UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS

CÂMPUS DE JABOTICABAL

Controle de *Mucuna pruriens* e *Ricinus communis* por pulverização com ARPs: influência da altura de voo e dos adjuvantes sobre a cobertura da calda

Pedro Henrique Guellis Buzinaro

Jaboticabal - SP

2° SEMESTRE/2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS

CÂMPUS DE JABOTICABAL

Controle de *Mucuna pruriens* e *Ricinus communis* por pulverização com ARPs: influência da altura de voo e dos adjuvantes sobre a cobertura da calda

Discente: Pedro Henrique Guellis Buzinaro

Orientador: Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira

Coorientadora: Me. Maria Thalia Lacerda Siqueira

Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, para graduação em ENGENHARIA AGRONÔMICA.

Jaboticabal - SP

2° SEMESTRE/2025

B992c

Buzinaro, Pedro Henrique Guellis

Controle de Mucuna pruriens e Ricinus communis por pulverização com ARPs: influência da altura de voo e dos adjuvantes sobre a cobertura da calda / Pedro Henrique Guellis Buzinaro. -- Jaboticabal, 2025

71 p. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agronômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Marcelo da Costa Ferreira

Coorientadora: Maria Thalia Lacerda Siqueira

1. Pulverização. 2. Ervas daninhas. 3. Drone. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus Jaboticabal

PEDRO HENRIQUE GUELLIS BUZINARO

Controle de *mucuna pruriens* e *ricinus communis* por pulverização com arps: influência da altura de voo e dos adjuvantes sobre a cobertura da calda

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agronômica.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira
Coorientadora: Ma. Maria Thalia Lacerda Siqueira

Área de Concentração: Engenharia Agronômica

Data da defesa: 04/09/2025

(X) Aprovado
( ) Reprovado

Banca Examinadora:

gov.br Documento assinado digitalmente
MARIA THALIA LACERDA SIQUEIRA
Data: 12/09/2025 20:32:14-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Ma. Maria Thalia Lacerda Siqueira
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

gov.br Documento assinado digitalmente
PEDRO LUIS DA COSTA AGUIAR ALVES
Data: 13/09/2025 11:04:20-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Pedro Luis da Costa Aguiar Alves
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

gov.br Documento assinado digitalmente
EDIMAR PETERLINI
Data: 13/09/2025 18:25:56-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Me. Edimar Peterlini
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 18/ 09/2025

gov.br Documento assinado digitalmente
DANIEL JUNIOR DE ANDRADE
Data: 18/09/2025 16:53:56-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Daniel Júnior de Andrade
Chefe do Departamento

Oferecimentos

Dedico este trabalho a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal, em especial à minha família, cujo apoio e incentivo tornaram possível a realização deste sonho.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder força e sabedoria ao longo da jornada.

À minha família, pelo amor incondicional, paciência e apoio constante.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira e a minha coorientadora Me. Maria Thalia Lacerda Siqueira, pela orientação, dedicação e confiança durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores, colegas e demais profissionais que fizeram parte da minha trajetória acadêmica.

À instituição de ensino, pela estrutura e oportunidades oferecidas.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste trabalho.

Aos amigos do Núcleo de Estudos e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação – NEDTA pelo apoio e momentos de aprendizado e paciência.

A minha querida República Xicreti, pelos ensinamentos, amizades feitas e anos de companheirismo.

Agradeço a cada um pelo companheirismo construído, por compartilharmos juntos as experiências acadêmicas e por me proporcionarem momentos de alegria e descontração.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 12
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 15
3. REVISÃO DE LITERATURA 16
3.1 Cana-de-Açúcar 16
3.2 Plantas daninhas em áreas de cana-de-açúcar 17
3.3 Mucuna-Preta 19
3.4 Mamona 21
3.5 Tecnologia de Aplicação 22
3.6 ARP para pulverização de produtos fitossanitários 24
3.7 Fatores que influenciam a eficiência da pulverização com ARPs 25
3.8 Altura de voo impacta diretamente na cobertura da calda sobre o alvo 27
3.9 Adjuvantes 29
4. MATERIAL E MÉTODOS 30
4.1. Análises de cobertura 33
4.2. Análise Estatística 36
5. RESULTADOS 36
5.1. Cobertura superficial 36
5.1.1. *Ricinus communis* 36
5.1.2. *Mucuna pruriens* 38
5.2. Controle das plantas daninhas 39
5.2.1. *Ricinus communis* 39
5.2.2 *Mucuna pruriens* 41
5.3 Matéria seca 45
5.3.1 *Ricinus communis* 45
5.3.2 *Mucuna pruriens* 46
6. DISCUSSÃO 47
6.1 Cobertura superficial 47
6.1.1 *Ricinus communis* 47
6.1.2 *Mucuna pruriens* 48
6.2 Controle das plantas daninhas 49
6.2.1 *Ricinus communis* 49
6.2.2 *Mucuna pruriens* 51
6.3 Matéria seca 52

6.3.1 ***Ricinus communis***.....52
6.3.2 ***Mucuna pruriens*** 53
7. CONCLUSÃO 55
8. LITERATURA CITADA.....56

RESUMO

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas do agronegócio brasileiro, com destaque na produção de açúcar, etanol e bioenergia. Entretanto, o cultivo enfrenta desafios como a interferência de plantas daninhas agressivas, como *Mucuna pruriens* e *Ricinus communis*, que reduzem a produtividade, dificultam a colheita mecanizada e afetam a qualidade da matéria-prima. O controle químico é amplamente utilizado, mas apresenta riscos ambientais e favorece a seleção de biótipos resistentes. Nesse contexto, o uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) surge como uma alternativa eficiente para aplicações localizadas, com maior precisão e menor impacto ambiental. No entanto, fatores como altura de voo e uso de adjuvantes ainda carecem de padronização para garantir a eficácia das pulverizações com baixo volume. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da altura de voo e do uso de diferentes adjuvantes na pulverização com ARP sobre a cobertura e o controle de *M. pruriens* e *R. communis*. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados DBC com arranjo um arranjo fatorial 3 × 3 + 1 (três alturas: 4, 5 e 6 m; três caldas: sem adjuvante, Lauryl PEG Ester e Éster metílico de soja e um tratamento adicional), com quatro repetições. As aplicações foram realizadas com drone DJI Agras T10, com pontas TT11001, velocidade de 18 km/h e volume de calda de 15 L/ha. O controle foi avaliado aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA), e a massa seca determinada após secagem a 60 °C. Os resultados indicaram que, para *R. communis*, a maior cobertura foi obtida com calda sem adjuvante a 4 m. Para *M. pruriens*, a calda com Lauryl PEG Ester teve melhor desempenho em todas as alturas, enquanto Éster

metílico de soja apresentou os menores valores. O controle aumentou ao longo do tempo para ambas as espécies, sendo inferior para Éster metílico de soja a 6 m. A massa seca de *M. pruriens* foi reduzida com Lauryl PEG Ester, destacando-se como o adjuvante mais eficaz. Conclui-se que voos a 4 m com o adjuvante Lauryl PEG Ester proporcionam maior eficiência na pulverização com ARPs, melhorando a cobertura, o controle e reduzindo perdas, contribuindo para o manejo sustentável de plantas daninhas em canaviais.

Palavras-chave: Pulverização aérea localizada, Plantas daninhas em cana-de-açúcar, Aeronaves Remotamente Pilotada

SUMMARY

Sugarcane is one of the main crops in Brazilian agribusiness, standing out in the production of sugar, ethanol, and bioenergy. However, its cultivation faces challenges such as the interference of aggressive weeds, including *Mucuna pruriens* and *Ricinus communis*, which reduce productivity, hinder mechanized harvesting, and affect raw material quality. Chemical control is widely used but poses environmental risks and promotes the selection of resistant biotypes. In this context, the use of Remotely Piloted Aircraft (RPA) emerges as an efficient alternative for targeted applications, offering greater precision and lower environmental impact. Nevertheless, factors such as flight height and the use of adjuvants still lack standardization to ensure the effectiveness of low-volume spraying. This study aimed to evaluate the effects of flight height and different adjuvants in RPA spraying on spray coverage and the control of *M. pruriens* and

R. communis. The experiment was conducted in a randomized block design (DBC) with a factorial arrangement 3 × 3 + 1 factorial design (three heights: 4, 5, and 6 m; three spray solutions: without adjuvant, Lauryl PEG Ester, and soybean methyl ester; plus one additional treatment) with four replications. Applications were performed using a DJI Agras T10 drone equipped with TT11001 nozzles, at a speed of 18 km/h, and a spray volume of 15 L/ha. Weed control was assessed at 7, 14, 21, 28, and 35 days after application (DAA), and dry mass was determined after drying at 60 °C. Results indicated that for *R. communis*, the highest coverage was obtained with the solution without adjuvant at 4 m. For *M. pruriens*, the solution with Lauryl PEG Ester performed best at all heights, while soybean methyl ester presented the lowest values. Weed control increased over time for both species, being lower for soybean methyl ester at 6 m. The dry mass of *M. pruriens* was reduced with Lauryl PEG Ester, which stood out as the most effective adjuvant. It is concluded that flights at 4 m with Lauryl PEG Ester provide greater efficiency in RPA spraying, improving coverage, control, and reducing losses, thus contributing to the sustainable management of weeds in sugarcane fields.

Keywords

Localized aerial spraying; Sugarcane weed control; Remotely Piloted Aircraf

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma das culturas de maior relevância para o agronegócio brasileiro, sendo utilizada na produção de açúcar, etanol e bioenergia, produtos estratégicos para a matriz energética e econômica do país (Conab, 2024; Soares, 2013). O Brasil lidera o ranking mundial de produção, com destaque para os estados de São Paulo, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Alagoas e Pernambuco, onde as condições edafoclimáticas e a infraestrutura favorecem a alta produtividade (Abreu, 2013; Prati, 2008; César, 2003; Marques, 2013; Zambon, 2014).

Apesar da sua importância econômica, a cultura enfrenta diversos entraves ao longo do ciclo produtivo, dentre os quais se destacam os efeitos provocados por plantas daninhas. Essas espécies competem com a cana-de-açúcar por luz, água, nutrientes e espaço, podendo reduzir significativamente o potencial produtivo da lavoura (Meloni, 2025; Suganthi, 2019). Entre as espécies mais agressivas, destacam-se a Mucuna-preta (*Mucuna pruriens*) e a Mamona (*Ricinus communis*), que se desenvolvem mesmo em áreas com a cultura já estabelecida. Estudos apontam perdas de até 50% e 80% da produtividade da cana-de-açúcar associadas à infestação por essas plantas, respectivamente (Torres, 2025). O controle químico ainda é a estratégia mais utilizada, mas o uso intensivo de herbicidas apresenta riscos ambientais, como a contaminação do solo e da água, além da seleção de espécies resistentes (Alencar *et al.*, 2020). O problema se agrava na fase final do ciclo da cana-de-açúcar, quando as plantas daninhas permanecem ativas e dificultam as operações de colheita

mecanizada, causando embuchamento de colhedoras e comprometimento da qualidade da matéria-prima (Costa *et al.*, 2013). Diante desse cenário, torna-se essencial desenvolver tecnologias de manejo mais eficientes e sustentáveis, especialmente em estágios tardios da cultura, onde o porte elevado inviabiliza aplicações com pulverizadores de barra acoplados a tratores, restando apenas as opções manual ou aérea.

A agricultura de precisão, aliada ao sensoriamento remoto, tem viabilizado a adoção de estratégias localizadas de controle, como a aplicação seletiva de herbicidas em áreas infestadas (Magno *et al.*, 2023). Nesse contexto, as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), ou drones, emergem como uma solução tecnológica promissora, capazes de realizar pulverizações em áreas de difícil acesso com alta precisão. Ao contrário das aeronaves agrícolas convencionais, que operam em faixas amplas e com baixa seletividade, os drones permitem aplicações pontuais, otimizando o uso de insumos e reduzindo os impactos ambientais (Guerra, 2023).

O principal obstáculo à eficiência da pulverização com drones em baixo volume é o controle da evaporação e da deriva das gotas. Em cenários de baixa umidade e alta temperatura, gotas de menor diâmetro podem se perder antes de atingir as plantas daninhas, comprometendo a cobertura e causando contaminação ambiental (Christofoletti, 1999). O vento, a temperatura e a umidade relativa do ar são fatores climáticos que interferem diretamente na pulverização, atuando com mais intensidade sobre gotas menores. A evaporação é influenciada pela razão entre a superfície e o volume da gota, sendo mais acelerada quanto menor seu diâmetro. Em condições de baixa

umidade relativa, a água evapora rapidamente, reduzindo o tempo de vida útil da gota, ou seja, o intervalo até a evaporação completa do líquido (Christofoletti, 1999).

A situação é agravada pela falta de protocolos técnicos consolidados que definam parâmetros operacionais ideais, como altura de voo e tipo de bico. Como contramedida, a indústria recorre a adjuvantes para proteger as gotas e melhorar sua deposição, alterando as propriedades físico-químicas da calda. Contudo, a performance desses adjuvantes não é universal, variando conforme o produto e o clima, o que demanda estudos específicos para determinar as combinações mais eficazes em cada cenário.

