

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

MARIA ROSA ALFERES DA SILVA

DEPOSIÇÃO DE CALDA APLICADA COM AERONAVE REMOTAMENTE
PILOTADA NAS CULTURAS DE MILHO E SOJA

UBERLÂNDIA – MG

2022

MARIA ROSA ALFERES DA SILVA

**DEPOSIÇÃO DE CALDA APLICADA COM AERONAVE REMOTAMENTE
PILOTADA NAS CULTURAS DE MILHO E SOJA**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial do Programa de Pós-graduação em Agronomia para obtenção do título de “Mestre”.

Área de concentração: Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha.

UBERLÂNDIA – MG

2022

Ficha Catalográfica On-line do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S586	Silva, Maria Rosa Alferes da, 1996-
2022	Deposição de calda aplicada com aeronave remotamente pilotada nas culturas de milho e soja [recurso eletrônico] / Maria Rosa Alferes da Silva. - 2022. Orientador: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Agronomia. Modo de acesso: Internet. Disponível em: http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.169 Inclui bibliografia. Inclui ilustrações. 1. Agronomia. I. Cunha, João Paulo Arantes Rodrigues da, 1976- , (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Agronomia. III. Título.
CDU: 631	

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Secretaria da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Rodovia BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902 Telefone: (34) 2512-6715/6716 - www.ppga.iciag.ufu.br - posagro@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 005/2022, PPGAGRO				
Data:	Vinte e um de fevereiro de dois mil e vinte e dois	Hora de início:	09:00	Hora de encerramento:	11:50
Matrícula do Discente:	12012AGR015				
Nome do Discente:	Maria Rosa Alferes da Silva				
Título do Trabalho:	Deposição de calda aplicada com aeronave remotamente pilotada nas culturas de milho e soja				
Área de concentração:	Produção Vegetal				
Linha de pesquisa:	Produção Vegetal em Áreas de Cerrado				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Jardel Lopes Pereira - IFGoiano; Ernane Miranda Lemes - Monitora; Thales Cassemiro Alves - Pesquisador ; João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha - UFU orientador da candidata.

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultrada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha, Professor(a) do Magistério Superior**, em 21/02/2022, às 11:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ernane Miranda Lemes, Usuário Externo**, em 21/02/2022, às 21:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thales Cassemiro Alves, Usuário Externo**, em 22/02/2022, às 10:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jardel Lopes Pereira, Usuário Externo**, em 28/02/2022, às 07:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3324154** e o código CRC **2575F08E**.

Dedico este trabalho a Deus, pelas bênçãos que tem concedido, e aos meus pais, pelo incentivo, pelo carinho e pela compreensão e suporte.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem Ele não teria forças e saúde para completar mais esta etapa da minha vida acadêmica.

Aos meu pais, Antonio Carlos e Sirlei, por não terem medido esforços para me apoiar, por comemorarem cada vitória, me incentivarem a continuar, mesmo em meio a tantas dificuldades, e porque estiveram ao meu lado, me dando forças e acreditando nos meus sonhos.

Ao meu irmão, João Lucas, por sempre estar ao meu lado e me encorajar a continuar buscando meus sonhos.

À minha tia e irmã do coração, Sirlene, por tirar um tempinho para mim, para meus desabafos, e por me aconselhar.

Aos meus avós, João e Júlia, que sempre estiveram ao meu lado e por serem um exemplo de companheirismo e amor.

Ao meu tio, Sidnei, por me incentivar a estudar e por me ajudar.

Ao meu orientador, Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha, pelos ensinamentos, confiança, apoio e paciência.

À Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e ao Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) , por todo apoio acadêmico e incentivo à pesquisa.

Ao apoio da FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) e do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

Agradeço a todas as pessoas que fizeram parte direta ou indiretamente de mais uma etapa decisiva da minha vida acadêmica.

“Semeia um pensamento, colhe um ato. Semeia um ato, colhe um hábito. Semeia um hábito, colhe um caráter. Semeia um caráter, colhe um destino.”

