relação à testemunha sem aplicação, como resultado do controle eficiente das plantas daninhas. Os resultados indicam que aplicação do atrazine pode ser realizada com volumes de calda a partir de 70 L ha⁻¹ com gotas médias a muito grossas.

Palavras-chave: Densidade de gotas; cobertura; herbicida; baixo volume.

Weed Control with Atrazine: Influence of Spray Volume and Droplet Spectrum

ABSTRACT

Advances in herbicide application equipment have revolutionized the sector, enabling the use of spray volumes well below those recommended on most product labels. However, reliable information is still lacking on the efficacy of low-volume applications and the appropriate droplet spectrum for herbicides translocated via the xylem. This study aimed to evaluate the effect of different spray volumes (35, 70, 140, and 280 L ha⁻¹) and droplet spectra (very coarse and medium) using a tractor-mounted sprayer on the application quality and efficacy of atrazine for weed control under field conditions. The experiment was conducted in maize, with an atrazine rate of 2 kg a.i. ha⁻¹ combined with 0.5% v/v vegetable oil. Application quality was assessed using water-sensitive papers, and deposition was estimated by high-performance liquid chromatography (HPLC). Droplet density and coverage increased exponentially up to approximately 140 L ha⁻¹, with a subsequent tendency toward stabilization. Medium droplets provided higher droplet density and coverage at spray volumes of 140 and 280 L ha⁻¹. Herbicide deposition exceeded 91%, indicating retention proportional to the applied dose. At 21 days after application (DAA), weed control ranged from 88% (35 L ha⁻¹) to 98% at volumes of 70 L ha⁻¹ or higher, regardless of droplet spectrum. Atrazine application, even at the lowest spray volume, resulted in maize yield increases of 31.8% to 51.7% compared with the untreated control, due to effective weed suppression. The results indicate that atrazine can be effectively applied at spray volumes starting from 70 L ha⁻¹ with medium to very coarse droplets.

Keywords: Droplet density; coverage; herbicide; low volume.

1. INTRODUÇÃO

As plantas daninhas competem com as culturas pelos recursos do ambiente, causando prejuízos quantitativos e qualitativos (FRANDOLOSO et al., 2019; GALON et al., 2021). O método mais utilizado para seu controle é o químico, por meio de herbicidas, devido à sua praticidade e eficiência (SOBUJ & BYUN, 2023). A fim de assegurar a eficácia do método, é essencial considerar as características dos herbicidas, das plantas daninhas, da cultura e os fatores relacionados à tecnologia de aplicação (GRIENSANG & FERREIRA, 2021).

O tamanho de gotas e o volume de calda influencia a densidade de gotas, cobertura e deposição do produto no alvo, afetando diretamente a ação do herbicida (GRAZIANO et al., 2017). Portanto, a aplicação deve ser feita com pontas de pulverização que produzam gotas pequenas o suficiente para aumentar a porcentagem de área coberta, porém grandes o bastante para não serem evaporadas ou arrastadas pelo vento. Maiores volumes de calda resultam em maior cobertura do alvo. Entretanto, volumes muito altos podem gerar perdas do produto por escorrimento e reduzir a autonomia dos equipamentos de pulverização (FREITAS et al., 2022).

A cobertura ideal do alvo varia em razão do tipo de produto a ser aplicado. Assim, para herbicidas sistêmicos que translocam via xilema e floema, não há necessidade de cobertura elevada, devido à redistribuição dos mesmos nos diferentes órgãos da planta (CONTIERO et al., 2018). Por outro lado, herbicidas de contato, que possuem baixa mobilidade na planta, exigem maior cobertura (MOTA et al., 2021). Por exemplo, a aplicação do herbicida de contato fomesafem em volume de calda inferior a 70 L ha^{-1} , independente do espectro de gotas (média e muito grossa), afetou o controle de *B. pilosa* (VAZ, et al., 2024). No entanto, há poucas informações a respeito dos herbicidas que se translocam exclusivamente via xilema, como o atrazine, principal herbicida utilizado na cultura do milho (MEROTTO et al., 2022).

A obtenção de altas produtividades na cultura do milho está relacionada entre outros fatores com o controle de plantas daninhas, que deve ser realizado entre o estágio fenológico V4 e V6 (REZENDE et al., 2020; HELVING et al., 2020; MARTIN et al., 2024). Esse controle não deve ser realizado depois do V8, devido à dificuldade de entrada de pulverizadores na área e ao chamado efeito guarda-chuva (quando as folhas da cultura interceptam parte da calda pulverizada) (GRIESANG & FERREIRA, 2021), reduzindo a eficácia dos herbicidas. O atrazine é recomendado tanto para

aplicações em pré-emergência quanto em pós-emergência inicial das plantas daninhas com no máximo 4 folhas. Para aplicações terrestres, a recomendação do fabricante é utilizar volumes de calda de 150 a 400 L ha⁻¹ (Syngenta, 2024).

Diante da baixa disponibilidade de informações sobre a tecnologia de aplicação nas bulas de herbicidas, e da escassez de trabalhos com informações sobre o volume de calda e espectro de gotas ideal para aplicação desses produtos, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar diferentes volumes de calda e espectros de gotas na eficácia do atrazine sobre controle de plantas daninhas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo (20°44'35,9" S e 42°50'40,6" W, 650 m), entre outubro de 2024 e março de 2025, na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão em Produção de Grandes Culturas e Bioenergia (UEPE-GCBE – Aeroporto), vinculada ao Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, caracterizado por verões quentes e úmidos e invernos secos, com precipitação média anual em torno de 1.200 mm.

2.1. Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido em esquema fatorial 4x2 + 1 distribuídos no delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. Os fatores correspondem a quatro volumes de calda (35, 70, 140 e 280 L ha⁻¹), dois espectros de gotas, sendo gotas médias (226-325 µm) e gotas muito grossas (401-500 µm) (ASABE, 2020) e uma testemunha sem aplicação.

2.2. Caracterização experimental

A cultivar de milho DKB 255 Pro4 foi semeada em 30 de outubro de 2024, com espaçamento de 0,8 m entre linhas e densidade 6 sementes por metro, em solo com preparo convencional (aração e duas gradagens). Cada parcela foi constituída de três fileiras de 10 m, sendo considerados úteis 5 m da fileira central. O solo da área é Latossolo Vermelho Amarelo, a adubação foi realizada de acordo com a necessidade da cultura (RIBEIRO et al., 1999) e análise de solo (Tabela 1). O herbicida foi aplicado nos estágios iniciais de desenvolvimento das plantas daninhas presentes na área: *Ipomoea triloba* (corda-de-viola), *Solanum americanum* (maria-pretinha), *Leonotis*

nepetifolia (cordão-de-frade), *Gossypium hirsutum* (algodão tiguera), *Bidens pilosa* (picão-preto) e *Alternanthera tenella* (apaga-fogo) (Figura 2).