Dessa forma, a altura de voo da ARP é uma variável crítica, pois influencia diretamente o tempo que a gota permanece em suspensão e, consequentemente, a sua exposição aos fatores ambientais e o risco de deriva (Lucini, 2022). Voos mais altos aumentam o tempo de queda das gotas, favorecendo perdas por evaporação e deslocamento pelo vento. Por outro lado, voos muito baixos podem comprometer a uniformidade da aplicação (Furtado Júnior, 2025). Estudos indicam que, por exemplo, uma gota de 150 micrômetros pulverizada a 26°C com 30% de umidade relativa pode ter seu diâmetro reduzido a 40 micrômetros após cair um metro, evidenciando a importância da altura de voo na eficácia da aplicação (Araújo, 2019). Nesse contexto, o uso de adjuvantes se mostra fundamental para melhorar a qualidade da pulverização, sobretudo em aplicações com baixo volume, como as realizadas por ARPs. Já os adjuvantes são substâncias adicionadas à calda de pulverização que modificam suas propriedades físico-químicas, favorecendo a formação de gotas com

tamanho mais adequado, promovendo maior aderência às superfícies vegetais e reduzindo perdas por escorrimento ou evaporação (Lopes, 2020). Além disso, contribuem para a estabilidade da calda e a cobertura mais eficiente dos alvos biológicos, otimizando o desempenho dos produtos aplicados, sejam inseticidas, herbicidas ou fungicidas. Assim, a escolha correta do adjuvante pode representar um fator decisivo na eficácia do controle, na redução de impactos ambientais e no aproveitamento dos insumos (Lopes, 2020).

Nesse contexto, torna-se necessário estabelecer parâmetros técnicos que otimizem o uso de ARPs no controle localizado de plantas daninhas em canaviais adultos. Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos da altura de voo e da adição de diferentes adjuvantes na pulverização com ARP sobre a cobertura da calda aplicada no controle de *Mucuna pruriens* e *Ricinus communis*, visando à geração de um protocolo técnico-científico que contribua para a melhoria da eficiência operacional e do manejo sustentável da cultura da cana-de-açúcar.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o resultado (em %) da cobertura da pulverização nas plantas daninhas, sob a influência das diferentes alturas de voo e do uso de adjuvantes na calda.
- Determinar a eficácia de controle (em %) em plantas de *Mucuna pruriens* e *Ricinus communis*, para cada um dos tratamentos, comparando os resultados obtidos com as diferentes alturas de voo e o uso de adjuvantes.

- Identificar as condições operacionais mais eficazes para maximizar a cobertura da calda, visando o controle eficiente das plantas daninhas**.**

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cana-de-Açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), pertencente à família Poaceae, figura entre as culturas agrícolas mais antigas e relevantes mundialmente. Originária da região da Nova Guiné, há indícios de seu cultivo há mais de 8 mil anos. A planta se espalhou pela Ásia e foi oficialmente descrita por Lineu em 1753. Além da tradicional produção de açúcar, destaca-se por possuir metabolismo fotossintético do tipo C4, que confere elevada eficiência produtiva. Estima-se que a cultura seja responsável por aproximadamente 75% do açúcar consumido globalmente (Souza *et al.*, 2008). No Brasil, sua introdução ocorreu pouco depois do descobrimento, tendo sido essencial para o desenvolvimento econômico e social da colônia, com cultivo inicial concentrado no Nordeste e posterior expansão para outras regiões (Canabrava, 2005).

Com o tempo, o Brasil tornou-se um dos maiores produtores de açúcar e etanol do mundo. A criação do programa ProÁlcool, em 1975, foi um marco no incentivo ao uso do etanol como alternativa aos combustíveis fósseis, em resposta à crise do petróleo. Já na década de 2000, a cultura passou por uma nova fase de expansão, impulsionada por fatores como a crescente demanda global por açúcar e biocombustíveis, além dos avanços tecnológicos no setor sucroenergético. Na safra de 2011/2012, a produção brasileira de cana-de-

açúcar alcançou cerca de 571 milhões de toneladas, resultando em 36,9 milhões de toneladas de açúcar e 22,8 bilhões de litros de etanol (CONAB, 2011).

Apesar de sua trajetória de sucesso, o setor sucroenergético enfrenta desafios nos últimos anos. Dentre os principais obstáculos estão a necessidade de maior capital para a formação de estoques, a rentabilidade reduzida em algumas safras e a competição com fontes fósseis de energia (Bressan Filho, 2009). Ainda assim, as condições edafoclimáticas favoráveis, o domínio tecnológico no cultivo e os preços mais atrativos reforçam a expectativa de continuidade no crescimento da cultura, mesmo que de forma mais moderada. Sua importância estratégica como fonte renovável de energia e sua contribuição à economia nacional mantêm a cana-de-açúcar como uma das culturas centrais da agricultura brasileira (Thornton *et al*., 2009).

3.2 Plantas daninhas em áreas de cana-de-açúcar

As plantas daninhas competem com as culturas agrícolas por recursos essenciais ao desenvolvimento, como luz, água, nutrientes e espaço. Essa competição ocorre quando ambas se desenvolvem simultaneamente no mesmo ambiente, o que pode comprometer significativamente o desempenho das culturas. O grau de interferência dessas espécies invasoras depende de fatores como a composição da população infestante, características da cultura em questão, condições ambientais e o período de convivência entre as plantas (Pitelli, 1987; Duarte, 2002).

Além da competição por recursos, as plantas daninhas podem causar diversos outros prejuízos ao agroecossistema. Elas atuam como hospedeiras de

pragas e agentes fitopatogênicos, podem liberar compostos alelopáticos que inibem o crescimento de outras plantas, além de apresentarem toxicidade para animais e seres humanos. Também são responsáveis pela redução do valor da terra, perda de biodiversidade, aumento do risco de incêndios, dificuldades no manejo da água e comprometimento da colheita. Os próprios métodos de controle utilizados podem acarretar impactos econômicos e ambientais relevantes (Silva, 2012).

O manejo adequado dessas plantas é uma prática essencial na condução dos agroecossistemas. Sua definição, no entanto, pode variar. Um conceito amplamente aceito, considerada planta daninha como aquela que cresce em local indesejado. Muitas delas apresentam alta agressividade, caracterizada por elevada produção de sementes e estruturas de propagação com grande viabilidade e longevidade, permitindo sua germinação em diferentes ambientes e permanência dormente no solo por longos períodos, até que as condições ambientais favoreçam seu desenvolvimento (Silva, 2012; Lorenzi, 2008).

Plantas daninhas têm potencial para comprometer significativamente a produtividade agrícola, podendo causar prejuízos que chegam à perda total da lavoura (Fontes, 2003). Essas plantas podem provocar danos ainda maiores que pragas e doenças em determinadas situações. Ressalta-se, ainda, que o próprio homem desempenha um papel importante na dispersão e evolução dessas espécies, muitas vezes contribuindo, ainda que de forma involuntária, para sua disseminação. (Pitelli, 1987). Na cultura da cana-de-açúcar, os efeitos negativos das plantas daninhas são percebidos em diferentes fases do ciclo da cultura, sendo fundamental o conhecimento e o manejo adequado dos chamados

períodos críticos de interferência. Durante a fase de plantio e estabelecimento da cultura, a presença de plantas daninhas compromete o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar, fase em que as plantas ainda possuem baixa capacidade competitiva. No período de crescimento vegetativo, a infestação contínua pode limitar o acúmulo de biomassa e reduzir o potencial produtivo. Já na fase de pré-colheita, espécies como mamona (*Ricinus communis*) e mucuna-preta (*Mucuna pruriens*) passam a representar um desafio operacional, dificultando a colheita mecanizada e resultando na contaminação da matéria-prima com material indesejado (Kuva *et al*. 2003).

Pesquisas como a de Kuva *et al.* (2003) reforçam que o manejo eficiente das plantas daninhas deve considerar esses períodos críticos de interferência, com estratégias específicas para cada fase, a fim de minimizar os impactos negativos sobre o rendimento e a qualidade da cultura. Além disso, destaca-se que o próprio homem tem papel relevante na disseminação e adaptação dessas espécies, muitas vezes contribuindo involuntariamente para sua expansão, seja por práticas agrícolas inadequadas, movimentação de solo ou transporte de sementes (Pitelli, 1987).

3.3 Mucuna-Preta

A mucuna-preta (*M. pruriens* (L.) DC. Syn. *Mucuna aterrima* (Piper & Tracy) Holland), originária das Índias Ocidentais, é bem adaptada aos ambientes de clima tropical e subtropical (Pupo, 1979), é uma planta resistente, tolerante a altas temperaturas, períodos de seca, sombreamento e até mesmo a curtos períodos de encharcamento do solo e desenvolve-se satisfatoriamente em solos

ácidos e com baixa fertilidade. Além disso, apresenta a capacidade de reduzir populações de nematoides. Seus grãos, vagens e hastes secas podem ser aproveitados após trituração (Barreto, 2001). É uma leguminosa anual, de porte herbáceo, com ramos trepadores vigorosos que podem alcançar até 6 metros de comprimento (Mapa, 2007).

O ciclo da mucuna-preta é longo, é de cerca de 140 a 150 dias para o início da floração e de 200 a 240 dias até a maturação das vagens (Wutke, 1993). Em estudos de Vieira *et al.* (1988) observaram que a floração começou por volta de abril e a maturidade fisiológica das sementes ocorreu aproximadamente 78 dias após, coincidindo com o início da colheita de cultivares de ciclo intermediário. Carvalho *et al.* (2000) relatam que as sementes possuem tegumento bastante duro e impermeável, o que dificulta a germinação, tornando-a desuniforme e escalonada. A dormência natural das sementes é essencial para a sobrevivência da espécie e geralmente está associada à impermeabilidade do tegumento à água ou, em alguns casos, ao oxigênio, além da possível imaturidade fisiológica do embrião (Vieira, 2000).

De acordo com Kiehl (1979), o adubo verde consiste no cultivo de plantas com o objetivo de fixar nitrogênio atmosférico no solo e, após sua incorporação, melhorar a fertilidade por meio da decomposição da biomassa. Mascarenhas et al. (2008) destacam a mucuna-preta e espécies do gênero *Crotalaria* como as mais indicadas para essa prática. A ciclagem de nutrientes proporcionada pelas leguminosas ocorre em volumes bastante significativos, especialmente na fixação de nitrogênio. Dados do IAC (2008) apontam que *Crotalaria juncea* e mucuna-preta fixam, respectivamente, 234 kg/ha e 215 kg/ha de nitrogênio.

Desse total acumulado pela mucuna-preta, aproximadamente 60% permanecem no solo, 30% são absorvidos pelas culturas subsequentes e cerca de 10% são perdidos no sistema solo-planta (Mapa, 2007).

Apesar dos benefícios, o uso da mucuna-preta e da soja perene (*Neonotonia wightii*) como plantas forrageiras pode, eventualmente, transformar essas espécies em plantas infestantes, especialmente em áreas destinadas ao cultivo de cana-de-açúcar anteriormente ocupadas por pastagens (Perreira, 2001). No estado de São Paulo, a mucuna-preta tem se tornado uma planta daninha preocupante em determinadas lavouras de cana-de-açúcar.

Quando suas sementes não são controladas antes de atingir a maturidade fisiológica e acabam sendo dispersas junto aos resíduos da colheita, ocorre o aumento do banco de sementes no solo. Devido à dormência natural das sementes, a germinação se dá de forma escalonada, favorecendo a perpetuação da planta no ambiente (Maeda, 1989). Portanto, considerando os impactos negativos que a mucuna-preta pode causar às lavouras de cana-de-açúcar, torna-se indispensável a adoção de estratégias de manejo eficientes.

3.4 Mamona

A mamona (*Ricinus communis* L.), pertencente à família Euphorbiaceae, é uma planta de origem tropical com porte arbustivo. Essa espécie apresenta ampla variabilidade morfológica, evidenciada nas diferentes colorações dos caules, folhas e frutos em forma de racemo, frequentemente cobertos por espinhos. Suas sementes também variam em tamanho, forma e coloração (Ferreira *et al*., 2009; Lima *et al.,* 2007).

No contexto agrícola, especialmente em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, a mamona tem sido considerada como planta daninha, em razão de sua elevada resistência ao estresse hídrico, crescimento acelerado e eficiente capacidade de competição por luz, água e nutrientes (Theisen, Andres, 2007). Sua propagação é facilitada pelo mecanismo natural de dispersão das sementes, que são lançadas a longas distâncias quando os frutos se abrem. Além disso, com o desenvolvimento da planta, o caule torna-se lenhoso e rígido, oferecendo riscos de acidentes, principalmente para operadores de máquinas agrícolas (Ramia *et al.*, 2009). Embora existam métodos de controle dessa espécie, o manejo inadequado pode favorecer sua disseminação e persistência nas áreas cultivadas, sendo necessários métodos a busca por métodos eficientes para o controle da planta daninha (Zera, 2011).

3.5 Tecnologia de Aplicação

A Tecnologia de Aplicação constitui um campo interdisciplinar que reúne fundamentos da engenharia agrícola, agronomia, biologia e áreas correlatas, com o propósito de assegurar a utilização racional e eficaz de produtos fitossanitários nas práticas agrícolas. Essa área busca garantir que os insumos atinjam o alvo, como pragas, doenças ou plantas daninhas, na dose necessária, de forma econômica e com o menor impacto possível em áreas não alvo (Ferreira et al., 2007; Matuo, 1990).

A eficácia das aplicações está condicionada a diversos fatores que influenciam a chegada e a retenção da calda sobre o alvo. Dentre esses, destacam-se o volume de calda, o tamanho de gota, o preparo da mistura e as

condições meteorológicas no momento da pulverização, como a temperatura, umidade relativa do ar e a velocidade do vento. Esses elementos interferem de modo mais significativo nas gotas de menor diâmetro, que possuem maior razão entre superfície e volume, sendo, portanto, mais suscetíveis à evaporação. Em condições de baixa umidade relativa, a água presente na gota evapora mais rapidamente, reduzindo o chamado “tempo de vida” da gota, ou seja, o intervalo até a completa evaporação do líquido pulverizado (Christofoletti, 1999). O uso de determinados produtos e adjuvantes pode alterar esse tempo de vida, favorecendo a persistência da gota até o contato com o alvo. Além disso, a assistência de ar pode ser utilizada como estratégia complementar, ao conferir maior velocidade às gotas, encurtando seu tempo de exposição ao ambiente e, consequentemente, reduzindo as perdas por evaporação (Lemos, 2012).