Marion Laurence

“Como as plantas a amizade não deve ser muito nem pouco regada.”

Carlos Drummond de Andrade

RESUMO GERAL

SILVA, MARIA ROSA ALFERES. **Deposição de calda aplicada com aeronave remotamente pilotada nas culturas de milho e soja.** 2022. 50f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Proteção de Plantas) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.¹

Com a crescente demanda mundial por produção de alimentos, novas tecnologias vêm sendo empregadas para que resultem em um aumento de produtividade. Diante disso, o uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPAs) para aplicação de produtos fitossanitários tem crescido. No entanto, o Brasil possui poucos dados de pesquisa disponíveis em relação à eficiência e à segurança desse método. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo estudar os fatores altura e velocidade de voo que influem na qualidade da aplicação de produtos fitossanitários com o uso de RPAs, nas culturas do milho (*Zea mays* L.) e da soja (*Glycine max* L.), em condições de Cerrado. Avaliou-se a deposição de calda na cultura do milho e as perdas para o solo, promovidas pela aplicação, utilizando uma RPA, em duas alturas de voo (1,5 e 3,0 m) e velocidade fixa de 21,8 km h⁻¹, em comparação à aplicação com pulverizador costal com velocidade de trabalho foi de 5 km h⁻¹ e altura em relação à cultura de 0,5 m. E na cultura da soja avaliou-se a deposição de calda, promovida pela aplicação com RPA, em duas velocidades de voo (15,4 e 21,8 km h⁻¹) e altura fixa em relação à cultura de 2,0 m, em comparação também à aplicação com pulverizador costal, nas posições superior e média das plantas de soja. Essas avaliações foram realizadas por meio da detecção de um traçador por espectrofotometria, e a cobertura, densidade e espectro de gotas em papel hidrossensível. Verificou-se que o aumento da altura de voo promoveu redução na deposição de calda e que as velocidades testadas não influenciaram no espectro, na cobertura e na densidade de gotas.

Palavras-chave: drones; tecnologia de aplicação; pulverização.

¹ Orientador: Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha (UFU)

GENERAL ABSTRACT

SILVA, MARIA ROSA ALFERES. **Deposition of spray applied with remotely piloted aircraft in corn and soybean crops.** 2022. 50 f. Dissertation (Master Program Agronomy/ Plant Protection) – Institute of Agrarian Sciences, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, 2022.¹

With the growing world demand for food production, new technologies have been used to increase productivity. In view of this, the use of remotely piloted aircraft (RPAs) for the application of phytosanitary products has grown. However, Brazil has little research data available regarding the efficiency and safety of this method. Therefore, the present work aimed to study the height and flight speed factors that influence the quality of the application of phytosanitary products with the use of RPAs, in corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.), under Cerrado conditions. The spray deposition in the corn crop and the losses to the soil, promoted by the application, were evaluated using an RPA, at two flight heights (1.5 and 3.0 m) and a fixed speed of 21.8 km h⁻¹, compared to the application with a backpack sprayer with a working speed of 5 km h⁻¹ and height in relation to the crop of 0.5 m. And in the soybean crop, the spray deposition was evaluated, promoted by the application with RPA, at two flight speeds (15.4 and 21.8 km h⁻¹) and fixed height in relation to the crop of 2.0 m, in comparison with the application with a backpack sprayer, in the upper and middle positions of the soybean plants. These evaluations were carried out through the detection of a tracer by spectrophotometry, and the coverage, density and spectrum of drops on water sensitive paper. It was found that the increase in flight height promoted a reduction in spray deposition and that the tested velocities did not influence the spectrum, coverage and droplet density.

Keywords: drones; application technology; spraying.