Tabela 1: Análise física e químicas do solo do experimento de campo a profundidade de 0-20 cm

Análise física													
Areia		Silte (dag Kg ⁻¹)			Argila			Classe textural					
51		14			35			Franco argilo-arenoso					
Análise química													
pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	t	T	V	m	MO	P-Rem
(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)		----- (Cmol _c dm ⁻³) -----								---(%)---	(dag kg ⁻¹)	(mg L ⁻¹)
5,7	7,1	76	2,48	0,98	0,10	3,63	3,65	3,75	7,28	50,1	2,7	2,30	25,6

V: saturação de bases, SB- soma de bases; T: CTC total, t: CTC efetiva; MO: Matéria orgânica, P-rem: Fosforo remanescente, pH: potencial hidrogeniônico, m: saturação por alumínio.

*Análises realizadas segundo a metodologia da Empresa de Brasileira de Pesquisa e Agropecuária - Embrapa, 1997.

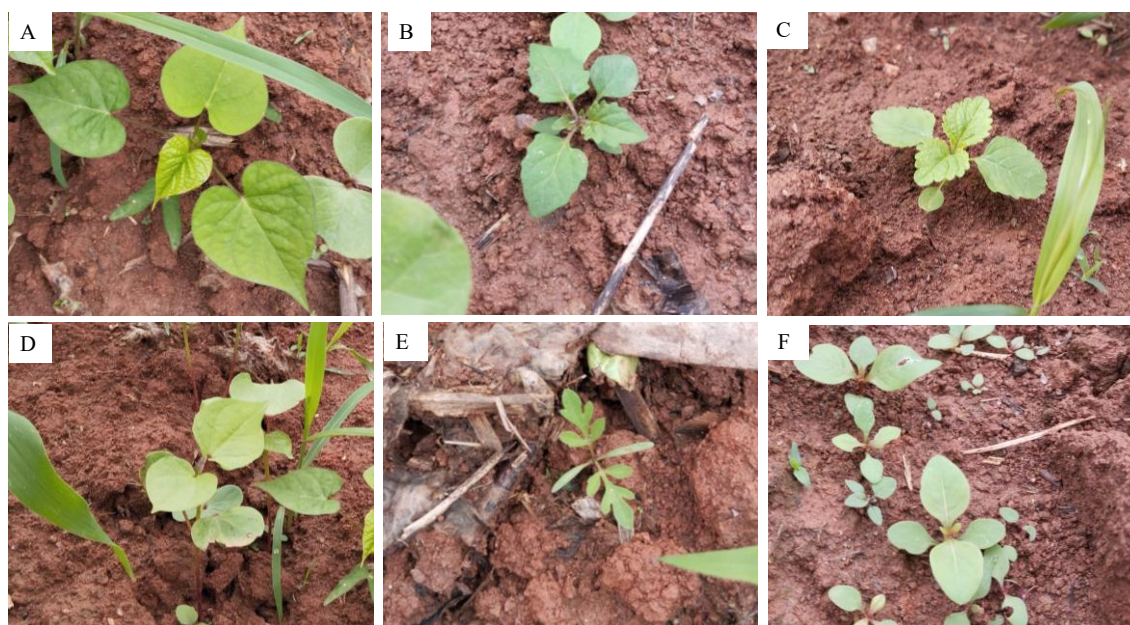


Figura 2. Plantas daninhas no dia da aplicação, corda-de-viola (A), maria-pretinha (B), cordão-de-frade (C), algodão tiguera (D), picão-preto (E) e apaga-fogo (F).

2.3. Aplicação do herbicida

O herbicida atrazine (Proof®, 500 g i.a. L⁻¹, Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.) foi aplicado na dose de 2 kg i.a. ha⁻¹, com adição de 0,5% v/v de óleo vegetal (Veget'Oil®, 930 g L⁻¹ de ésteres de ácidos graxos de origem vegetal, Oxiquímica Agrociência Ltda.). As aplicações foram realizadas 20 dias após a emergência (DAE)

do milho (V5) com um pulverizador pressurizado com CO₂ comprimido, equipado com uma barra com cinco pontas de pulverização (TT11002), espaçadas de 0,5 m entre si e posicionada a 0,5 m em relação ao alvo. O pulverizador foi acoplado a um trator, e os volumes de calda e espectro de gotas foram obtidos combinando as vazões das pontas operando nas pressões de 100 kPa (0,46 L min⁻¹) e 400 kPa (0,91 L min⁻¹), com diferentes velocidades de trabalho (Tabela 2).

Tabela 2. Volume de calda aproximado das pontas TT11002 espaçadas de 0,50 m, em função da pressão e velocidade de deslocamento do trator em km h⁻¹ para a obtenção de gotas muito grossas (VC) e médias (M)

Pressão (kPa)	Tamanho de gota	Vazão L min ⁻¹	Volume de calda L ha ⁻¹				
			2 km h ⁻¹	4 km h ⁻¹	8 km h ⁻¹	16 km h ⁻¹	32 km h ⁻¹
100	VC	0,46	280	140	70	35	-
400	M	0,91	-	280	140	70	35

As condições ambientais foram registradas no momento da aplicação com um Termohigrômetro Digital Luxímetro Anemômetro (Lutron, LM-8000 A, China), e foram: temperatura de 28 ± 1 °C, umidade relativa do ar de 75 ± 5% e a velocidade do vento de 4 a 6 km h⁻¹.

2.4. Variáveis resposta

Caracterização do espectro de gotas: O espectro de gotas da ponta TT11002 foi caracterizado nas pressões de 100 e 400 kPa utilizando analisador a laser (Spraytech, Malvern Instruments Co., lente 750 mm), conforme metodologia de Camara et al. (2008) e Cunha et al. (2010). As pressões foram aferidas com manômetro classe A3 (NBR-12446/1992). Para cada pressão realizaram-se cinco leituras, com a ponta posicionada a 0,40 m do feixe óptico e água à temperatura ambiente. Durante o procedimento as condições ambientais foram: temperatura do ar de 25 °C (± 1,0 °C), e umidade relativa do ar entre 70 e 80%. Foram determinados DV_{0,1}, DV_{0,5} (DMV), DV_{0,9}, Span (Equação 1) e a porcentagem de gotas <100 µm.

$$Span = \frac{(Dv_{0,9} - Dv_{0,1})}{Dv_{0,5}}$$

Equação 1

Onde:

Span - grau de uniformidade do diâmetro das gotas produzidas;

DV0,9 - diâmetro de gota tal que 90% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor;

DV0,5 - diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor também conhecida por diâmetro da mediana volumétrica;

DV0,1 - diâmetro de gota tal que 10% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor.