Parâmetros como cobertura da calda sobre o dossel vegetal são essenciais para a eficiência do tratamento, uma vez que impactam diretamente na quantidade de ingrediente ativo disponível para absorção pelo alvo biológico. A distribuição adequada do produto é influenciada tanto por variáveis meteorológicas quanto por fatores operacionais, como a altura de voo, pressão de trabalho, tipo de bico utilizado e presença de adjuvantes, os quais podem modificar características físico-químicas da calda, promovendo melhor espalhamento e adesividade (Cunha, 2021).

Em estádios avançados da cultura da cana-de-açúcar, especialmente durante o período de pré-colheita, o crescimento vegetativo elevado inviabiliza o uso de pulverizadores de barra acoplados a tratores, devido à dificuldade de deslocamento no campo e ao risco de danos à lavoura. Nesse contexto, o uso

de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) apresenta-se como uma alternativa viável e eficiente, permitindo aplicações mais direcionadas e seguras, com controle da altura de voo e melhor cobertura do alvo, mesmo com volumes reduzidos de calda, o que favorece a otimização da operação e o rendimento das aplicações (Cunha, 2021).

3.6 ARP para pulverização de produtos fitossanitários

O avanço das máquinas agrícolas, impulsionado pelos conceitos da Agricultura 4.0, tem promovido uma verdadeira digitalização das práticas no campo, incorporando ferramentas tecnológicas que aprimoram a precisão e a eficiência das operações. Dentre essas inovações, destacam-se as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), popularmente conhecidas como drones, que vêm sendo amplamente adotadas em diversas atividades agrícolas. Segundo a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), ARPs são aeronaves controladas à distância, sem a presença de piloto a bordo, sendo operadas por meio de computadores, dispositivos móveis ou controles remotos.

Esses equipamentos oferecem uma solução moderna e eficiente para os desafios da agricultura atual. Conforme o Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola (Sindag, 2017), os drones têm potencial para substituir parcialmente os pulverizadores tradicionais, ao oferecerem maior precisão nas aplicações e menor risco operacional. Estudos de Verger *et al.* (2014) e Gao *et al*. (2018) apontam que, além de apresentarem baixo custo de aquisição e manutenção, essas aeronaves possuem grande adaptabilidade, sendo particularmente úteis em áreas com difícil acesso, terrenos acidentados ou com

presença de obstáculos, onde os equipamentos convencionais enfrentam limitações operacionais.

Outra vantagem relevante dos ARPs é a possibilidade de realizar pulverizações específicas, com doses ajustadas às necessidades do local, contribuindo para a redução do uso excessivo de produtos químicos e dos impactos ambientais (Luchetti, 2019). Além da aplicação de agrotóxicos, existem outras finalidades com uso dessas aeronaves, no qual são aeronaves com câmera acoplada que podem realizar mapeamento de áreas irrigadas, detecção de erosões e incêndios, análise de terrenos complexos e planejamento de rotas (Assaiante *et al.,* 2020). Embora seu uso esteja se expandindo rapidamente, ainda são necessários estudos que aperfeiçoem e validem essa tecnologia no campo. Como destaca Richardson *et al*. (2020), há lacunas quanto à uniformidade e qualidade das aplicações com drones, o que evidencia a importância de seguir os princípios da tecnologia de aplicação descritos por Matuo (1990).

3.7 Fatores que influenciam a eficiência da pulverização com ARPs

O uso de ARPs na pulverização agrícola surge como uma alternativa tecnológica capaz de aprimorar a aplicação de produtos fitossanitários. Esses equipamentos são compostos por sistemas de propulsão, pulverização e sensores que regulam a quantidade de produto aplicado. Com a expansão do uso desses dispositivos no campo, os avanços tecnológicos se tornaram constantes, tanto no sistema de pulverização quanto nos mecanismos de navegação (Chen, 2022).

As ARPs são capazes de realizar aplicações de herbicidas, fungicidas, inseticidas e até fertilizantes, demonstrando grande versatilidade frente aos diferentes tipos de culturas e características dos terrenos (Hunter, 2019; Xiongkui, 2013). Essa flexibilidade operacional permite que o agricultor realize intervenções precisas nos momentos mais críticos do ciclo produtivo, favorecendo o aumento da produtividade.

Além de oferecer uma resposta ágil no controle de pragas e doenças, o uso das ARPs evita o pisoteio da lavoura, que normalmente ocorre com máquinas terrestres, reduzindo assim perdas por amassamento (Chen H, 2021). Embora a aviação agrícola tradicional ainda apresente maior rendimento em grandes áreas, ela demanda custos operacionais mais elevados. Por outro lado, os drones se destacam pelo menor investimento inicial e custos operacionais reduzidos, além de operarem em baixas altitudes, o que favorece aplicações em áreas menores ou de difícil acesso (Chen P, 2021).

Nos últimos anos, a evolução dos drones agrícolas tem sido notável. Se anteriormente esses equipamentos tinham capacidade operacional de apenas 2 a 3 hectares por hora, atualmente existem modelos capazes de atingir entre 15 e 20 hectares no mesmo período (Chen H. *et al.*, 2021). Essa evolução também se reflete na capacidade dos tanques, que passaram de 8-10 litros nas versões iniciais para até 40 litros nos modelos mais modernos, elevando significativamente a eficiência operacional.

Outro avanço relevante refere-se aos sistemas de posicionamento, que agora utilizam tecnologias como GNSS, com precisão métrica, e RTK, que oferece precisão em nível centimétrico, tornando as operações mais precisas.

Os drones também passaram a incorporar sensores como barômetro, acelerômetro, radar, bússola e câmeras com visão binocular, que auxiliam no controle de altitude, distância e na detecção de obstáculos, com atualizações tecnológicas constantes (Wang, 2019; Chen H, 2021).

A escolha dos bicos de pulverização é um dos aspectos que mais impacta a formação das gotas e a qualidade da cobertura. Os bicos hidráulicos, tradicionalmente utilizados em pulverizadores terrestres, ainda são os mais empregados nos drones. Contudo, modelos mais recentes têm adotado bicos centrífugos, que atomizam a calda por meio da rotação de discos simples ou duplos, gerando uma pulverização mais uniforme (He, 2018; Qingqing, 2017). Além do vento natural, o próprio fluxo de ar gerado pelas hélices do drone influencia na trajetória das gotas. Esse fluxo, responsável por manter a aeronave estável no ar, cria um efeito conhecido como vórtice. Esse fenômeno contribui tanto para direcionar as gotas em direção ao alvo, reduzindo a deriva, quanto para movimentar a folhagem das plantas, promovendo uma melhor penetração do produto, inclusive nas partes inferiores das culturas (Tang, 2021; Zhan, 2022).

Para assegurar uma qualidade na pulverização, é fundamental que sejam definidos parâmetros operacionais como a taxa de aplicação, a velocidade de voo, a altura em relação ao dossel da cultura e o espaçamento entre as linhas de voo (Ruppenthal, 2024).

3.8 Altura de voo impacta diretamente na cobertura da calda sobre o alvo

A pulverização aérea, independentemente do tipo de equipamento utilizado, apresenta uma desvantagem importante em comparação à aplicação

terrestre: a maior distância que as gotas percorrem até atingir o alvo. Esse fator aumenta o risco de deriva, que pode ocorrer dentro da área cultivada (endoderiva) ou fora da área tratada (exoderiva). O potencial de deriva está diretamente relacionado à distância até o alvo, ao diâmetro das gotas e à velocidade do vento, exigindo um equilíbrio criterioso entre esses elementos para reduzir os riscos de perdas (Cunha *et al.,* 2003; Contiero, Biffe e Catapan, 2018). Como a altura de voo é um parâmetro com pouca flexibilidade, em função da segurança da operação e da lavoura, é essencial trabalhar com gotas de tamanho adequado e operar dentro das condições climáticas recomendadas.

A taxa de aplicação e a altura de voo são fatores decisivos para a qualidade da pulverização. Segundo Ruppenthal (2024), maiores alturas aumentam o percurso da gota, deixando-a mais vulnerável a efeitos atmosféricos, como o vento e a evaporação. Além disso, ele destaca que taxas mais elevadas contribuem para um maior diâmetro mediano volumétrico (DMV), o que reduz a ação dos fatores externos sobre o véu de pulverização e, consequentemente, diminui as perdas por deriva. Também de acordo com o autor, é necessário equilibrar altura de voo e cobertura, considerando ainda a influência do fluxo de ar gerado pelas hélices de drones. Essa busca por equilíbrio visa assegurar uma cobertura eficiente em todas as partes da planta, especialmente nas regiões de difícil acesso, como o cartucho e o baixeiro.

Outra ferramenta relevante para otimizar a aplicação aérea é o uso de adjuvantes. Esses produtos podem ter diversas funções, como espalhamento, adesão, ativação, deposição e redução de espuma, sendo os redutores de deriva especialmente importantes nesse tipo de pulverização. Eles auxiliam na

retenção do produto no alvo e contribuem para minimizar perdas durante o percurso da gota (Milanowski *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2020). Assim, conforme demonstrado por Ruppenthal (2024), a distribuição das gotas ao longo de toda a planta é favorecida quando há uma combinação entre parâmetros operacionais bem ajustados e uso apropriado de adjuvantes, resultando em uma aplicação mais uniforme e eficiente.

3.9 Adjuvantes

Os adjuvantes são produtos complementares amplamente empregados em pulverizações agrícolas com a finalidade de alterar as propriedades físico-químicas da calda, contribuindo para o aumento da eficiência da aplicação. Esses compostos funcionam como modificadores das misturas, podendo influenciar positivamente (ou, em algumas situações, negativamente) na compatibilidade entre os componentes dos produtos fitossanitários (Kissmann, 1997). Entre os principais benefícios atribuídos ao uso de adjuvantes estão a melhoria na absorção dos ingredientes ativos pelas plantas, a redução na formação de espuma durante o preparo da calda, a diminuição do risco de perdas por deriva, além da obtenção de uma cobertura mais homogênea sobre o alvo (Costa *et al.*, 2005). Esses efeitos tornam-se ainda mais importantes em ambientes com condições climáticas adversas, como temperaturas elevadas ou presença de ventos fortes, que dificultam a deposição adequada do produto (Carbonari *et al*., 2005).

Vale ressaltar que a resposta dos produtos ao uso de adjuvantes pode variar bastante, pois depende das características químicas dos ingredientes

ativos e das formulações utilizadas. Essa variabilidade representa um desafio para a padronização do uso desses insumos e dificulta a criação de recomendações amplamente aplicáveis (Chow, 1993). No entanto, quando empregados de forma criteriosa e com embasamento técnico, os adjuvantes têm potencial para melhorar significativamente o desempenho agronômico das pulverizações, contribuindo para um controle mais eficaz das pragas e uma utilização mais racional dos insumos agrícolas (Spadoni, 2019).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Fitossanidade da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP), Campus de Jaboticabal/SP, localizado na latitude de 21°14’2” Sul, longitude 48°17’18” Oeste e 583 m de altitude.

O experimento foi conduzido em Delineamento em Blocos Casualizados DBC, em que foi definido para controlar a variabilidade existente na casa de vegetação, como diferenças de luz, temperatura ou umidade ao longo do espaço, seguindo um arranjo fatorial 3 x 3 + 1 totalizando 10 tratamentos e 4 repetições, para cada planta daninha, sendo que cada repetição correspondeu a um vaso contendo uma única planta, o experimento foi organizado em blocos dentro da casa de vegetação, a fim de uniformizar as condições experimentais para as parcelas de cada bloco.

Para o arranjo fatorial 3 x 3 + 1, os fatores consistiram em três alturas de voo a partir do topo das plantas daninhas (4, 5 e 6 metros) e três diferentes adjuvantes: sem adjuvante, com o adjuvante Fighter® (Lauryl PEG Ester,

formulação EC) e com o adjuvante TA35 ultra (Éster metílico de soja, formulação SC). As misturas foram compostas pelo herbicida Triclon® (Triclopir-butotílico), aplicado na dose de 0,8 L / ha (Triclon® 680 g i.a. L^{-1}, formulação EC, UPL S.A.) foi utilizado a dose maior por recomendação da bula, devido as plantas daninhas estarem em maior porte. Aos tratamentos com adjuvantes TA35 e o Fighter®, conforme os volumes de calda definidos a dose utilizada foi 0,25 % do volume aplicado, conforme a bula, em volume de aplicação de 15 L/ha, o qual foi estabelecido com base resultados de outros testes preliminares. Além disso, houve um tratamento testemunha sem aplicação de herbicida.

Tabela 1. Tratamentos para aplicação em Mucuna-Preta e Mamona.

Tratamentos	Herbicida	Volume de calda (L)	Altura de Voo	Adjuvantes
T1	Triclopir-butotílico	15	4	Fighter®
T2		15	5	Fighter®
T3		15	6	Fighter®
T4		15	4	TA 35
T5		15	5	TA 35
T6		15	6	TA 35
T7		15	4	Sem
T8		15	5	Sem
T9		15	6	Sem
T10	Sem aplicação	Sem aplicação	Sem aplicação	Aplicação

Tabela 2. Croqui da distribuição dos tratamentos na área experimental. Legenda: Experimento conduzido em delineamento de blocos casualizados (DBC), com 10 tratamentos (T1 a T10) distribuídos aleatoriamente em 4 blocos/repetições (R1 a R4).