¹ Advisor: Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	11
1 INTRODUÇÃO GERAL	11
2 OBJETIVO GERAL	13
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
REFERÊNCIAS.....	14
CAPÍTULO II	16
DEPOSIÇÃO DE CALDA APLICADA COM AERONAVE REMOTAMENTE	
 PILOTADA NA CULTURA DO MILHO.....	16
RESUMO.....	17
ABSTRACT	18
1 INTRODUÇÃO	19
2 MATERIAL E MÉTODOS	20
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4 CONCLUSÕES.....	29
REFERÊNCIAS.....	30
CAPÍTULO III	33
DEPOSIÇÃO DE CALDA APLICADA COM AERONAVE REMOTAMENTE	
 PILOTADA NA CULTURA DA SOJA.....	33
RESUMO.....	34
ABSTRACT	35
1 INTRODUÇÃO	36
2 MATERIAL E MÉTODOS	37
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4 CONCLUSÕES.....	46
REFERÊNCIAS.....	47

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO GERAL

A erradicação da fome e da miséria está como o primeiro dos oito objetivos do milênio estabelecido pela Organização das Nações Unidas (ONU). Portanto, a disponibilidade e a qualidade dos alimentos são de interesse de todas as nações, e isso oferece diferentes desafios em cada região do planeta (MARTIN, 2021).

Diante disso, o setor agrícola está em constante evolução e, atualmente, na era da Agricultura 4.0, desenvolveu-se uma maior automatização de ferramentas e o uso de tecnologias digitais para aumento de produtividade (SILVA NETO et al., 2021). Entre essas ferramentas e tecnologias, há o uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) para pulverização de produtos fitossanitários (MARTIN et al., 2019).

De acordo com a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), uma aeronave remotamente pilotada é aquela em que a pilotagem ocorre remotamente, sem propósito de recreação, sendo popularmente chamada como drone (Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC, 2017; CUNHA, 2021). Para a ANAC, o acrônimo ARP (as iniciais portuguesas para aeronaves remotamente pilotadas) não é usado, pois se refere ao ponto de referência do aeródromo. Outro termo que tem sido amplamente utilizado nas áreas de engenharia e de computação, porque também se refere a veículos totalmente autônomos, é veículo aéreo não tripulado (UAV) (ANAC, 2017; CUNHA, 2021).

Os drones estão se tornando cada vez mais populares, conseguindo sua regulamentação no Brasil. Por meio da portaria Nº 298, de 22 de setembro de 2021, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabeleceu regras para operação de aeronaves remotamente pilotadas destinadas à aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes. Tais regras definem que os operadores precisam de registro junto ao MAPA, de certificação de conclusão do Curso para Aplicação Aeroagrícola Remota (CAAR), e que as aeronaves remotamente pilotadas estejam em situação regular na Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Além disso, para efeito de segurança operacional, a aplicação aeroagrícola com RPA fica restrita à área-alvo da intervenção, bem como é de suma relevância o registro dos dados relativos a cada aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, 2021).

Bernardo et al. (2019) definiram que as aplicações com drones podem ser efetuadas com ou sem o auxílio de um controlador. Os autores estabeleceram que o primeiro passo é a avaliação do alvo e o estágio da cultura, depois define-se qual a ponta será utilizada com a forma do jato e a vazão adequada. Os autores reinteram que o preparo da calda é realizado da mesma forma que os pulverizadores autopropelidos ou de arrasto, respeitando a ordem de adição dos produtos no tanque de acordo com suas formulações e as referidas concentrações.

De acordo com Soela et al. (2019), a utilização do RPA não precisa de estação de navegação ou aeroporto, não necessitando de uma área específica para decolagem ou pouso. Além disso, essas aeronaves possuem curto raio de viragem devido a pairar e virar flexivelmente no ar, sendo adequados para trabalhar em terrenos acidentados e pequenas parcelas com alta eficiência. As RPAs permitem realizar aplicações em taxas variáveis ou aplicações localizadas somente na área de interesse, consequentemente há uma economia de produto (LUCHETTI, 2019). De acordo com Andrade (2018), em relação à pulverização de uma área total, a economia de herbicidas chega a até 95%.

Ainda segundo Luchetti (2019), antes de realizar a aplicação de um produto fitossanitário com uma RPA, faz-se necessária a consulta de sua bula para verificar se o produto possui recomendação para aplicação nesta modalidade. Sendo assim, como a regulamentação está recente e poucos estudos foram realizados no Brasil, os produtos ainda não possuem recomendações para aplicação com drones.