Qualidade da aplicação: A densidade de gotas (gotas cm^{-2}), porcentagem de área coberta e amplitude relativa (SPAN) foram determinadas com imagens escaneadas em 600 PPI no software Gotas (EMBRAPA, 2000). As imagens foram obtidas de papéis hidrossensíveis (Syngenta, Suíça) (8 por tratamento) posicionados horizontalmente sobre blocos de madeira na altura das plantas daninhas (Figura 3A).

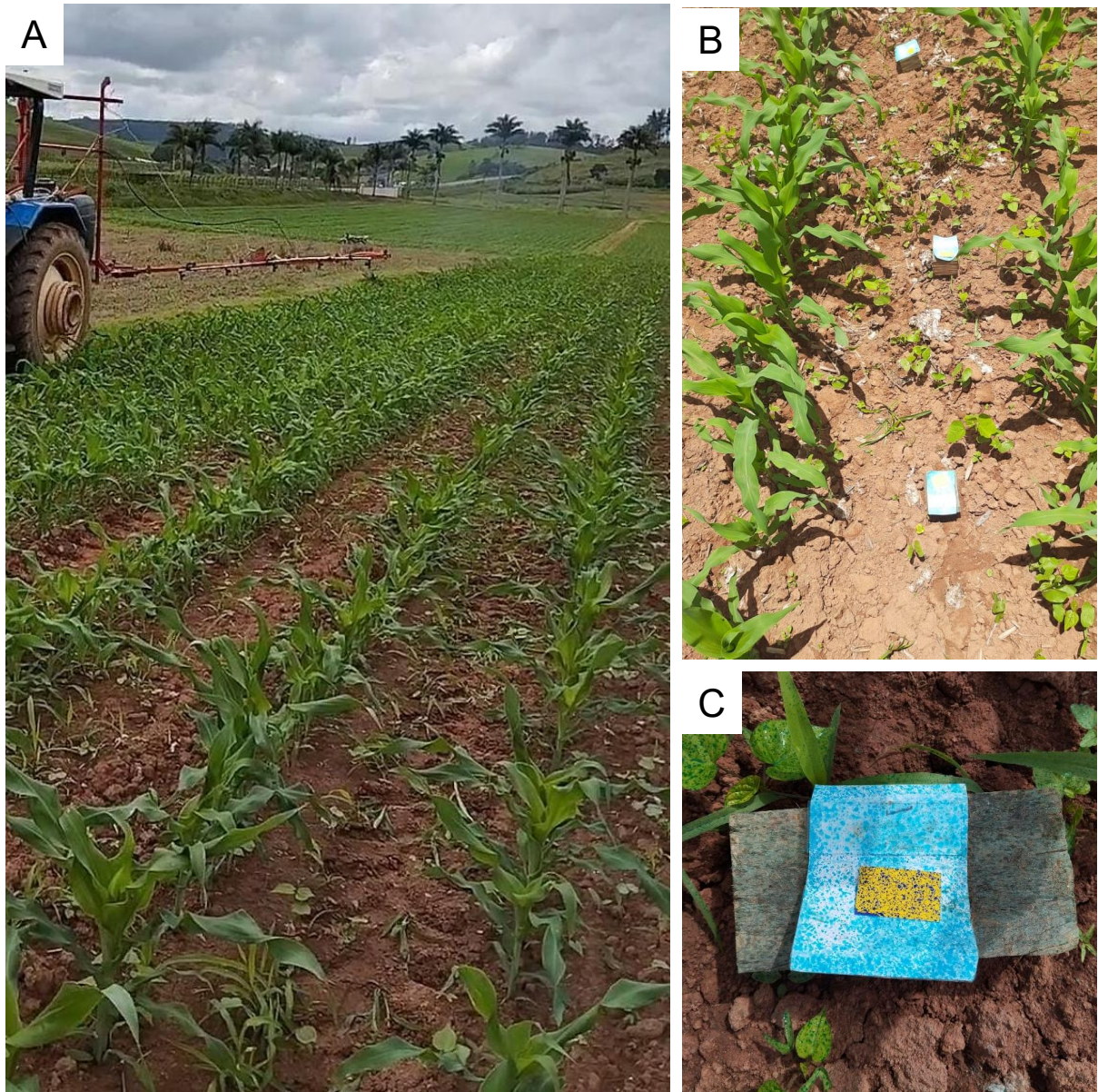


Figura 3: Aplicação do herbicida utilizando pulverizador pressurizado a CO₂ com barra de cinco pontas de pulverização adaptado a um trator (A). Posicionamento dos blocos de madeira na entrelinha da cultura do milho (B). Papéis hidrossensíveis (Syngenta, Suíça) e lâminas de vidro (19,8 cm²) sobre blocos de madeira posicionados na entrelinha do milho (C).

Análise cromatográfica: Adicionalmente, foi realizado a determinação da deposição padrão por cromatografia líquida de alta eficiência – CLAE (do inglês High Performance Liquid Chromatography - HPLC), utilizando-se o herbicida atrazine como marcador. Para isso, lâminas de vidro (7 por tratamento) com área superficial conhecida (19,8 cm²) (Figura 3C) foram posicionadas horizontalmente durante a aplicação dos tratamentos em campo, com posterior coleta em sacos ziploc (24x34

cm). A análise quantitativa da calda depositada nas lâminas de vidro foi realizada adicionando-se 10 mL de água destilada, e misturado até completa diluição. Em seguida, alíquotas da solução foram transferidas para frascos tipo vial e analisadas por CLAE com detector PDA a 221 nm.

O sistema cromatográfico utilizado conta com um detector de arranjo de fotodiodos (Shimadzu SPD- M20A), coluna C18 de aço inox (Shim-pack VP-ODS, 150 × 4,6 mm, 5 µm), mantida a 30 °C. A fase móvel foi constituída de 65% de acetonitrila e 35% de uma solução de ácido fosfórico a 0,01% v/v com vazão de 1,0 mL min⁻¹, o tempo de análise foi de 5 min e o tempo de retenção do atrazine foi de 3,4 min. A identificação do tempo de retenção do atrazine foi realizada comparando os cromatogramas das amostras e da solução do padrão analítico de atrazine. A quantificação foi realizada com base em curva de calibração externa construída a partir da diluição da calda pulverizada em campo. A metodologia foi validada previamente quanto à linearidade, limites de detecção e quantificação, exatidão e precisão de acordo com o INMETRO (2017).