MAMONA – TRICLON			
R1	**R2**	**R3**	**R4**
T1	T7	T1	T3
T2	T5	T4	T9
T3	T4	T7	T1
T4	T1	T9	T2
T5	T9	T6	T4
T6	T8	T10	T8
T7	T3	T2	T6
T8	T6	T3	T5
T9	T10	T8	T10
T10	T2	T5	T7

MUCUNA – TRICLON			
R1	**R2**	**R3**	**R4**
T1	T7	T1	T3
T2	T5	T4	T9
T3	T4	T7	T1
T4	T1	T9	T2
T5	T9	T6	T4
T6	T8	T10	T8
T7	T3	T2	T6
T8	T6	T3	T5
T9	T10	T8	T10
T10	T2	T5	T7

Para a superação da dormência das sementes de *M. pruriens*, foi realizada imersão em água aquecida a 70°C por 10 segundos. A semeadura foi feita diretamente em vasos de 10 litros, preenchidos com um substrato composto por terra, areia e esterco bovino, na proporção de 2:2:1, respectivamente. Após a emergência, foi feito o desbaste, mantendo-se apenas uma planta por vaso. Durante todo o ciclo experimental, os vasos foram irrigados sempre que necessário para garantir o desenvolvimento adequado das plantas. Definiu-se um período de desenvolvimento de três meses para a mamona e dois para a

mucuna-preta, a fim de simular um estágio tardio para o controle, condição frequentemente observada durante catação manual dessas plantas na cultura da cana-de-açúcar

As aplicações dos tratamentos foram realizadas utilizando um drone agrícola DJI Agras T10, equipado com controle remoto, quatro pontas hidráulicas modelo TT11001 e um reservatório com capacidade para 10 litros de calda. As condições operacionais durante as pulverizações foram: velocidade de voo de 18 km h^{-1} e altura de aplicação 4, 5 e 6 metros de altura do topo da planta, utilizando volume de calda de 15 L/ha conforme os tratamentos utilizados. O tamanho de gota de aplicação foi de 500 micra definida no controle remoto do drone e as faixas de aplicação foram de 4, 5 e 6 metros de faixa.

4.1. Análises de cobertura

Para quantificar a cobertura superficial proporcionada pela pulverização, utilizaram-se papéis hidrossensíveis (52 x 76 mm, WSPAPER).

Os coletores foram posicionados em hastes, na altura média do dossel das plantas, mais localizados na superfície do dossel. Logo após as aplicações, os papéis hidrossensíveis foram capturas as fotos para posteriormente serem analisados pelo *software* Gotas (Chaim *et al.*, 2006) para determinação da porcentagem de área coberta pelas gotas.

Figura 1. Papel hidrossensível (foto do autor).

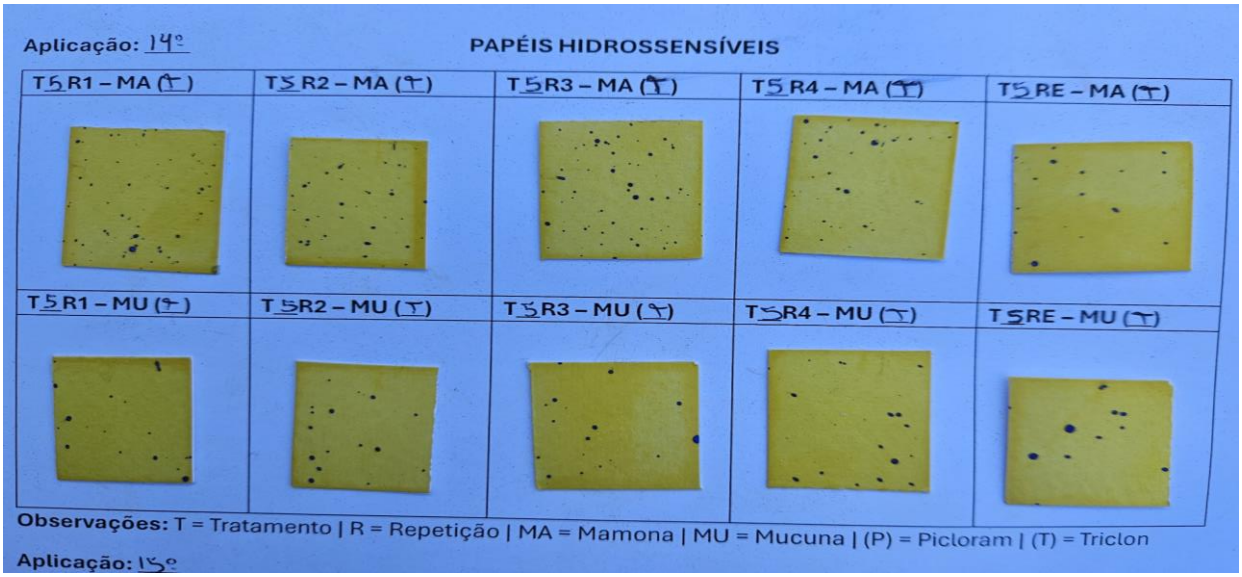

Figura 2. Papel hidrossensível (foto do autor).

As análises de controle foram realizadas aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA), seguindo a escala proposta por ALAM (1974) (Tabela 3), na qual o controle é expresso em porcentagem, variando de 0% (ausência de sintomas em comparação à testemunha) até 100% (morte total das plantas).

Tabela 3. Escala ALAM (1974) para porcentagem de controle adotada, com as respectivas denominações.

Porcentagem (%)	Grau de Controle
0 – 40	Nenhuma a Pobre
41 – 60	Regular
61 – 70	Suficiente
71 – 80	Bom
81 – 90	Muito Bom
91 – 100	Excelente

Além das avaliações de fitotoxicidade, foi realizada a determinação da matéria seca das plantas daninhas. Para isso, as partes aéreas de *M. pruriens* e *R. communis* foram cortadas, acondicionadas em estufa de circulação forçada de ar a 60°C durante 48 horas e, posteriormente, pesadas em balança digital de precisão (modelo GF-1000, A&D Company Ltd., Adelaide, Austrália) com sensibilidade de 0,1 grama.

Tabela 4. Dados de aplicação do dia 30/05/2025.

Aplicação	V. Vento (km/h)	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Horário (Horas)
1°	2.6	45	22.8	8:57
2°	4.3	48	22.2	9:04
3°	0.7	47	22.9	9:10
4°	7.5	44	23.1	9:17
5°	2.4	49	21.7	9:23
6°	3.7	46	22.7	9:28
7°	1.3	46	23.3	9:37
8°	1.9	47	25.4	9:42
9°	1.2	41	25.8	9:47

4.2. Análise Estatística

Inicialmente, os dados foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Levene para verificar a normalidade dos resíduos e a homogeneidade das variâncias, respectivamente, ambos a 5% de significância. Para as variáveis que não atenderam a esses pressupostos, aplicou-se a transformação de raiz quadrada ($\sqrt{x}$) antes de prosseguir com a análise de variância. Após a confirmação desses pressupostos, as médias das variáveis avaliadas, incluindo cobertura da calda, controle das plantas daninhas e massa seca, foram submetidas à análise de variância (ANOVA). Quando identificadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, também ao nível de 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas no software Agrostat, e os gráficos foram elaborados com o auxílio da linguagem Python.

5. RESULTADOS

5.1. Cobertura superficial

5.1.1. *Ricinus communis*

Para *R. communis*, não foi observada interação significativa entre altura de voo e adjuvantes na cobertura superficial ($p > 0,05$). Entretanto, analisados isoladamente, tanto a altura de voo quanto o uso de adjuvantes apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$), indicando que ambos os fatores influenciaram a cobertura sobre o papel sensível.

Para o fator altura, observou-se que as maiores coberturas ocorreram nas aplicações realizadas a 4 e 5 metros, sendo que na altura de 4 metros

proporcionou a maior cobertura superficial - 1,88%. Em relação ao uso de adjuvantes, a maior cobertura foi registrada na aplicação sem adjuvante, embora o adjuvante Lauryl PEG éster tenha apresentado desempenho estatisticamente semelhante. As menores coberturas foram observadas nas aplicações a 5 e 6 metros de altura. Quanto aos adjuvantes, ambos os produtos testados resultaram em menor cobertura em comparação ao tratamento sem adjuvante (Figura 3).

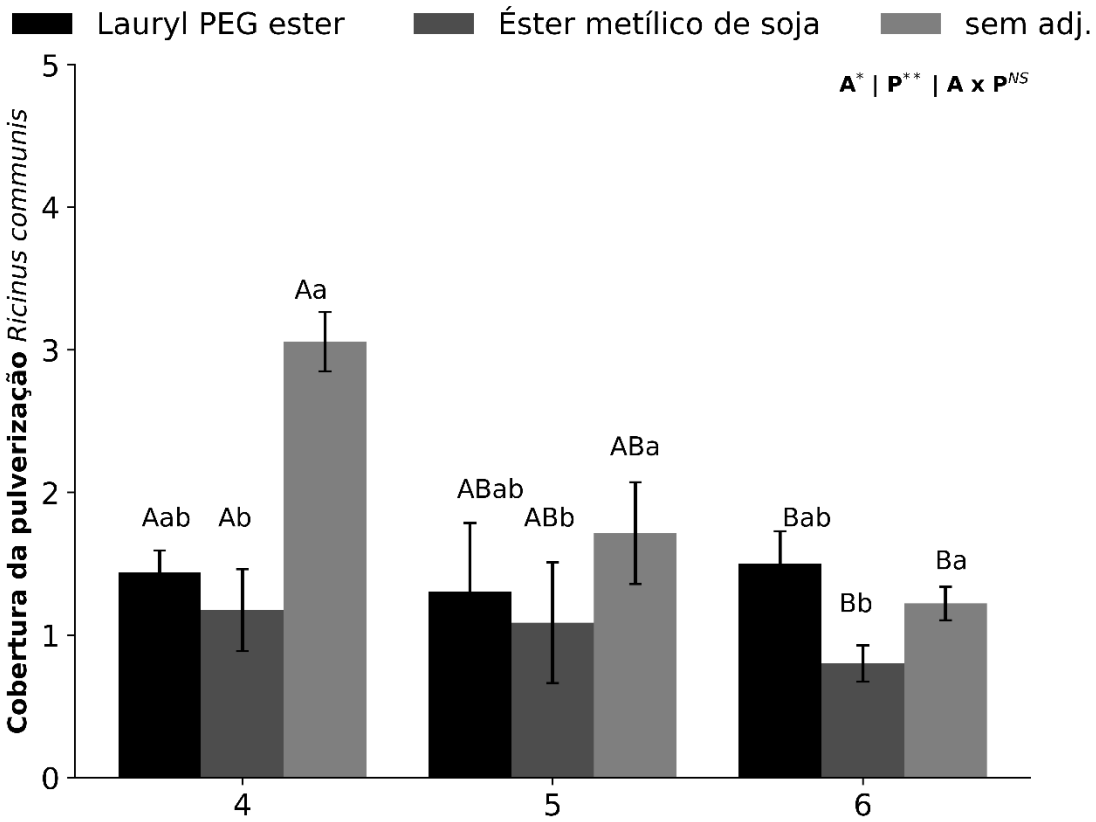

Figura 3. Porcentagem de cobertura superficial em função das caldas e alturas de voo no controle de *R. communis*. Como não houve interação significativa entre altura de voo e adjuvantes (A X P^{ns}), as comparações devem ser interpretadas de forma isolada (O qual apresentam diferença significativa). Letras maiúsculas indicam comparações entre alturas de voo, independentemente do adjuvante, e letras minúsculas indicam comparações entre adjuvantes, independentemente da altura. Médias seguidas pela mesma letra (maiúscula ou minúscula) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Barras de erro representam o erro padrão da média (EPM), com quatro repetições (n = 4); coeficiente de variação: 22,35%.

5.1.2. *Mucuna pruriens*

Para os dados de cobertura superficial em *Mucuna pruriens*, verificou-se interação significativa entre a altura de voo e o uso de adjuvantes (p = 0,0040). Ao analisar o efeito da altura em cada adjuvante, observou-se que os adjuvantes lauryl PEG ester e Éster metílico de soja não apresentaram variação de cobertura entre as três alturas testadas. Em contraste, a calda sem adjuvante obteve sua maior cobertura na altura de 5 metros (Figura 4).

Analisando o fator adjuvante dentro de cada altura de voo, observou-se que, na aplicação a 4 metros de altura, o adjuvante lauryl PEG ester proporcionou a maior cobertura. Já na altura de 5 metros, tanto o Lauryl PEG ester quanto o herbicida sem adjuvante apresentaram maior cobertura em comparação ao Éster metílico de soja. Dessa forma, o adjuvante lauryl PEG ester demonstrou bom desempenho em todas as alturas aplicadas, resultando em coberturas consistentes. Em contrapartida, a calda contendo Éster metílico de soja apresentou os menores valores de cobertura, tanto na comparação entre alturas quanto entre os adjuvantes testados.

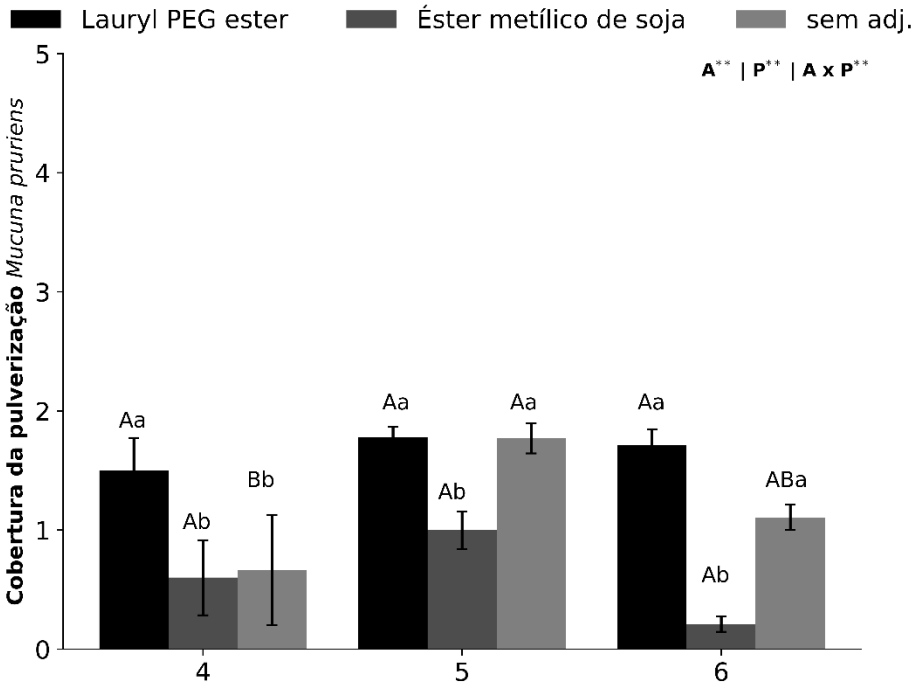

Figura 4. Porcentagem de cobertura superficial em função das caldas e alturas de voo utilizados para controle de *M. pruriens*. Para esses dados houve interação significativa dos fatores (A x P *) Letras maiúsculas comparam as alturas de voo (A) dentro de cada adjuvante; letras minúsculas comparam os adjuvantes (P) dentro de cada altura. Médias seguidas pela mesma letra (maiúscula ou minúscula) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. As barras de erro representam o erro padrão da média (EPM), com quatro repetições (n = 4). CV: 19,35%.