Em 2021, o Brasil possuía menos de 2% de drones em uso agrícola, entre os 79.673 aparelhos de uso geral cadastrados no Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (Sinsant), da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) (Sindicato Nacional Das Empresas De Aviação Agrícola - SINDAG, 2021).

Com o surgimento e aprimoramento da tecnologia, hoje já existe uma diversidade de aeronaves remotamente pilotadas na agricultura, uma vez que é considerada como vantagem a sua eficiência, velocidade e amplitude em voo vertical e bom desempenho em voos de baixa altitude, facilitando a movimentação em áreas pequenas ou inclinadas, possibilitando sua aplicação em áreas específicas, podendo também reduzir os custos e os riscos dos operadores com contaminação (XIONGKUI et al., 2017), além da redução da compactação do solo e amassamento da cultura. Suas desvantagens podem ser expressas no alto custo do equipamento, no fato de ter um volume reduzido da capacidade de carga no tanque de pesticidas, altura de voo e bateria para sua movimentação, riscos de deriva e estar regulamentado nas normas da aviação civil (BERNER; CHOJNACKI, 2017), bem como habilitação técnica para pilotar o equipamento e manipular os produtos fitossanitários.

O uso de RPAs proporciona uma precisão operacional maior no que diz respeito à tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. Porém ainda existem lacunas na literatura em termos de otimização do uso dessa “ferramenta”, por exemplo a incerteza quanto à qualidade das aplicações (RICHARDSON et al., 2020).

Além disso, saber a altura de aplicação, velocidade, uniformidade padrão, e características como espectro das gotículas através do emprego de RPA se faz essencial na literatura para que se desenvolvam protocolos operacionais, para a classificação de potência de cada um desses veículos, que impactarão no desempenho e na eficiência dos sistemas de pulverização. Esta altura do voo interfere também na largura de deposição, e a redução da taxa de aplicação só é possível quando há uma distribuição transversal uniforme. A cobertura homogênea do alvo requer uma distribuição uniforme, caracterizada por baixos coeficientes de variação ao longo das faixas tratadas, que, em geral, para as aplicações aéreas, devem ser inferiores a 25% (MARTIN et al., 2019).

Portanto, é de suma importância o conhecimento do efeito dos fatores que interferem na qualidade da aplicação, para que se possa estudar apulverização com as aeronaves remotamente pilotadas (CUNHA et al., 2021).