Linearidade: Verificada por meio de curva analítica, utilizando as concentrações 2,38; 4,76; 7,14; 14,28; 21,42; 28,57 e 35,71 mg L⁻¹. O processo de extração foi realizado para cada concentração e, em seguida, os pontos da curva foram injetados no cromatógrafo. Uma regressão linear foi realizada para calcular a concentração do analito nas amostras. A linearidade da curva analítica foi avaliada através da análise de variância do modelo linear obtido e pelo coeficiente de determinação (R²).

Limites de detecção (LD) e quantificação (LQ): calculados com base no desvio padrão (DP) do branco (em triplicata) e na inclinação (b) da curva analítica (CA), pelas formulas:

$$LD = \frac{3,3 s}{b} \qquad LQ = \frac{10 s}{b}$$

Exatidão: Determinada por meio da equação a baixo, onde o valor observado é a concentração do herbicida adicionado a uma amostra isenta e o valor recuperado é a concentração de herbicida obtido após a extração. Esse estudo foi realizado em três concentrações: baixa (2,38 mg L⁻¹), média (14,28 mg L⁻¹) e alta (35,71 mg L⁻¹) e em três repetições. Para essas concentrações, o valor obtido para a recuperação deve estar entre 80 a 110 %.

$$\text{Recuperação} = \frac{\text{valor observado}}{\text{valor recuperado}} \times 100$$

Repetibilidade: Determinada por meio do cálculo do desvio padrão relativo, considerando três concentrações, baixa (2,38 mg L⁻¹), média (14,28 mg L⁻¹) e alta (35,71 mg L⁻¹) e seis repetições. Os valores aceitáveis para o desvio padrão deve ser inferior a 11% para a menor concentração e 7,3% para as demais.

Precisão intermediária: Foi avaliada por meio da extração de três concentrações, baixa (2,38 mg L⁻¹), média (14,28 mg L⁻¹) e alta (35,71 mg L⁻¹) em triplicata, durante 3 dias diferentes. Os resultados foram analisados por ANOVA afim de verificar diferenças significativas entre os dias, assegurando a reprodutibilidade do método.

Deposição: Estimada em µL utilizando a equação da curva analítica e o princípio da diluição: $C_i V_i = C_f V_f$, onde C_i é a concentração do herbicida na placa (mg L⁻¹), V_i volume retido pelo alvo (µL), C_f concentração final estimada pela área cromatográfica e V_f é o volume utilizado para diluição de cada amostra (µL). Considerando a área da lâmina de vidro, a deposição foi expressa em µL cm⁻².

Controle de plantas daninhas: A eficácia do controle foi avaliada visualmente aos 7, 11 e 21 dias após a aplicação (DAA). Notas percentuais foram atribuídas, sendo 0% para ausência de controle e 100% morte das plantas.

Produtividade: A produtividade do milho foi avaliada aos 116 DAA, para isso, colheu-se todas as espigas de milho em quatro metros lineares da fileira central em cada unidade experimental. Após a debulha, a umidade dos grãos foi ajustada para 14,5%, para estimar a produtividade (kg ha⁻¹).

2.5. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e caso de significância, os dados qualitativos foram analisados pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Os dados quantitativos foram submetidos à análise de regressão, os modelos foram selecionados com base na significância dos coeficientes ($p \leq 0,05$), no coeficiente de determinação (R^2) e na relevância biológica do fenômeno. Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$) foi utilizado para comparar a produtividade dos tratamentos com aplicação e a testemunha sem aplicação. As análises foram realizadas no programa R e os gráficos foram elaborados no Software Sigma Plot 12.5.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterização do espectro de gotas

Todas as variáveis avaliadas apresentaram diferenças entre as pressões de 100 e 400 kPa (Tabela 3). O diâmetro da mediana volumétrica ($D_{v0,5}$) foi de 466 μm e 292 μm para as pressões de 100 e 400 kPa, caracterizando gotas muito grossas e médias, respectivamente, segundo a classificação da ASABE (2020).

Tabela 3: Caracterização do espectro de gotas produzido pela ponta TT11002 para as pressões de 100 e 400 kPa.

Pressão (kPa)	$D_{v0,1}$	$D_{v0,5}$	$D_{v0,9}$	%<100 μm	Span
	μm				
100	185,08a	466,10a	970,14a	2,89b	1,69b
400	92,50b	292,52b	640,26b	11,78a	1,87a
CV (%)	18,23	4,63	4,92	4,45	14,6

médias seguidas por letras diferentes nas colunas, diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de F. $D_{v0,1}$ - diâmetro da gota abaixo do qual os volumes acumulados totalizam 10% do volume; $D_{v0,5}$ diâmetro mediano volumétrico (DMV); $D_{v0,9}$ - diâmetro da gota abaixo do qual os volumes acumulados totalizam 90% do volume; %<100 μm - porcentagem de gotas com diâmetro menor que 100 micrômetros; Span – amplitude relativa.

3.2. Qualidade da aplicação

Imagens de etiquetas de papéis hidrossensíveis obtidas para nos tratamentos com volumes de 35, 70, 140 e 280 L ha^{-1} , para gotas muito grossas e médias estão apresentadas na Figura 4a. As interações entre os fatores espectro de gotas e volume de calda foram significativos para densidade de gotas e porcentagem de cobertura. Para ambas variáveis, o incremento no volume de calda aumentou a densidade de gotas e a cobertura de forma acentuada até 140 L ha^{-1} , com posterior tendência a estabilização. Comparando os espectros de gotas dentro de cada volume de calda, gotas médias apresentaram maior densidade e cobertura nos volumes de 140 e 280 L ha^{-1} . Para o volume de calda de 140 L ha^{-1} , os valores estimados foram 323 gotas cm^{-2} e 32% de cobertura para gotas médias e 266 gotas cm^{-2} e 21% de cobertura para gotas muito grossas (Figuras 4b e 4c). O SPAN foi maior para gotas médias (~1,2) em comparação com gotas grossas (~1,0), mas permaneceu constante em todos os volumes avaliados (Figura 4d).