5.2. Controle das plantas daninhas

5.2.1. *Ricinus communis*

Aos 7 dias após a aplicação (DAA), verificou-se interação significativa entre a altura de voo e o uso de adjuvantes (p = 0,0283; Figura 5a). Indicando que as diferenças observadas na cobertura estão associadas à combinação específica de alturas e adjuvantes. Dentro do fator altura, não foram observadas diferenças significativas entre as três alturas para os adjuvantes lauryl PEG éster e éster metílico de soja, já com relação a calda sem adjuvante houve um controle maior na altura de 6 metros. No fator adjuvante, não houve diferença significativa entre os produtos testados dentro de cada altura, à exceção da altura de 4

metros, na qual o lauryl PEG éster e o éster metílico de soja proporcionaram maior controle em relação à ausência de adjuvante.

Aos 14 dias após a aplicação (DAA) (Figura 5b), não foi observada interação significativa entre altura de voo e uso de adjuvantes (p = 0,1002). Para o fator adjuvante houve diferença significativa (p=0,039), observou-se quanto ao fator adjuvante, o herbicida em mistura com lauryl PEG ester apresentou o maior nível de controle em relação as três alturas avaliadas.

Aos 21 DAA, não houve diferenças significativas para nenhum fator isolado ou para a interação, e todos os tratamentos apresentaram altos níveis de controle, variando de aproximadamente 84% a 88%.

Aos 21, 28 e 35 DAA, não foram observadas diferenças significativas para nenhum dos fatores avaliados nem para a interação, sendo mantidos altos níveis de controle de *R. communis* em todos os tratamentos, com valores superiores a 90%.

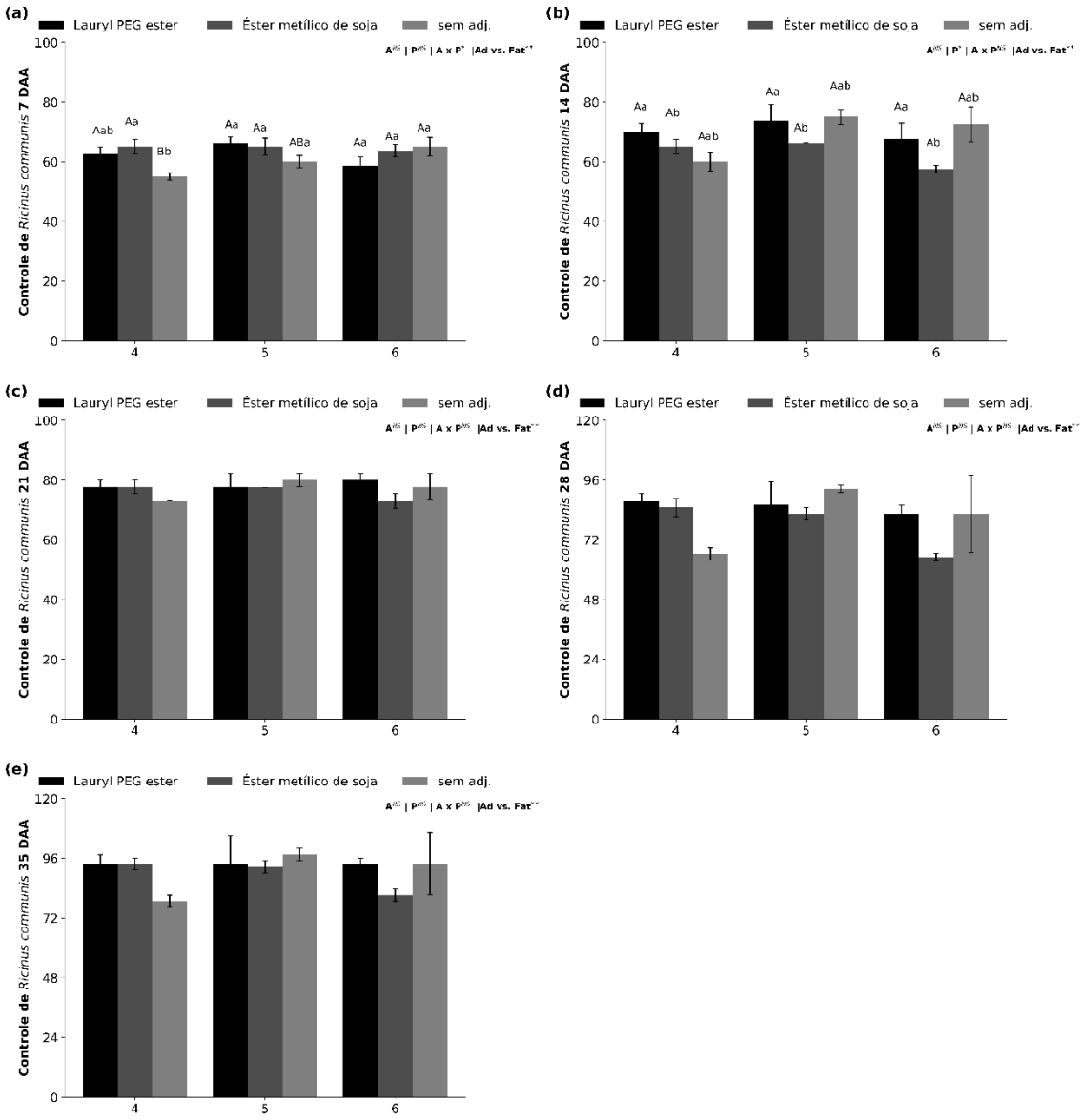

Figura 5. Porcentagem de controle em função das caldas e alturas utilizados para controle de *R. communis.* Como não houve interação significativa entre altura de voo e adjuvantes (A X P^{ns}), as comparações devem ser interpretadas de forma isolada, o qual apresentam diferença significativa para 7 DAA (A), 14DAA (B). Letras maiúsculas comparam as alturas de voo (A) independente dos adjuvantes; letras minúsculas comparam os adjuvantes (P) independente da altura. Médias seguidas pela mesma letra (maiúscula ou minúscula) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. As barras de erro representam o erro padrão da média (EPM), com quatro repetições (n = 4). CV:8,10% (Figura 5a); CV:11,97% (Figura 5b); CV:7,62% (Figura 5c); CV:17,31% (Figura 5d); CV:14,57% (Figura 5e). Para 21 DAA (C), 28 DAA (D) e 35 DDA (E) não houve nem interação significativa e sem diferença significativa de forma isolada

5.2.2 *Mucuna pruriens*

Aos 7 dias após a aplicação (DAA) (Figura 6a), verificou-se efeito significativo do fator altura de voo (p = 0,0125), enquanto não houve diferenças

para o fator adjuvante (p = 0,6110) nem para a interação entre os fatores (p = 0,1642). Independentemente do adjuvante utilizado, a aplicação a 4 m proporcionou maior controle de *Mucuna pruriens* (≈ 60%), enquanto as alturas de 5 e 6 m apresentaram controles inferiores, variando de aproximadamente 48% a 52%, sem diferirem entre si. Esses resultados indicam que, nessa fase inicial após a aplicação, a menor altura de voo favoreceu a cobertura e consequentemente maior controle.

Aos 14 dias após a aplicação (DAA) (Figura 6b), não foram observados efeitos significativos da altura de voo (p = 0,1009) nem da interação entre altura e uso de adjuvantes (p = 0,4129). No entanto, o fator adjuvante apresentou efeito significativo (p = 0,0172), indicando que, independentemente da altura utilizada, os tratamentos com Lauryl PEG éster e éster metílico de soja mantiveram maiores porcentagens de controle de *Mucuna pruriens* em relação à aplicação sem adjuvante.

Aos 21 dias após a aplicação (DAA) (Figura 6c), observou-se efeito significativo da altura de voo (p = 0,0101), enquanto não houve diferenças para o fator adjuvante (p = 0,1218) nem para a interação entre os fatores (p = 0,0877). Independentemente do adjuvante utilizado, as aplicações realizadas a 4 m e 5 m mantiveram níveis de controle de *Mucuna pruriens* próximos a 77–76%, significativamente superiores aos obtidos a 6 m, que variaram entre 71,1%. Esses resultados indicam que alturas menores favoreceram o desempenho da aplicação mesmo após três semanas, contribuindo para maior persistência no controle.

Aos 28 dias após a aplicação (DAA) (Figura 6d), observou-se efeito significativo da altura de voo (p = 0,0109), enquanto não foram detectadas diferenças para o fator adjuvante (p = 0,2284) nem para a interação entre altura e adjuvantes (p = 0,1482). Independentemente do adjuvante utilizado, as aplicações realizadas a 4 m e 5 m apresentaram maiores níveis de controle de *Mucuna pruriens*, variando entre aproximadamente 89% e 81%, enquanto a altura de 6 m resultou em controle inferior, 67,50%. Esses resultados indicam que alturas menores favoreceram a eficácia da aplicação mesmo após quatro semanas.

Aos 35 dias após a aplicação (DAA) (Figura 6e), não foram observadas diferenças significativas para altura de voo (p = 0,0670), para o fator adjuvante (p = 0,5796) ou para a interação entre esses fatores (p = 0,3215). Esses resultados indicam que, no estágio final da avaliação, o controle de *Mucuna pruriens* foi uniforme entre as diferentes alturas de aplicação e adjuvantes testados.

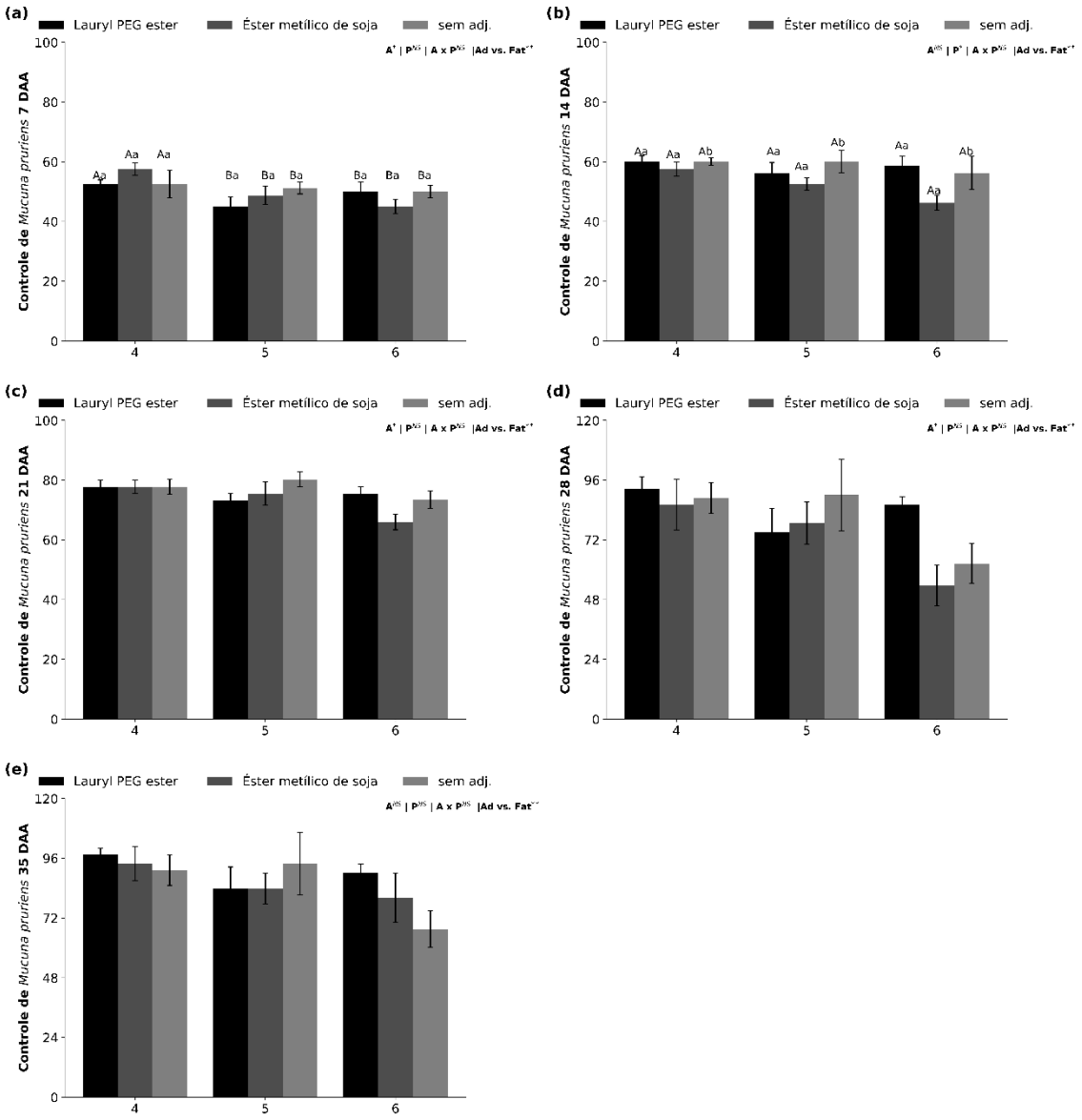

Figura 6. Porcentagem de controle em função das caldas e alturas utilizados para controle de *M. pruriens*. Como não houve interação significativa entre altura de voo e adjuvantes (A X P^{ns}), as comparações devem ser interpretadas de forma isolada, o qual apresentam diferença significativa para 7 DAA (A), 14DAA (B). Letras maiúsculas comparam as alturas de voo (A) independente dos adjuvantes; letras minúsculas comparam os adjuvantes (P) independente da altura. Médias seguidas pela mesma letra (maiúscula ou minúscula) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. As barras de erro representam o erro padrão da média (EPM), com quatro repetições (n = 4). CV:8,10% (Figura 6a); CV:11,33% (Figura 6b); CV:6,95% (Figura 6c); CV:22,95% (Figura 6d); CV:19,23% (Figura 6e). Para 21 DAA (C), 28 DAA (D) e 35 DDA (E) não houve nem interação significativa e sem diferença significativa de forma isolada.