2 OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve como objetivo central analisar a eficiência das técnicas de aplicação de produtos fitossanitários com o uso de RPAs, nas culturas do milho (*Zea mays* L.) e da soja (*Glycine max* L.), nas condições de Cerrado, no Brasil.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a deposição de calda na cultura do milho (*Zea mays* L.) e as perdas para o solo, promovidas pela aplicação utilizando uma RPA, em duas alturas de voo, em comparação à aplicação com pulverizador costal.
- Avaliar a deposição de calda na cultura da soja (*Glycine max* L.), promovida pela aplicação com RPA, em duas velocidades de voo, em comparação à aplicação com pulverizador terrestre, nas posições superior e mediana das plantas de soja.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Aviação Civil-ANAC.. **Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil**. ANAC, 2017. 26 p. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94>. Acesso em: 18 de maio de 2021.
- ANDRADE, 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, p. 72-77, 2018. DOI: <https://doi.org/10.25054/22161325.1912>
- BERNARDO, R.; JUNIOR, V. M. C.; DENADAI, Marcelo Scantamburlo. USO DE DRONES PARA APLICAÇÕES DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS. In: **VIII JORNACITEC-Jornada Científica e Tecnológica**. 2019. Disponível em: <http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/VIIIJTC/VIIIJTC/paper/viewFile/1855/2267>. Acesso em: 20 de maio de 2021.
- BERNER, B.; CHOJNACKI, J. Use of drones in crop protection. 2017. Disponível em: <https://depot.ceon.pl/handle/123456789/14840>. Acesso em: 18 de maio de 2021.
- CUNHA, J. P. A. R.; ALVARENGA, C. B.; RINALDI, P. C. N.; MARQUES, M. G.; ZAMPIROLI, R. Use of remotely piloted aircrafts for the application of plant protection products. **Engenharia Agrícola**, v. 41, p. 245-254, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v41n2p245-254/2021>
- LUCHETTI, A. Utilização de drones na agricultura: impactos no setor sucroalcooleiro. **Ciências Aeronáuticas-Unisul Virtual**, 2019. Disponível em: https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/8074/1/ALEXANDRE_AD2.pdf. Acesso em: 20 de maio de 2021.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento- MAPA /Gabinete da Ministra. **Portaria MAPA Nº 298, de 22 de setembro de 2021**. Estabelece regras para operação de aeronaves remotamente pilotadas destinadas à aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes. Diário Oficial da União: Edição 182, Seção 1, n. 298, p. 14, 2021.
- MARTIN, D. E.; WOLDT, W. E.; LATHEEF, M. A. Effect of application height and ground speed on spray pattern and droplet spectra from remotely piloted aerial application systems. **Drones**, v. 3, n. 4, p. 83, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones3040083>
- MARTINS, G. **Diagnóstico sobre sistemas de dados agrícolas do Brasil para um sistema nacional de avaliação de danos e perdas por desastres na agricultura**. 2021. Brasília, FAO. DOI: <https://doi.org/10.4060/cb6527pt>
- RICHARDSON, B.; ROLANDO, C. A.; KIMBERLEY, M. O. Quantifying spray deposition from a UAV configured for spot spray applications to individual plants. **Transactions of the ASABE**, v. 63, n. 4, p. 1049-1058, 2020. DOI: <https://doi.org/10.13031/trans.13724>

SILVA NETO, J. O.; SASAKI, R. S.; ALVARENGA, C. B. de. Remotely Piloted Aircraft (RPA) for pesticides application. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 12, p. e293101220573, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i12.20573.

SINDICATO NACIONAL DAS EMPRESAS DE AVIAÇÃO AGRÍCOLA- SINDAG. **Especial drones: China, Brasil e as tendências do mercado**. 2021. Disponível em: https://sindag.org.br/noticias_sindag/especial-drones-china-brasil-e-as-tendencias-do-mercado/. Acesso em: 18 de maio de 2021.

SOELA, D. M.; VITÓRIA, E. L.; OLIVEIRA, R. F.; CRAUSE, D. H.; FREITAS, I. L. J.; LOCATELLI, T. Controle estatístico de processo em pulverização usando veículo aéreo não tripulado na cultura do café conilon. **Brazilian Journal of Production Engineering - BJPE**, p. 52-63, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/30180>. Acesso em: 18 de maio de 2021.

XIONGKUI, H.; BONDS, J.; HERBST, A.; LANGENAKENS, J. Recent development of unmanned aerial vehicle for plant protection in East Asia. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 3, p. 18-30, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20171003.3248>