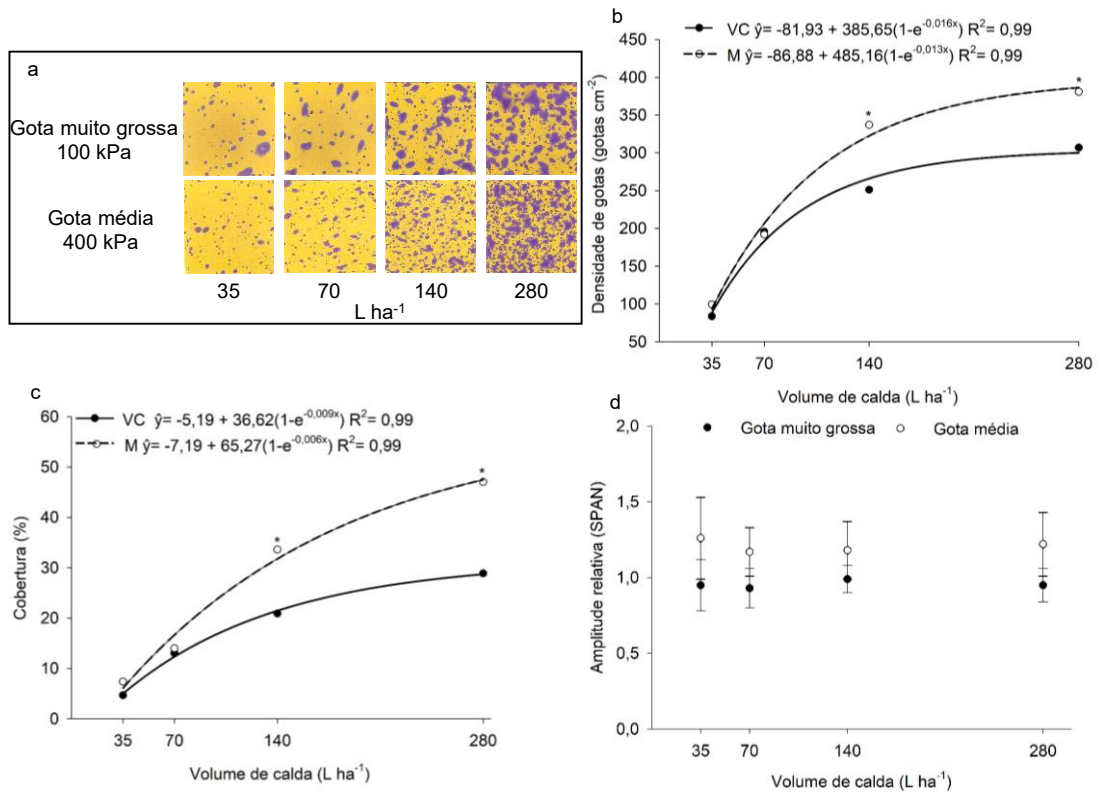


Figura 4. Imagens das etiquetas de papéis hidrossensíveis obtidas nos volumes de calda de 35, 70, 140, e 280 L ha⁻¹ para aplicações com gotas muito grossas - VC e médias - M (a), densidade de gotas (gotas cm⁻²) (b), cobertura (%) (c) e amplitude relativa (d) obtidos em papéis hidrossensíveis após aplicação de atrazine sobre diferentes volumes de calda e espectro de gotas (muito grossas -VC e médias - M). Médias com * diferem em relação ao espectro de gotas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

3.3. Análise cromatográfica

O aumento da concentração de atrazine resultou em aumento linear das áreas dos picos nos cromatogramas, com coeficientes de determinação (R²) de 0,99 (Figura 5). Os limites de detecção e quantificação foram 0,02 e 0,047 mg L⁻¹, respectivamente.

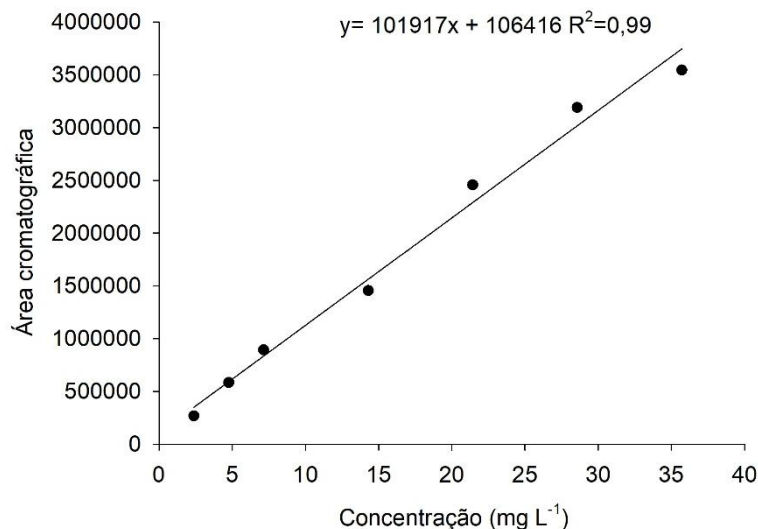


Figura 5: Curva de calibração para o atrazine (2,38 a 35,71 mg L⁻¹) obtida através da diluição da calda aplicada em campo.

A recuperação do atrazine variou de 82 a 88%, estando dentro dos limites estabelecidos pela ANVISA, que recomenda valores entre 80 a 110% para testes de exatidão. A repetibilidade, avaliada por meio do desvio padrão relativo (0,19 a 2%), também esteve de acordo com os critérios estabelecidos pelas normas vigentes. Além disso, o parâmetro de precisão intermediária foi atendido, uma vez que a ANOVA não indicou diferenças entre os ensaios realizados em diferentes dias.

A deposição padrão aumentou consistentemente com os volumes aplicados, sem diferenças no espectro de gotas (Figura 6a). Considerando que 1 $\mu\text{L cm}^{-2}$ equivale a 100 L ha⁻¹, as médias de deposição foram próximas às aplicadas em campo com valores de 0,34; 0,7; 1,5 e 2,9 $\mu\text{L cm}^{-2}$ para volumes de 35, 70, 140 e 280 L ha⁻¹, respectivamente. A deposição efetiva do herbicida atrazine foi de 1,9; 2,0; 2,2 e 2,1 kg i.a ha⁻¹ nos mesmos volumes de calda, estes valores são muito próximos da dose aplicada 2 kg i.a ha⁻¹ (Figura 6b).

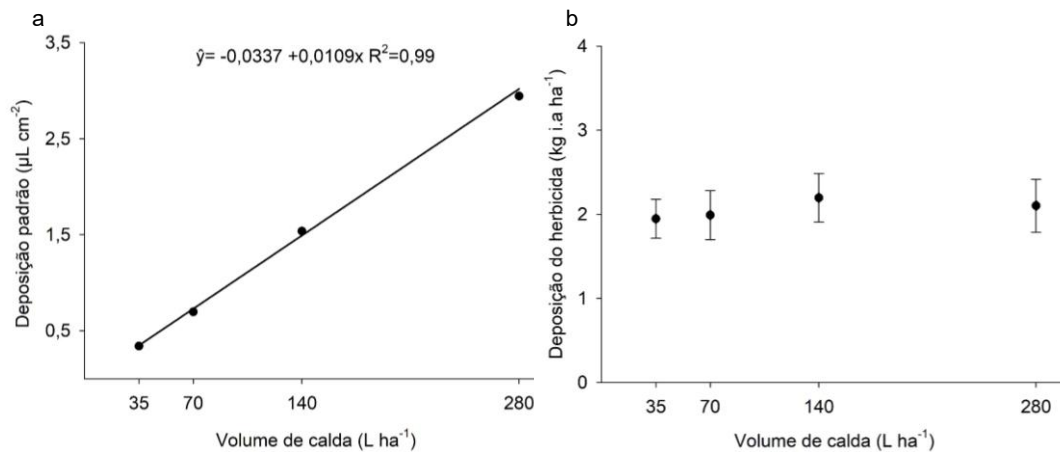


Figura 6: Deposição padrão ($\mu\text{L cm}^{-2}$) (a) e deposição do herbicida atrazine (L ha^{-1}) em função do volume de calda, estimados por meio de CLAE.