5.3 Matéria seca

5.3.1 *Ricinus communis*

A análise revelou interação significativa entre altura de voo e uso de adjuvantes no acúmulo de matéria seca para *R. communis* (p = 0,0190; Figura 7). Para o adjuvante lauryl PEG éster e ester metílico de soja, não foram observadas diferenças significativas entre as alturas de 4, 5 e 6 m. No caso da calda sem adjuvante, a menor matéria seca foi registrada a 5 m. Ao avaliar os adjuvantes dentro de cada altura, observou-se diferença apenas na altura de 4 m, em que o éster metílico de soja apresentou o menor valor de matéria seca; para as demais alturas, não houve diferença significativa entre os adjuvantes.

A comparação agrupada (Adicional [testemunha] vs. Fatorial) indicou efeito altamente significativo (p = 0,0063), evidenciando que a resposta da cultura ao uso de adjuvantes foi dependente da altura de aplicação.

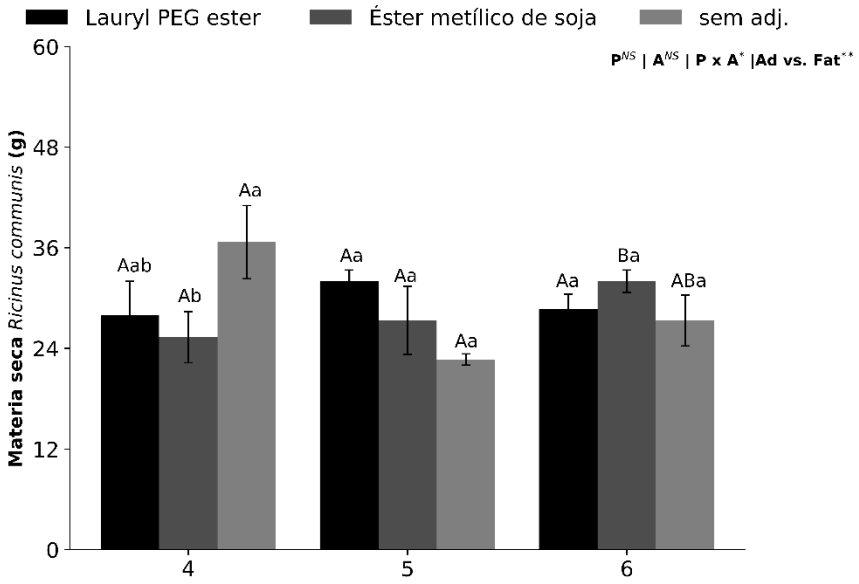

Figura 7. Os valores médios de redução de matéria seca em função das caldas e alturas de voo utilizados para controle de *R. communis*. *. Letras maiúsculas comparam as alturas de voo (A) dentro de cada adjuvante; letras minúsculas comparam os adjuvantes (P) dentro de cada altura. Médias seguidas pela mesma letra (maiúscula ou minúscula) não diferem entre si pelo teste de

Tukey a 5% de significância. As barras de erro representam o erro padrão da média (EPM), com quatro repetições (n = 4). CV: 8,39%.

5.3.2 *Mucuna pruriens*

A análise revelou interação significativa entre altura de voo e uso de adjuvantes no acúmulo de matéria seca de *M. pruriens* (p = 0,0253; Figura 8). Para o adjuvante lauryl PEG éster, a maior matéria seca foi registrada a 5 m, superando as alturas de 4 e 6 m. No caso do éster metílico de soja e da calda sem adjuvante, não houve diferenças significativas entre as alturas. Comparando adjuvantes dentro de cada altura, a 5 m o éster metílico de soja e sem adjuvante resultou em menor matéria seca em relação à calda com lauryl PEG ester, enquanto a 4 e 6 m não houve diferenças.

A comparação agrupada (Adicional [Testemunha] vs. Fatorial) indicou efeito altamente significativo (p < 0,0001), evidenciando que a resposta de *M. pruriens* foi influenciada pela combinação entre adjuvante e altura de voo.

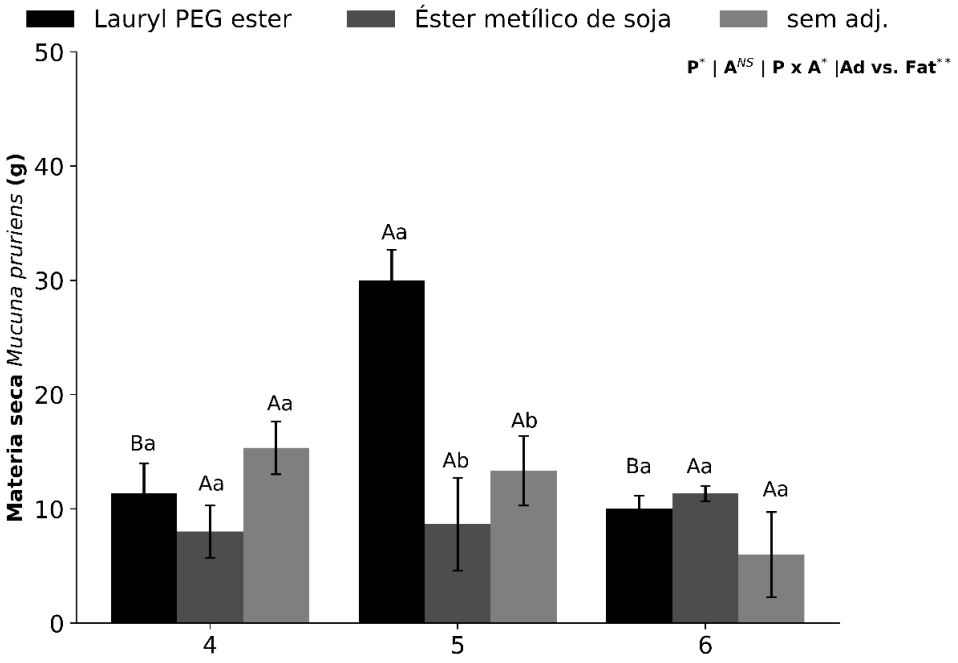

Figura 8. Os valores médios de redução de matéria seca em função das caldas e alturas de voo utilizados para controle de *M. pruriens*. *. Letras maiúsculas comparam as alturas de voo (A)

dentro de cada adjuvante; letras minúsculas comparam os adjuvantes (P) dentro de cada altura. Médias seguidas pela mesma letra (maiúscula ou minúscula) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. As barras de erro representam o erro padrão da média (EPM), com quatro repetições (n = 4).CV: 21,70%.

6. DISCUSSÃO

6.1 Cobertura superficial

6.1.1 *Ricinus communis*

A ausência de interação significativa entre altura de voo e adjuvantes sugere que esses fatores atuam de forma independente na determinação da cobertura superficial em *Ricinus communis*. Entretanto, a análise isolada evidenciou que ambos influenciam a pulverização, o que está de acordo com estudos que apontam a altura de voo como um dos principais determinantes da deposição da calda (Lima; Costa, 2025).

Observou-se que a aplicação realizada a 4 m proporcionou a maior cobertura superficial (1,88%), resultado consistente com a literatura que destaca faixas intermediárias de altura como mais eficientes para promover a distribuição das gotas e reduzir perdas por deriva (Baio; Antuniassi, 2019). Já a aplicação a 6 m apresentou menor eficiência, possivelmente em razão da maior suscetibilidade das gotas à ação do vento e à evaporação, reduzindo a cobertura sobre o alvo.

Em relação aos adjuvantes, verificou-se que a aplicação sem adjuvante apresentou maior cobertura, ainda que estatisticamente semelhante ao tratamento com Lauryl PEG éster. Esse resultado pode indicar que a adição de adjuvantes, embora tenha função de modificar características físico-químicas da calda, como tensão superficial e ângulo de contato (Holloway, 2000), nem

sempre garante aumento da cobertura. É possível que, nas condições deste experimento, os adjuvantes tenham promovido maior formação de gotas grossas, reduzindo a possibilidade de deriva, efeito já relatado por Ferreira *et al*. (2011).

De maneira geral, os resultados reforçam a importância de ajustar a altura de voo em aplicações com ARPs, uma vez que valores intermediários (como 4 m) favoreceram maior cobertura, enquanto os adjuvantes testados não proporcionaram ganhos expressivos. Esse comportamento ressalta que a eficácia do uso de adjuvantes depende de fatores como condições ambientais, tipo de bico e características da calda, devendo sua adoção ser avaliada caso a caso.

6.1.2 *Mucuna pruriens*

Diferentemente do observado em *Ricinus communis*, para *Mucuna pruriens* foi detectada interação significativa entre altura de voo e uso de adjuvantes, evidenciando que a eficiência da pulverização depende da combinação entre esses dois fatores. Essa resposta pode estar relacionada às características morfofisiológicas da cultura, como arquitetura da planta e disposição foliar, que influenciam diretamente a interceptação das gotas (Machado, 2019).

O desempenho consistente do adjuvante Lauryl PEG éster em todas as alturas testadas sugere que sua formulação contribuiu para manter a uniformidade da cobertura, possivelmente pela alteração das propriedades de espalhamento das gotas e da tensão superficial da calda (Cunha; Alves, 2009;

Cunha *et al.,* 2010). Resultados semelhantes foram relatados por Cunha *et al*. (2018), que observaram maior eficiência de adjuvantes com características surfactantes na cobertura foliar. Em contrapartida, o Éster metílico de soja apresentou as menores coberturas em praticamente todas as condições, o que pode estar associado à formação de gotas maiores e com menor capacidade de recobrimento, reduzindo a eficácia da pulverização.

No caso da aplicação sem adjuvante, a maior cobertura foi registrada a 5 m, comportamento que pode estar relacionado à interação entre o padrão de distribuição das gotas e a arquitetura da *M. pruriens*. No entanto, esse efeito não se manteve de forma consistente em outras alturas, reforçando que a ausência de adjuvantes tende a aumentar a variabilidade da pulverização.

De modo geral, os resultados indicam que a escolha adequada do adjuvante é determinante para a eficiência da pulverização em *M. pruriens*, sendo o Lauryl PEG éster mais estável e eficiente em diferentes alturas de voo. A baixa performance do Éster metílico de soja confirma que nem todos os adjuvantes disponíveis no mercado oferecem ganhos em cobertura, destacando a necessidade de seleção criteriosa em função da cultura e das condições operacionais (Bueno *et al*., 2018; Cunha; Alves, 2009).

6.2 Controle das plantas daninhas

6.2.1 *Ricinus communis*

O controle de *Ricinus communis* apresentou variações significativas nos primeiros dias após a aplicação, especialmente aos 7 DAA, quando houve interação entre altura de voo e uso de adjuvantes. Esse resultado sugere que,

no início do período de avaliação, a eficácia do herbicida esteve mais diretamente relacionada à combinação entre altura e adjuvante, refletindo o padrão de cobertura observado anteriormente (Lima, Costa, 2025; EDUFMA, 2022).

Aos 7 DAA, a ausência de diferença entre alturas para os adjuvantes Lauryl PEG éster e Éster metílico de soja indica que esses produtos conferiram estabilidade ao desempenho do herbicida, independentemente da altura de voo. Entretanto, no tratamento sem adjuvante, observou-se maior controle a 6 m, o que pode estar associado a uma deposição mais eficiente nessa condição específica, ainda que sem consistência em outras alturas. Essa variação sugere que a ausência de adjuvante aumenta a dependência do fator operacional para garantir eficácia.

Aos 14 DAA, o efeito mais pronunciado foi do adjuvante Lauryl PEG éster, que proporcionou maior controle em todas as alturas. Esse resultado reforça o papel dos adjuvantes em prolongar a eficiência da calda, seja por melhorias na absorção foliar, seja pela redução da perda do ingrediente ativo após a aplicação.

Após 21 DAA, não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos, e os níveis de controle permaneceram elevados, acima de 84%. Esse comportamento demonstra que, embora fatores como altura de voo e adjuvantes influenciem a eficácia inicial da aplicação, a médio e longo prazo o herbicida utilizado apresenta elevada eficiência no manejo de *R. communis*. De modo geral, os resultados indicam que o uso de adjuvantes, em especial o Lauryl PEG éster, favorece maior consistência no controle de *R. communis* nos estágios

iniciais pós-aplicação, enquanto em períodos mais avançados o herbicida demonstrou elevada eficácia independentemente das condições operacionais. Esse padrão evidencia que a escolha correta do adjuvante é estratégica para garantir maior rapidez no efeito de controle, embora a eficácia final seja menos sensível às variáveis de aplicação.

6.2.2 *Mucuna pruriens*

O controle de *Mucuna pruriens* apresentou comportamento distinto ao longo do período de avaliação, evidenciando maior influência da altura de voo do que do uso de adjuvantes. Aos 7 DAA, verificou-se que a aplicação a 4 m resultou em maior eficiência no manejo da espécie, alcançando aproximadamente 60% de controle, enquanto aplicações a 5 e 6 m apresentaram desempenho inferior. Esse padrão sugere que menores alturas de voo favorecem maior deposição inicial da calda sobre o alvo, reduzindo perdas por deriva e evaporação (Lima, Costa 2025).