CAPÍTULO II

DEPOSIÇÃO DE CALDA APLICADA COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA NA CULTURA DO MILHO

DEPOSIÇÃO DE CALDA APLICADA COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA NA CULTURA DO MILHO

RESUMO

O uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPA) tem crescido muito na pulverização agrícola em todo o mundo. No entanto, em virtude de ser algo recente, faltam dados de pesquisa que auxiliem os usuários na tomada de decisões mais assertivas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a deposição de calda na cultura do milho, promovida pela aplicação utilizando uma RPA DJI AGRAS MG-1, em duas alturas de voo, em comparação à aplicação com pulverizador costal. As pulverizações foram realizadas em um cultivo de milho em estágio fenológico v5-v6, em plantas com cerca de 0,60 m de altura. O experimento constou de 3 tratamentos e 8 repetições, sendo aplicação com RPA, voando a 1,5 e 3,0 m de altura, com velocidade fixa de 21,8 km h⁻¹ e com pulverizador costal pressurizado a CO₂, com velocidade de trabalho de 5 km h⁻¹ e altura em relação à cultura de 0,5 m. A taxa de aplicação em 10 L ha⁻¹ para a RPA e 115 L ha⁻¹ para o costal. Empregaram-se pontas de jato plano em todos os tratamentos. Foram avaliadas a deposição de traçador no dossel do milho e a perda de calda para o solo, por meio da detecção por espectrofotometria, e a cobertura, a densidade e o espectro de gotas em papel hidrossensível. Também foi avaliada a faixa de deposição total e efetiva para a RPA. Embora a densidade de gotas proporcionada pela RPA tenha variado entre 26 e 39 gotas cm⁻², a cobertura foi inferior a 1,3%. A aplicação empregando RPA, a 1,5 m de altura, proporcionou deposição de traçador na folhagem do milho semelhante à realizada com o costal. O aumento da altura de voo para 3,0 m promoveu redução na deposição. A aplicação terrestre promoveu maior perda de calda para o solo. A faixa de deposição efetiva foi de 5,7 e 7,6 m para alturas de voo de 1,5 e 3,0 m, respectivamente.

Palavras-chave: drone pulverizador; tecnologia de aplicação; *Zea mays* L.

DEPOSITION OF SPRAY APPLIED WITH REMOTELY PILOTED AIRCRAFT IN CORN CROP

ABSTRACT

The use of remotely piloted aircraft (RPA) has grown a lot in agricultural spraying around the world. However, due to being something recent, there is a lack of research data to help users make more assertive decisions. The present work aimed to evaluate the spray deposition in the corn crop, promoted by the application using a DJI AGRAS MG-1 RPA, at two flight heights, compared to the application with a backpack sprayer. The sprays were carried out in a maize crop at the v5-v6 phenological stage, in plants with about 0.60 m in height. The experiment consisted of 3 treatments and 8 repetitions, being applied with RPA, flying at 1.5 and 3.0 m in height, with a fixed speed of 21.8 km h⁻¹ and with a CO₂ pressurized backpack sprayer, with a speed of work was 5 km h⁻¹ and height in relation to the crop of 0.5 m. The application rate was 10 L ha⁻¹ for the RPA and 115 L ha⁻¹ for the costal. Flat spray nozzles were used in all treatments. The tracer deposition in the corn canopy and the loss of spray to the soil were evaluated by means of detection by spectrophotometry, and the coverage, density and spectrum of droplets on water-sensitive paper. The total and effective deposition range for the RPA was also evaluated. Although the droplet density provided by the RPA varied between 26 and 39 drops cm⁻², the coverage was less than 1.3%. The application using RPA, at 1.5 m height, provided tracer deposition on the corn foliage similar to that performed with the costal. The increase in flight height to 3.0 m promoted a reduction in deposition. The terrestrial application promoted greater loss of spray to the soil. The effective deposition range was 5.7 and 7.6 m for flight heights of 1.5 and 3.0 m, respectively.

Keywords: spray drone; application technology; *Zea mays* L.

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos principais cereais produzidos no mundo. Durante o seu cultivo, muitas vezes é necessária a aplicação de produtos fitossanitários para garantir a manutenção do potencial produtivo e qualidade do produto colhido. Em geral, essas aplicações são realizadas por equipamentos terrestres ou aeronaves tripuladas. No entanto, uma nova tecnologia vem crescendo no mundo: o emprego de aeronaves remotamente pilotadas (RPA) para pulverização (MARTINEZ-GUANTHER et al., 2020). Muito tem-se falado nesta possibilidade, mas poucos são os dados de pesquisa disponíveis, principalmente no Brasil.

A instalação de um sistema de pulverização nas RPAs permite a aplicação de produtos fitossanitários e fertilizantes em áreas de difícil acesso para pulverizadores terrestres, além de minimizar o risco de contaminação das pessoas envolvidas nas atividades (HUNTER III et al., 2020; XIONGKUI et al., 2017). No entanto, os voos são de curta duração, o tanque de calda é de baixo volume e ainda há incerteza quanto à qualidade das aplicações (RICHARDSON et al., 2020).