3.4. Controle de plantas daninhas

O controle das plantas daninhas aos 7, 11 e 21 DAA apresentou comportamento linear crescente até atingir um platô, sem diferenças entre espectro de gotas. Aos 7 DAA, o controle variou de 54%, no volume de 35 L ha^{-1} , para 92% em $\sim 122 \text{ L ha}^{-1}$. Aos 11 DAA variou de 72% (35 L ha^{-1}) para 96% ($\sim 99 \text{ L ha}^{-1}$). Aos 21 DAA, o controle variou de 88% (35 L ha^{-1}) para 98% ($\sim 70 \text{ L ha}^{-1}$) (Figura 8).

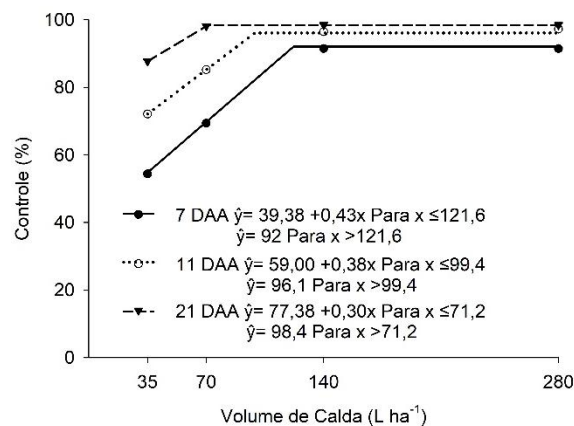


Figura 8. Controle de plantas daninhas aos 7, 11 e 21 DAA do atrazine em função do volume de calda e espectro de gotas.

3.5. Produtividade da cultura do milho

A produtividade do milho no tratamento sem aplicação do herbicida foi de 7018 kg ha^{-1} . Nos tratamentos com aplicação de atrazine, a produtividade variou de 9250 a 10647 kg ha^{-1} , sem diferenças entre os volumes de calda ($35, 70, 140$ e 280 L ha^{-1}) e

os espectros de gotas (muito grossa ou média) (Figura 9), com a aplicação do herbicida evitando perdas entre 24 a 34%.

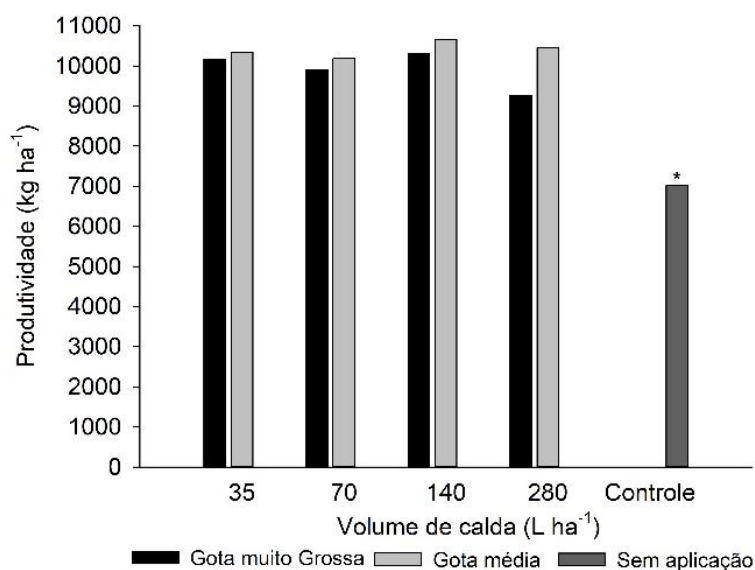


Figura 9. Produtividade do milho em função da aplicação de atrazine em diferentes volumes de calda e espectro de gotas e controle sem aplicação. *Diferencia o controle sem aplicação dos tratamentos com aplicação pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

4. DISCUSSÃO

O DMV é considerado como referência para a classificação do espectro de gotas e os resultados obtidos com a ponta TT11002, com DMV de 466 e 292 μm nas pressões de 100 e 400 kPa, que correspondem a gotas muito grossas (401 – 500 μm) e médias (226-325 μm), segundo a classificação da ASABE (2020), as quais estão de acordo com as informações contidas no catálogo do fabricante (Spraying Systems Co, 2014). A porcentagem de gotas <100 μm , foi inferior a 15% em ambas pressões de trabalho, índice considerado satisfatório (FERGUSON et al., 2016; BUENO et al., 2014), embora o risco de deriva seja menor a 100 kPa (~3%) do que a 400 kPa (~12%). O índice Span foi <2,0 em ambas as pressões, considerado adequado (FONTES, 2012), com maior uniformidade a 100 kPa, em consonância com Cunha et al. (2010).

A densidade de gotas e cobertura no volume de 35 L ha⁻¹ apresentou valores próximos para os espectros de gotas avaliados, com ~90,8 gotas cm⁻² e 5,5% de cobertura. A eficácia da atrazine em pós-emergência depende diretamente da cobertura foliar e da densidade de gotas, uma vez que sua translocação ocorre

exclusivamente via xilema, ou seja, as gotas absorvidas se translocam no sentido do fluxo transpiratório (CREECH, et al., 2016; OLIVEIRA JÚNIOR, et al., 2021). A densidade de gotas recomendada para a aplicação de herbicidas de contato varia entre 30 e 50 gotas cm^{-2} (MAGDALENA et al., 2010). Assim, mesmo no menor volume estudado neste trabalho (35 L ha^{-1}), independente do espectro de gotas, a densidade de gotas foi superior ao mínimo recomendado.