Aos 14 DAA, o efeito significativo do fator adjuvante indicou que o uso de Lauryl PEG éster e Éster metílico de soja contribuiu para a manutenção do controle, independentemente da altura utilizada. Esse resultado reforça o papel dos adjuvantes em prolongar a ação do herbicida, possivelmente por melhorias na retenção e absorção foliar (Manual de Proteção de Plantas – CultivaSmart, 2025).

Aos 21 e 28 DAA, a altura de voo voltou a exercer papel determinante. Aplicações realizadas a 4 e 5 m proporcionaram maiores níveis de controle, atingindo até 89%, enquanto a 6 m os valores foram inferiores. Esse

comportamento demonstra que, mesmo após três a quatro semanas da aplicação, a eficiência no manejo de *M. pruriens* foi favorecida por alturas menores de voo (Fundamentos em Biologia e Manejo de Plantas Daninhas, EDUFMA, 2022).

Aos 35 DAA, não foram observadas diferenças significativas entre tratamentos, indicando que, no período final de avaliação, o herbicida apresentou alta eficácia independentemente da altura de voo ou da presença de adjuvantes. Esse resultado evidencia que, embora os fatores operacionais e o uso de adjuvantes influenciem a eficiência nos estágios iniciais e intermediários do controle, a ação residual do herbicida assegura elevada eficácia a longo prazo (Lima, Costa; 2025).

De maneira geral, os resultados reforçam que a utilização de alturas menores (4–5 m) é mais eficiente para garantir maior controle inicial e persistente de *M. pruriens*, enquanto o uso de adjuvantes, embora tenha contribuído pontualmente, mostrou-se menos determinante do que o ajuste adequado da altura de voo (Manual de Proteção de Plantas – CultivaSmart, 2025).

6.3 Matéria seca

6.3.1 *Ricinus communis*

Os resultados demonstraram que a interação entre altura de voo e uso de adjuvantes influenciou significativamente o acúmulo de matéria seca em *Ricinus communis*, sugerindo que a eficiência da aplicação aérea depende não apenas do produto utilizado, mas também da altura de aplicação. Esse comportamento é coerente com estudos que evidenciam a importância da interação entre

tecnologia de aplicação e características das caldas no desempenho de herbicidas (Cunha et al., 2010; Lima, 2025).

No presente estudo, o lauryl PEG éster e éster metílico de soja apresentaram comportamento uniforme nas diferentes alturas (4, 5 e 6 m), indicando maior estabilidade da calda e menor sensibilidade às variações no padrão de deposição. Segundo Cunha et al., (2010), Baio et al., (2019) adjuvantes como o lauryl PEG éster com propriedades surfactantes mais estáveis tendem a reduzir perdas por deriva, mantendo a deposição efetiva da calda e, consequentemente, favorecendo o desempenho agronômico.

Ao avaliar os adjuvantes dentro de cada altura, verificou-se diferença apenas a 4 m, em que o éster metílico de soja resultou em menor valor de matéria seca. Esse resultado está de acordo com Cunha et al. (2010) e Baio et al. (2019), que destacam a maior variabilidade de desempenho de adjuvantes à base de óleo, os quais podem comprometer a deposição sob determinadas condições de pulverização aérea.

O estudo demonstra que a recomendação de um adjuvante para aplicações com ARP não pode ser dissociada dos parâmetros operacionais de voo. O desempenho de uma mesma calda variou de benéfico a prejudicial simplesmente ao se alterar a altura da aplicação, o que evidencia a importância de uma abordagem integrada na otimização desta tecnologia.

6.3.2 *Mucuna pruriens*

A interação significativa entre altura de voo e uso de adjuvantes no acúmulo de matéria seca de *Mucuna pruriens* demonstra que a eficiência do controle depende diretamente da combinação entre fatores operacionais e

químicos. Esse padrão é consistente com o relatado por Cunha *et al.* (2010), Baio *et al*. (2019) e Lima e Costa (2025), que destacam a influência conjunta das condições de aplicação e do uso de adjuvantes sobre a eficácia final da pulverização.

O desempenho do adjuvante Lauryl PEG éster mostrou-se atípico em comparação aos demais parâmetros avaliados, uma vez que a maior matéria seca foi registrada a 5 m, indicando menor eficácia de controle nessa condição. Esse comportamento sugere que, nessa altura específica, o adjuvante pode ter favorecido a formação de gotas de maior diâmetro ou reduzido a penetração do herbicida, diminuindo sua eficiência. Em contrapartida, tanto o Éster metílico de soja quanto a calda sem adjuvante apresentaram menores valores de matéria seca a 5 m, evidenciando maior supressão da biomassa da espécie nessas condições.

Ao analisar o fator altura de forma isolada, não foram observadas diferenças significativas para o Éster metílico de soja e para o tratamento sem adjuvante, o que sugere que, nessas formulações, a eficiência da aplicação foi menos dependente da variação da altura. Contudo, a comparação agrupada reforça que a resposta de *M. pruriens* foi fortemente influenciada pela interação entre altura e adjuvante, confirmando que ajustes operacionais associados à escolha adequada de adjuvantes são fundamentais para maximizar a redução da biomassa da espécie.

De forma geral, os resultados indicam que, para *M. pruriens,* a altura de voo de 5 m apresentou resultados distintos dependendo do adjuvante utilizado: desfavorável quando associado ao Lauryl PEG éster, mas eficiente para o Éster

metílico de soja e para a ausência de adjuvante. Essa variação ressalta a complexidade do manejo químico da espécie e a importância de considerar tanto as características morfofisiológicas da planta quanto as interações físico-químicas da calda no momento da aplicação.

7. CONCLUSÃO

A pulverização aérea com ARPs demonstrou potencial para o controle de *Ricinus communis* e *Mucuna pruriens*, desde que a operação seja ajustada em função da altura de voo e do uso de adjuvantes. Para *R. communis*, os adjuvantes favoreceram maior eficiência de controle, reduzindo a matéria seca, principalmente em alturas intermediárias. Em *M. pruriens*, a interação entre altura e adjuvante foi determinante, com desempenho superior do éster metílico de soja e da calda sem adjuvante na altura de 5 m, em contraste ao comportamento do Lauryl PEG éster.

O adjuvante Lauryl PEG Ester, especialmente em voos a 4 m, proporcionou maior eficiência na pulverização com ARPs, destacando-se pelo melhor desempenho em *M. pruriens* e pela redução da massa seca. Para *R. communis*, a maior cobertura foi alcançada com calda sem adjuvante na altura de 4 metros. Além disso observou-se aumento do controle ao longo do tempo, sendo este inferior para o Éster metílico de soja a 6 m.

Esses resultados evidenciam que não existe uma combinação universalmente eficiente, mas sim a necessidade de adaptar as condições de aplicação conforme a espécie-alvo e o adjuvante utilizado. Dessa forma, a adoção de práticas de pulverização mais precisas e o uso criterioso de

adjuvantes podem contribuir para maior efetividade no manejo químico de plantas infestantes de difícil controle, além de promover maior racionalização no uso de insumos agrícolas.

8. LITERATURA CITADA

ABREU, M. L. de. Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. Bragantia, Campinas, 2013.

ALENCAR, B. T. B. et al. Use of macrophytes to reduce the contamination of water resources by pesticides. Ecological Indicators, v. 109, p. 105785, 2020.

ANFRADE, J. M. A.; PRETTO, R. D.; CARVALHO, E.; BOLONHEZI, D.; SCARPELLINI, R. J.; CARDOSO, V. B. Avaliação de RPAs para pulverização em diferentes culturas. Ingeniería y Región, v. 20, n. 1, p. 72–77, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.25054/22161325.1912. Acesso em: 25 jun. 2025.

ARAÚJO, E. Estado da arte sobre deriva na pulverização aeroagrícola. Porto Alegre: SINDAG, 2019. Disponível em: https://sindag.org.br/wp-content/uploads/2024/11/Estudo-Neaagri.pdf. Acesso em: 24 ago. 2025.

ASSAIANTE, B. A. S.; CAVICHIOLI, F. A. A utilização de veículos aéreos não tripulados (VANT) na cultura da cana-de-açúcar. Revista Interface Tecnológica, v. 17, n. 1, p. 444-455, 2020.

BAIO, F. H. R.; ANTUNIASSI, U. R.; CASTILHO, B. R.; TEODORO, P. E.; SILVA, E. E. D. Correction: Factors affecting aerial spray drift in the Brazilian Cerrado. PLOS ONE, v. 14, n. 6, e0217957, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217957. Acesso em: 18 ago. 2025.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Cultivo de Gliricidia sepium e Leucaena leucocephala em alamedas visando à melhoria dos solos dos tabuleiros costeiros. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 36, n. 10, p. 1287-1293, 2001.

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil nº 94: requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. Emenda 00. Brasília, DF: ANAC, 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Bancos comunitários de sementes de adubos verdes: cartilha para agricultores. Brasília, DF: MAPA, 2007. Anexos.

BRESSAN FILHO, A. Os fundamentos da crise do setor sucroalcooleiro no Brasil. In: COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Os fundamentos da crise do setor sucroalcooleiro no Brasil. Brasília, DF: CNP, 2009. p. 86.

CANABRAVA, A. P. História econômica: estudos e pesquisas. São Paulo: UNESP, 2005. 320 p.

CARBONARI, C. A. et al. Efeito de surfactantes e pontas de pulverização na deposição de calda de pulverização em plantas de grama-seda. Planta Daninha, v. 23, n. 4, p. 725-729, 2005.

CARVALHO, A. M. X. de et al. SPEED Stat: a free, intuitive, and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments. Crop Breeding and Applied Biotechnology, v. 20, n. 3, e327420312, 2020. DOI: 10.1590/1984-70332020v20n3s46.

CARVALHO, M. N.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2000. 152 p.

CESAR, M. A. A.; SILVA, F. C. da. Processamento e produção de açúcar mascavo, rapadura e melado de cana-de-açúcar. In: _____. Pequenas indústrias rurais da cana-de-açúcar. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 53-83.

CHAIM, A.; NETO, J. C.; PESSOA, M. C. P. Y. Uso do programa computacional Gotas para avaliação da deposição de pulverização aérea sob diferentes condições climáticas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 23 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 39).

CHEN, H. et al. Review of agricultural spraying technologies for plant protection using unmanned aerial vehicle (UAV). International Journal of Agricultural and Biological Engineering, v. 14, n. 1, p. 38-49, jan. 2021.

CHEN, P. et al. Characteristics of unmanned aerial spraying systems and related spray drift: a review. Frontiers in Plant Science, v. 13, p. 1-16, 8 ago. 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.870956.

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, maio 2021. DOI: 10.1016/j.indcrop.2021.113324.

CHOW, P. N. P. Adjuvants in spray formulation in relation to foliar application of herbicides. In: MATTHEWS, G. A.; HISLOP, E. C. (ed.). Application technology for crop protection. Wallingford: CAB, 1993. p. 291-304.

CHRISTOFOLETTI, J. C. Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle. São Paulo: Teejet South América, 1999. 15 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, v. 13, n. 1: primeiro levantamento 2025. Brasília, DF: Conab, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-cana-de-acucar/arquivos-boletins/1o-levantamento-safra-2025-26/boletim-cana-de-acucar-4o-levantamento-2025-26#:~:text=Essa%20redu%C3%A7%C3%A3o%2C%20se%20deve%20%C3%A0s,que%20afetaram%20parte%20dos%20canaviais. Acesso em: 22 maio 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Cana-de-açúcar: safra 2011/2012: terceiro levantamento. Brasília, DF: Conab, 2011. 20 p. (Acompanhamento da safra brasileira).

CONTIERO, R. L.; BIFFE, D. F.; CATAPAN, V. Tecnologia de aplicação. In: HORTALIÇAS-FRUTO. EDUEM, 2018. p. 401-449. DOI: 10.7476/9786586383010.0015.

COSTA, A. G. F. et al. (ed.). Desafios, avanços e soluções no manejo de plantas daninhas: palestras apresentadas no II Simpósio sobre manejo de plantas daninhas no Nordeste. Brasília, DF: Embrapa; Londrina, PR: SBCPD, 2013. 1 CD-ROM.

COSTA, N. V. et al. pH foliar e deposição de gotas de pulverização em plantas daninhas aquáticas: Brachiaria mutica, Brachiaria subquadripara e Panicum repens. Planta Daninha, v. 23, n. 2, p. 295-304, 2005.

COSTA, R. N. U. Avaliação de diferentes adjuvantes agrícolas: análise das características físico-químicas e efeito de dessecante aplicado na cultura de soja. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2024.

CULTIVASMART. Manual de proteção de plantas: controle de Mucuna pruriens e Ricinus communis. Disponível em: https://www.cultivasmart.com/Product/ByPlantPestDisease?cultureName=&plantPestDisease=21477. Acesso em: 18 ago. 2025.

CUNHA, J. P. A. R. et al. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. Planta Daninha, v. 21, n. 2, p. 325-332, ago. 2003. DOI: 10.1590/s0100-83582003000200019.

CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola: avaliação de pH, tensão superficial, viscosidade, densidade, estabilidade etc. 2009.

CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S.; REIS, E. F. Efeito da temperatura nas características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. Planta Daninha, v. 28, p. 665-672, 2010.

CUNHA, J. P. A. R. da; VICTOR, A. P.; SALES, C. G. R. Spray deposition on soybean crop using different travel speeds and application rates. Engenharia Agrícola, v. 38, n. 1, p. 82-87, 2018.

CUNHA, J. P. A. R.; SILVA, M. R. A. Deposição de pulverização de aeronave pilotada remotamente na cultura do milho. Revista Ciência Agronômica, v. 54, p. e20217862, 2023.

CUNHA, J. P. A. R. da. Use of remotely piloted aircrafts for the application of plant protection products. Engenharia Agrícola, Uberlândia, v. 41, n. 2, p. 245-254, 2021.