Uma das principais características deste tipo de aplicação é o uso de taxas reduzidas de aplicação, possibilitando o aumento da autonomia e capacidade operacional do equipamento, no entanto, requer o aprimoramento da tecnologia de aplicação empregada no campo. Lan e Chen (2018) discutem a necessidade de mais estudos em relação à proteção de cultivos com RPAs, principalmente em função das taxas de aplicação reduzidas, dentre outros desafios. A dificuldade está associada, principalmente, à obtenção de uma boa cobertura do alvo. Além disso, a redução do orifício de saída das pontas, para se obter menor taxa de aplicação, e, ao mesmo tempo, incrementar a cobertura aumenta o risco de deriva, em virtude da diminuição do tamanho das gotas geradas. De forma geral, gotas menores são biologicamente mais eficazes, porém pouco seguras ambientalmente.

Outros fatores também interferem na qualidade deste tipo de aplicação. Dentre eles, destacam-se altura e velocidade de voo. De forma geral, as aplicações têm sido realizadas entre 1,0 e 3,0 m de altura e 3,6 e 25,2 km h⁻¹ de velocidade, como pode ser observado nos trabalhos desenvolvidos por Liao et al. (2019), Wang et al. (2020 c), Ahmad et al. (2020) e Chen et al. (2020a). Hussain et al. (2019) comentam que alturas de voo elevadas promovem deriva e baixa uniformidade de distribuição, e recomendam altura entre 1,5 e 2,0 m para uma deposição uniforme. Por outro lado, Yang et al. (2018) mostram que alturas próximas a 1 m podem resultar em baixa uniformidade de distribuição, em virtude da turbulência promovida pela corrente de ar dos propulsores.

Ponto importante que também carece de mais informações refere-se à faixa de deposição (CARVALHO et al., 2020; MARTIN et al., 2019). A redução da taxa de aplicação somente é possível quando se tem uma distribuição transversal uniforme, portanto, a cobertura homogênea dos alvos pressupõe uma distribuição uniforme da calda, caracterizada por baixos coeficientes de variação ao longo das faixas tratadas, que, em geral, para aplicações aéreas, devem ser inferiores a 25% (MARTIN et al., 2019). Essa uniformidade transversal depende de vários fatores, como ponta utilizada, sobreposição dos jatos e geometria do sistema de pulverização, sendo específica para cada tipo de RPA.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a deposição de calda pulverizada em folhas do dossel do milho e as perdas para o solo, proporcionadas em duas alturas de voo utilizando RPAs, em comparação à aplicação com pulverizador costal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em uma área comercial de produção de grãos, na safra de verão 2020/2021, localizada em Araguari (Minas Gerais, Brasil), com coordenadas geográficas 18°43'28,2"S de latitude e 47°59'52,2"O de longitude, com altitude média de 973 m e topografia plana. O clima da região foi classificado como Aw, pelo Sistema de Köppen (KÖPPEN, 1948), podendo ser definido como tropical úmido com inverno seco.

O híbrido de milho utilizado foi o AG8480, semeado com o espaçamento entre linhas de 0,45 m e 2,8 plantas por metro. As aplicações foram realizadas quando o milho estava em estágio fenológico V5-V6, com as plantas medindo cerca de 0,60 m de altura. As parcelas experimentais foram constituídas de 50 m de comprimento e 10 m de largura, com parcela útil de 30 m de comprimento e 6 m de largura, sendo o restante considerado bordadura.

O experimento constou de 3 tratamentos (Tabela 1) e 8 repetições, sendo aplicação com RPA voando a 1,5 e 3,0 m de altura e aplicação terrestre com pulverizador costal pressurizado a CO₂. Foram avaliados no presente trabalho a deposição de calda nas folhas do dossel do milho, a perda de calda aplicada para o solo, o espectro de gotas (cobertura, densidade e tamanho de gotas) com auxílio de papéis hidrossensíveis. Além de avaliar a largura da faixa de deposição.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos empregados.