A eficiência da aplicação dos herbicidas bentazon e phenmediphan no controle de *Solanum nigrum* e *Chenopodium album* foi estudada por Cauwer et al. (2023), avaliando diferentes espectros de gotas (finas e muito grossas), obtidos por meio de pontas de jato plano e jato plano com indução de ar. Os resultados desse trabalho indicaram menor porcentagem de cobertura quando se utilizou pontas que produzem espectros de gotas muito grossas. No entanto, o controle não foi afetado, o que se deve, ao efeito benéfico do adjuvante (óleo vegetal) na retenção e espalhamento da calda sobre a superfície foliar (CAUWER et al., 2023). Ramsdale & Messersmith (2001) relataram que a adição de óleo vegetal à calda de pulverização aumentou em até três vezes sua retenção nas folhas. Esse papel do óleo vegetal também foi evidenciado por Damo (2023) ao avaliar a aplicação de atrazine para controle de *Ipomoea triloba* em volumes de calda de 50 e 200 L ha^{-1} . Sem a adição do adjuvante, o controle foi insatisfatório mesmo no maior volume, enquanto sua inclusão resultou em controle eficiente em ambos os volumes avaliados. No presente estudo, o óleo vegetal foi adicionado à calda de pulverização na proporção de 0,5% v/v, o que contribuiu na eficácia observada, independentemente de variações operacionais.

A amplitude relativa (SPAN) avaliada em papel hidrossensível foi maior para gotas médias ($\sim 1,2$) do que para gotas grossas ($\sim 1,0$), indicando maior variação no tamanho de gotas produzidas pela maior pressão de trabalho, que gerou gotas médias. No entanto, esses valores estão dentro dos limites considerados normais que vão de 1 a 2 (VITÓRIA et al., 2019; CHEN et al., 2022; BAIIO et al., 2025). No entanto quanto mais próximo de 1 menor é a variação do tamanho das gotas.

A deposição padrão variou menos de 9% em relação ao volume aplicado em campo, o que demonstra alta precisão na calibração do sistema e consistência da aplicação, já que o volume efetivamente retido no alvo foi próximo ao volume nominal aplicado, mesmo diante de possíveis variações operacionais, como altura da barra ou velocidade de deslocamento em função da irregularidade do terreno.

O menor índice de controle de plantas daninhas aos 21 DAA foi observado com o volume de 35 L ha⁻¹ (~88%). No entanto, esse resultado pode ser considerado satisfatório (LORENZI, 2014), especialmente porque não houve diferença na produtividade do milho entre os volumes de calda e espectro de gotas utilizados na aplicação do atrazine. Em trabalhos anteriores conduzidos em casa de vegetação, o controle de *I. triloba* e *B. pilosa* com a mesma dose de atrazine, volumes de calda e espectros de gotas alcançou 100%, independente dos fatores avaliados (VAZ et al., 2022). Da mesma forma, *I. triloba* foi controlada em 100% com atrazine (2 kg i.a. ha⁻¹) nos volumes de 50 e 200 L ha⁻¹ quando associado a óleo vegetal (v/v 0,5%). Sem o adjuvante, o controle foi insatisfatório em ambos os volumes de calda (DAMO, 2023).

Plantas em casa de vegetação tendem a ser mais suscetíveis ao controle químico devido a condições ambientais favoráveis, como ausência de chuva, vento, alta umidade, e menor incidência de luz, que favorecem absorção e translocação dos herbicidas. Em campo, a variabilidade climática (temperaturas elevadas, baixa umidade, ventos e radiação solar intensa) pode reduzir a eficácia do controle (ABU-NASSAR & MATZRAFI 2025). Essa maior suscetibilidade também é observada em ambientes sombreados, como demonstrado para *Commelina benghalensis*, que sob baixa luminosidade direciona mais energia para o crescimento da parte aérea e eficiência fotossintética, tornando-se mais vulnerável à ação do saflufenacil. Em contrapartida, sob pleno sol, a espécie direciona mais fotoassimilados para órgãos de reserva, o que favorece a rebrota após a aplicação (SANTOS JÚNIOR, 2017).

O chamado 'efeito guarda-chuva' pode ocorrer, especialmente em aplicações com volumes de calda mais baixos, dificultando a deposição da calda nas plantas daninhas localizadas a baixo das folhas do milho (GRIESANG & FERREIRA, 2021). Portanto, volume de calda de 35 L ha⁻¹ pode ser utilizado desde que a aplicação do herbicida seja realizada até o estágio fenológico V5 do milho e nos estágios iniciais de desenvolvimento das plantas daninhas.

Os tratamentos com aplicação de atrazine resultaram em produtividades de milho 31,8 a 51,7% superiores em comparação ao tratamento sem aplicação de herbicida, devido à redução da competição por recursos como água, luz e nutrientes (GIRALDELI et al., 2019; SCHNEIDER et al., 2020; MARTIN et al., 2024). O controle de plantas daninhas nos primeiros 20 DAE do milho é essencial para garantir alta produtividade (HELVIG et al., 2020). Todavia, é importante estar atento à infestação

e estágio das plantas daninhas e o porte das plantas do milho, a fim de evitar o efeito guarda-chuva. Ressalta-se a importância do tempo entre o preparo da área – seja por revolvimento do solo (preparo convencional) ou por dessecação (plantio direto) – e a semeadura. Intervalos maiores favorecem o crescimento das plantas daninhas em relação à cultura.

5. CONCLUSÃO

A aplicação de atrazine com volumes de calda a partir de 70 L ha⁻¹, associado ao óleo vegetal, proporciona alta eficácia no controle de plantas daninhas, independentemente do espectro de gotas, desde que realizada no estágio adequado das plantas daninhas. Taxas de cobertura de aproximadamente 15% e densidade de 180 gotas cm⁻² foram suficientes para obter eficácia no controle, evitando perdas no rendimento da cultura entre 24 e 34%. Portanto, aplicação de atrazine com volume de calda a partir de 70 L ha⁻¹, com gotas médias a muito grossas, associado à adição de óleo vegetal, mostrou-se eficiente para o controle plantas daninhas, tanto do ponto de vista operacional quanto agrônomo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABU-NASSAR, J. and MATZRAFI, M. Effect of different temperatures on herbicide efficacy for the management of the invasive weed *Solanum rostratum* Dunal (family: Solanaceae). **Plants**, v. 14, n. 4, 2025.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **ASABE Standard S-572.3**: Spray nozzle classification by droplet spectra. St. Joseph, Michigan. 2020.

BAIO, F. H. R. et al. Characterization of the droplet population generated by centrifugal atomization nozzles of UAV sprayers. **AgriEngineering**, v. 7, n. 1, p. 15, 2025.