DE SAGOSSE. Fighter. De Sagosse, 2025. Disponível em: https://desangosse.com.br/adjuvantes/fighter. Acesso em: 25 jul. 2025.

DUARTE, N. F.; SILVA, J. B.; SOUZA, I. F. Competição de plantas daninhas com a cultura do milho no município de Ijaci, MG. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, n. 5, p. 983-992, 2002.

EDUFMA. Fundamentos em Biologia e Manejo de Plantas Daninhas. São Luís: EDUFMA, 2022. Disponível em: https://www.edufma.ufma.br/wp-content/uploads/woocommerce_uploads/2022/11/Livro-completo.pdf. Acesso em: 18 ago. 2025.

FERREIRA, M. C. et al. Fatores qualitativos da ponta de energia hidráulica ADGA 110015 para pulverização agrícola. Engenharia Agrícola, Botucatu, v. 27, n. 2, p. 471-478, 2007.

FERREIRA, U. C. de Q.; QUEIROZ, W. N. de; BELTÃO, N. E. de M. Fitotoxicidade e seletividade do herbicida trifloxysulfuron sodium na mamona cultivar BRS Nordestina. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, p. 916-921, 2009.

FERREIRA, M. da C. et al. Distribuição volumétrica e diâmetro de gotas de pontas de pulverização de energia hidráulica para controle de corda-de-viola. Planta Daninha, v. 29, p. 697-705, 2011.

FURTADO JÚNIOR, M. R.; VARGAS, B. C.; BASÍLIO, S. Altura de voo e pontas influenciam a pulverização com ARPs. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 06 fev. 2025. Disponível em: https://revistacultivar.com.br/artigos/altura-de-voo-e-pontas-influenciam-a-pulverizacao-com-arps. Acesso em: 24 ago. 2025.

GAO, J. et al. Fusion of pixel and object-based features for weed mapping using unmanned aerial vehicle imagery. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 67, p. 43-53, 2018.

GUERRA. Tecnologias integradas no manejo da mucuna. In: Revista Canavieiros, 2023. Disponível em: https://www.revistacanavieiros.com.br/tecnologias-integradas-no-manejo-da-mucuna. Acesso em: 24 jul. 2025.

HE, X. Rapid Development of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for Plant Protection and Application Technology in China. Outlooks on Pest Management, v. 29, n. 4, p. 162-167, 1 ago. 2018. DOI: 10.1564/v29_aug_04.

HOLLOWAY, P. J. et al. Efeitos de alguns adjuvantes agrícolas para misturas em tanque na eficiência de deposição de pulverizações aquosas na folhagem. Crop Protection, v. 19, n. 1, p. 27-37, 2000.

HUNTER, J. E. et al. Integration of remote-weed mapping and an autonomous spraying unmanned aerial vehicle for site-specific weed management. Pest Management Science, v. 76, n. 4, p. 1386-1392, 12 nov. 2019. DOI: 10.1002/ps.5651.

IAC. Leguminosas adubos verdes em áreas de renovação de canavial no Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. (Documentos, 124).

INOUE, M. H. et al. Efeito residual de herbicidas aplicados em pré-emergência em diferentes solos. Planta Daninha, v. 29, p. 429-435, 2011.

KIEHL, E. J. Manual de edafologia. São Paulo: CERES, 1979. 262 p.

KISSMANN, K. G. Adjuvantes para caldas de produtos agrotóxicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21., 1997, Caxambu. Palestras e mesas redondas [...]. Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 1997. p. 61-77.

KUCHARSKI, M.; SADOWSKI, J. Influence of adjuvants on behavior of phenmedipham in plant and soil. Polish Journal of Agronomy, v. 1, p. 32-36, 2009.

KUVA, M. A. et al. Interference periods of weeds in the sugarcane crop. III - Brachiaria decumbens and Panicum maximum. Planta Daninha, v. 21, n. 1, p. 37-44, 2003. DOI: 10.1590/S0100-83582003000100005.

LEMOS, R. E. Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários na cultura da uva na região do Vale do São Francisco. 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado em [informação não disponível]) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012.

LIMA, M. G. de S. et al. Caracterização da qualidade fisiológica de sementes de mamona cultivar Guarani. Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, v. 5, p. 675-677, 2007.

LIMA, P. O.; COSTA, M. da C. Eficácia de diferentes volumes de caldas, associados ou não a adjuvantes, no controle de Mucuna aterrima e Ricinus communis utilizando RPA. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2025. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/handle/11449/13121679. Acesso em: 18 ago. 2025.

LOPES, A. G. C.; MOURA, P. S. R.; CORREIA, T. P. da S.; FAGGION, F.; TAVARES, L. A. F. Quais as vantagens do uso de adjuvantes e assistência de ar na pulverização. Brasília: Universidade de Brasília; Viçosa: UFVJM/Unaí-MG, 2020. Disponível em: https://revistacultivar.com.br/noticias/quais-as-vantagens-

do-uso-de-adjuvantes-e-assistencia-de-ar-na-pulverizacao. Acesso em: 24 ago. 2025.

LORENZI, H. Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. 4. ed. Nova Odessa, SP: Plantarum, 2008. 640 p.

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

LUCINI, N. Deposição de gotas em função da altura de voo de um ARP pulverizador e da resolução de escaneamento dos papéis hidrossensíveis. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2022.

MACHADO, W. A. et al. Effect of nozzles, application rates, and adjuvants on spray deposition in wheat crops. Engenharia Agrícola, v. 39, n. 1, p. 83-88, 2019.

MAEDA, J. A.; LAGO, A. A. do. Longevidade de sementes de algumas espécies de mucuna. Bragantia, Campinas, SP, v. 45, n. 1, p. 189-194, 1986.

MAGNO, D. A. et al. Emprego da distribuição espacial de Conyza spp. na cultura da soja usando interpoladores geoestatísticos: use of the Conyza spp. space distribution in soybean crop using geostatistical interpolators. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, v. 6, n. 1, p. 2-10, 2023.

MAPPA. Drones no controle de plantas daninhas: agilidade e eficácia. Mappa, 2023. Disponível em: https://mappa.ag/blog/drones-controle-de-plantas-daninhas/. Acesso em: 22 maio 2025.

MARQUES, T. A.; RAMPAZO, É. M.; MARQUES, P. A. A. Oxidative enzymes activity in sugarcane juice as a function of the planting system. Food Science and Technology, Campinas, 2013.

MASCARENHAS, H. A. A. et al. Leguminosas adubos verdes em áreas de renovação de canavial no Estado de São Paulo. Informações Agronômicas, n. 124, dez. 2008.

MATUO, T. Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas. Jaboticabal: FUNEP, 1990. 139 p.

MELONI, L. Plantas daninhas e falhas de plantio em cana-de-açúcar: o uso da geotecnologia. Canaoeste, 2025. Disponível em: https://canaoeste.com.br/artigos/plantas-daninhas-e-falhas-de-plantio-em-cana-de-acucar-o-uso-da-geotecnologia/. Acesso em: 18 maio 2025.

MENDONÇA, C. G. Efeito de óleos minerais e vegetais nas propriedades físico-químicas das caldas de pulverização e suas interações com superfícies foliares. 2003. vii, 96 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, 2003.

MILANOWSKI, M. et al. Effect of adjuvant, concentration and water type on the droplet size characteristics in agricultural nozzles. Applied Sciences, v. 12, n. 12, p. 5821, 8 jun. 2022. DOI: 10.3390/app12125821.

OLIVEIRA, A. J. Potencialidades da utilização de drones na agricultura de precisão. Brazilian Journal of Development, v. 5, n. 2, 2020.

PERREIRA, C. Eficiência da aplicação com uso de drone e pulverizador terrestre. 2023. Dissertação (Mestrado em [informação não disponível]) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2023.

PEREIRA, J. M. Produção e persistência de leguminosas em pastagens tropicais. In: SIMPÓSIO DE FORRAGEIRAS E PASTAGENS, 2., 2001, Lavras. Anais [...]. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2001. p. 111-142.

PITELLI, R. A. Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas. Série Técnica IPEF, Piracicaba, v. 4, n. 12, p. 1-24, set. 1987.

PRATI, P.; CAMARGO, G. A. Características do caldo de cana e sua influência na estabilidade da bebida. BioEng, n. 21, p. 37-44, 2008.

PUPO, N. I. H. Manual de pastagens e forrageiras. Campinas: IAC, 1979.

QINGQING, Z. et al. Optimization and test for structural parameters of UAV spraying rotary cup atomizer. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, v. 3, n. 10, p. 78-86, out. 2017.

RAMIA, V. V. et al. Manejo químico de Ricinus communis utilizando herbicidas seletivos à cana-de-açúcar. STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v. 28, p. 38-41, 2009.

RICHARDSON, B. Quantifying spray deposition from a UAV configured for spot spray applications to individual plants. Transactions of the ASABE, St. Joseph, MI, EUA, v. 63, n. 4, p. 1049-1058, 2020.

RUPPENTHAL, J. G. Eficiência na deposição de gotas com uso de drone pulverizador em diferentes alturas de voo e taxas de aplicação na cultura do milho (Zea mays). 2024. 37 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2024.

SALVADOR, J. F. Análise da deposição em aplicações aéreas de defensivos em função de diferentes alturas de vôo e volumes de calda. 2011. 61 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, 2011.

SINDAG. Relatório de atividades – Brasil 2016. Brasília: Sindag, 2017. Disponível em: http://sindag.org.br/wp-content/uploads/2016/12/SINDAG-Relatorio-de-Atividades-Abril2016.pdf. Acesso em: [data de acesso].

SILVA, A. F. A. et al. Interferência de plantas daninhas sobre plantas cultivadas. Agropecuária Científica no Semiárido, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 1-6, 2012.

SOARES, F. U. et al. Situação socioeconômica da cultura de cana-de-açúcar. In: ALBA, J. M. F.; FLORES, C. A. (ed.). Zoneamento edáfico da cana-de-açúcar para o estado do Rio Grande do Sul. Brasília, DF: Embrapa Clima Temperado, 2013. p. 3-5.

SOUZA, A. P. et al. Elevated CO2 increases photosynthesis, biomass and productivity, and modifies gene expression in sugarcane. Plant, Cell & Environment, Malden, MA, EUA, v. 31, p. 1116-1127, 2008.

SPADONI, A. B. D. Propriedades físico-químicas e primórdios da perda de estabilidade de calda inseticida em misturas com fungicidas e adjuvantes. 2019. Universidade Estadual Paulista, Câmpus Jaboticabal, 2019.

SUGANTHI, M.; MUTHUKRISHNAN, P.; CHINNUSAMY, C. Competição de ervas daninhas na cana-de-açúcar - uma revisão. Revistas Agrícolas, v. 40, n. 3, p. 239-242, 2019.

TANG, Q. et al. Effects of application height and crosswind on the crop spraying performance of unmanned helicopters. Computers and Electronics in Agriculture, v. 181, p. 105961, fev. 2021. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105961.

THORNTON, P. K. et al. Spatial variation of crop yield response to climate change in East Africa. Global Environmental Change, Amsterdã, Holanda, v. 19, p. 54-65, 2009.

TORRES. IA auxilia na identificação de Mamona, Corda-de-viola e Mucuna-preta no cultivo da cana-de-açúcar. Sucesso no Campo, 2025. Disponível em: https://sucessonocampo.com.br/ia-auxilia-na-identificacao-de-mamona-corda-de-viola-e-mucuna-preta-no-cultivo-de-cana-de-acucar/#:~:text=Já%20a%20mucuna-preta%20pode%20afetar%20negativamente%20a,a%20colheita%2C%20reduzindo%20o%20ac%C3%BAmulo%20de%20biomassa.&text=Estudos%20aponta

m%20que%20a%20interferência%20dessa%20planta,a%20produtividade%20da%20cana-de-açúcar%20em%20até%2050%25. Acesso em: 22 maio 2025.

URVOY, C.; POLLACSEK, M.; GAUVRIT, C. Óleos de sementes como aditivos: penetração de trioleína, metiloleato e diclofop-metil em folhas de milho. Weed Research, v. 32, n. 5, p. 375-383, 1992.

VERGER, A. et al. Green area index from an unmanned aerial system over wheat and rapeseed crops. Remote Sensing of Environment, v. 152, p. 654-664, 2014.

VIEIRA, R. D. et al. Maturação de sementes de guandu (Cajanus cajan (L.) Millsp.), labe-labe (Dolichos lablab L.) e mucuna-preta (Styzolobium atterrimum Piper & Tracy). Científica, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 125-131, 1988.

WANG, L. et al. Applications and prospects of agricultural unmanned aerial vehicle obstacle avoidance technology in China. Sensors, v. 19, n. 3, p. 642, 3 fev. 2019. DOI: 10.3390/s19030642.

WANG, Z. et al. Dynamic evaporation of droplet with adjuvants under different environment conditions. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, v. 13, n. 2, p. 1-6, 2020. DOI: 10.25165/j.ijabe.20201302.5353.

WUTKE, E. B. Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. In: CURSO SOBRE ADUBAÇÃO VERDE NO INSTITUTO AGRONÔMICO, 1., 1993, Campinas. Campinas: Instituto Agronômico, 1993. p. 17-29. (Documentos, 35).

XIONGKUI, H. et al. Recent development of unmanned aerial vehicle for plant protection in East Asia. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, v. 3, n. 10, p. 18-30, maio 2013.

ZAMBON, J. J.; ARAÚJO, L. E. de. Produção de açúcar mascavo e rapadura a partir do processamento da cana-de-açúcar como alternativa de renda para a agricultura familiar. Cadernos PDE, v. II, p. 17-30, 2014.

ZERA, F. S. et al. Tolerância de mamona (Ricinus communis) a herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar. Nucleus, Calcutá, Índia, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2011.

ZHAN, Y. et al. Influence of the downwash airflow distribution characteristics of a plant protection UAV on spray deposit distribution. Biosystems Engineering, v. 216, p. 32-45, abr. 2022. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2022.01.016.