BUENO, M.R. et al. Deposição de calda e controle de plantas daninhas empregando pulverizador de barra convencional e com barra auxiliar, em volumes de calda reduzidos. **Planta Daninha**, v. 32, n. 2, p. 447–454, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582014000200023>

CAMARA, F.T. et al. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de bicos hidráulicos de jato plano de faixa expandida XR11003. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 4, p. 740–749, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162008000400014>

CAUWER, B. D. et al. Performance of Drift-Reducing Nozzles in Controlling Small Weed Seedlings with Contact Herbicides. **Agronomy**, v. 13, n. 5, p. 1342–1342, 2023. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051342>

CHEN, C., et al. Analysis of droplet size uniformity and selection of spray parameters based on the biological optimum particle size theory. **Environmental Research**, 204, 112076, 2022 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.11.2076>

CREECH, C. F. et al. The Impact of Spray Droplet Size on the Efficacy of 2,4-D, Atrazine, Chlorimuron-Methyl, Dicamba, Glufosinate, and Saflufenacil. **Weed Technology**. V. 30, n. 2, p.573-586, 2016. doi:10.1614/WT-D-15-00034.1

CONTIERO, R. L.; BIFFE, D. F.; CATAPAN, V. **Tecnologia de Aplicação**. In: BRANDÃO FILHO, J. U. T.; FREITAS, P. S. L.; BERIAN, L. O. S.; GOTO, R. Hortaliças-fruto [online]. Maringá: EDUEM, 2018. Cap.13, p. 401-449.

CUNHA, J.P.A.R.; BUENO, M.R.; FERREIRA, M.C. Espectro de gotas de pontas de pulverização com adjuvantes de uso agrícola. **Planta Daninha**, v.28, p. 1153–1158, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000500023>

DAMO, L. **Volume de calda e adição de óleo mineral para aplicação de glyphosate e atrazine sobre o controle de *Ipomoea triloba***. 2023. 58p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2023.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2000). Software Gotas. Disponível em: https://www.cnpma.embrapa.br/novidades/sof_gota.html. Acesso em: 07 maio. 2025.

FERGUSON, J.C.; HEWITT, A.J.; O'DONNELL, C.C. Pressure, droplet size classification, and nozzle arrangement effects on coverage and droplet number density using air-inclusion dual fan nozzles for pesticide applications. **Crop Protection**, v. 89, p. 231-238, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.07.032>

FONTES, L.O. **Desempenho operacional de pontas de pulverização para aplicação de defensivos agrícolas na cultura do melão**. 2012. 88f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRSA, Mossoró – RN, 2012.

FRANDOLOSO, F. et al. Competition of maize hybrids with alexandergrass (*Urochloa plantaginea*). **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 09, p. 1447–1455, 2019. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.09.p1540>

FREITAS, F. C. L et al. **Desafios e avanços na tecnologia de aplicação de herbicidas**. In: MENDES, K. F.; SILVA, A. A. (Org.). Plantas daninhas, herbicidas. 2ª ed. São Paulo - SP: Oficina de textos, 2022. Cap.5, p.155-200.

GALON, L. et al. Relative competitiveness between maize hybrids and wild poinsettia. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 2, p. 298–309, 2021. <https://doi.org/10.1590/1983-21252021V34N206RC>

GIRALDELI, A. L. et al. Efficacy and selectivity of alternative herbicides to glyphosate on maize. **Revista CERES**, v. 66, n. 4, p. 279–286, 2019. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201966040001>

GRAZIANO, C. E. et al. Spraying quality of crop protection products using two droplet spectra in three periods of the day. **Engenharia Agrícola**, v.37, n.6, p.1183-1189, 2017. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n6p1183-1189/2017>.

GRIESANG, F.; FERREIRA, M.C. **Tecnologia de aplicação para herbicidas**. In: BARROSO, A.A.M.; MURATA, A.T. (Org.). Matologia: Estudos sobre plantas daninhas. 1ª ed. Jaboticabal – SP: Fábrica da Palavra, p.428-449, 2021.

HELVIG, E. O. et al. Interference periods of weeds in maize in no-tillage and conventional systems at high altitudes. **Planta daninha**, v. 38, e020220057, 2020. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100045>.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Orientação sobre validação de métodos de ensaios químicos**. DOQ-CGCRE-008, Rev. 04. Rio de Janeiro: INMETRO, 2017. Disponível em:

<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/validacao-metodos.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2025.

LORENZI, H (cord). Manual de identificação e controle de plantas daninhas: Plantio direto e convencional. 7ª ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2014.

MAGDALENA, C. J.; CASTILLO, B. H.; PRINZIO, A. D.; HOMER, I. B.; VILLALBA, J. **Tecnología de aplicación de agroquímico**. 1.ed. Argentina, 2010.

MARTIN, T. N. et al. Interferência de plantas daninhas em genótipos de milho. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 9, e7959, 2024. <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n9-172>

MEROTTO, A. et al. Herbicide use history and perspective in South America. **Advances in Weed Science**, v. 40, n. 1, p. 1–18, 2022. <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2022/v40o1a01>.

MOTA, L.M.; et al. Controle de *Urochloa brizantha* cv. Marandu por Glifosato e sua interação com a disponibilidade de luz. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.6, p. 130-139, 2021. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.006.0011>.

RAMSDALE, B. K.; MESSERSMITH, C. G. Nozzle, spray volume, and adjuvant effects on carfentrazone and imazamox efficacy. **Weed Technology**, v. 15, n. 3, p. 485–491, 2001. [https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2001\)015\[0485:NSVAAE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2001)015[0485:NSVAAE]2.0.CO;2).

REZENDE, A. L. et al. Associação de herbicidas para o manejo de plantas daninhas em milho. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 19, n. 4, e742, 2020. <https://doi.org/10.7824/rbh.v19i4.742>.

SANTOS JÚNIOR, A. **Herbicidas com potencial para o manejo de plantas daninhas em eucalipto**. 2017. 53p. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa - MG, 2017.

SCHNEIDER, P. R. et al. Influência do manejo químico no capim-amargoso em cultivo de soja. **Nativa**, v. 8, n. 1, p. 37–42, 2020. <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i1.6724>.

SPRAYING SYSTEMS CO. Teejet Technologies. **Catálogo 51A-PT**. Sede Wheaton, Illinois, EUA. 160p. 2014. Disponível em: https://www.teejet.com/CMSImages/TEEJET_PT/documents/catalogs/cat51a-pt.pdf
Acesso em: 01 de setembro de 2025.

SYNGENTA (2024). Bula do produto Proof – Herbicida registrado no MAPA nº 02999. Disponível em: <https://www.syngenta.com.br/product/crop-protection/herbicida/proof>.
Acesso em: 03 junho. 2025.

SOBUJ, N. & BYUN, C. A synthesis of plant invasion control: important factors to consider when choosing a control method. **Ecoscience**, v. 30, n. 3-4, p. 234-246, 2023. <https://doi.org/10.1080/11956860.2023.2298754>

VAZ, V. et al. Spray volume and droplet spectrum in the control of *Bidens pilosa* and *Ipomoea triloba* with the Fomesafen herbicide. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 28, n. 8, e282568, 2024. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n8e282568>.

VITÓRIA, E. L. et al. Droplet spectrum produced in pumpkin cultures submitted to different forms of spraying. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 14, p. 56–63, 2019. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n14p56>.