Tratamento	Equipamento*	Ponta	Velocidade (km h ⁻¹)	Taxa de aplicação (L ha ⁻¹)
1	RPA	Jato plano XR 11001	21,8	10
2	RPA	Jato plano XR 11001	21,8	10
3	CO ₂	Jato plano XR 110015	5,0	115

*RPA: aeronave remotamente pilotada, CO₂: pulverizador costal de pressão constante.

Foi utilizado uma RPA octacóptero AGRAS MG-1 (DJI, China), com depósito de calda de 10 L, 4 bicos de pulverização e 8 motores (130 rpm/volts) (Figura 1). A altura dos bicos de pulverização em relação à cultura foi de 1,5 e 3,0 m. A taxa de aplicação e a velocidade de deslocamento foram de 10 L ha⁻¹ e 21,8 km h⁻¹. A faixa de deposição foi de 5 m, sendo a faixa recomendada pelo fabricante de 4 a 6 m. Foram empregadas pontas de pulverização de jato plano XR 11001 (Teejet, EUA), com espectro de gotas muito finas, de acordo com o fabricante, trabalhando a aproximadamente 400 kPa de pressão. Essas são as pontas que vêm originalmente de fábrica com o equipamento.

FIGURA 1. Aeronave remotamente pilotada empregada nos ensaios, com detalhe da ponta XR 11001.



Fonte: A autora.

Empregou-se também um pulverizador costal a pressão constante (CO₂) (Figura 2), dotado de uma barra de pulverização com 4 pontas XR 110015 (Teejet, EUA), com espectro de gotas finas, espaçadas de 0,5 m. A velocidade de trabalho foi de 5 km h⁻¹, a altura em relação à cultura foi de 0,5 m, a pressão de trabalho foi de 200 kPa e a taxa de aplicação foi de 115 L ha⁻¹.

FIGURA 2. Pulverizador costal a pressão constante (CO₂) usado na aplicação do solo.



Fonte: O orientador.

Durante as aplicações, foram monitoradas as condições de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, utilizando o equipamento termo-higro-anemômetro digital 4000 (Kestrel, EUA). A temperatura variou de 28 a 29°C, a umidade relativa de 55% a 57% e a velocidade do vento de 4 a 7 km h⁻¹.

As caldas de aplicação foram compostas pelos inseticidas triflumuron (Certero, Bayer, Brasil), na dose de 0,1 L ha⁻¹, e indoxacarbe (Avatar, FMC, Brasil), na dose de 0,4 L ha⁻¹, e pelo adjuvante éster metílico de óleo de soja (Áureo, Bayer, Brasil), na concentração de 0,5% v/v.

A cobertura (%), o número de impactos por área (gotas cm⁻²), o diâmetro da mediana volumétrica (DMV, µm), a amplitude relativa (AR) e a porcentagem do volume em gotas inferiores a 100 µm (% < 100 µm) foram avaliados através de papéis hidrossensíveis com dimensões de 76 x 26 mm (Syngenta, Suíça). Estes foram colocados em posição horizontal e voltados para cima, presos a folhas do terço médio por meio de um grampo. Os papéis foram digitalizados e analisados empregando-se o sistema DropScope[®] (SprayX, Brasil), específico para essa finalidade.

Para a avaliação da deposição de calda no dossel do milho, adicionou-se à calda de aplicação um traçador composto do corante alimentício Azul Brilhante, catalogado internacionalmente pela “Food, Drug & Cosmetic” como FD&C Blue n.1, na dose fixa de 300 g ha⁻¹ para ser detectado por absorbância em espectrofotometria.

Utilizou-se um espectrofotômetro, da marca Biospectro[®] (Curitiba, Brasil) e modelo SP-22, com cubetas de vidro de 3,5 mL e caminho óptico de 10 mm, com lâmpada de tungstênio-halogênio para realizar as leituras. A detecção foi feita por absorbância em 630 nm.

Após a pulverização, foram marcadas 3 plantas ao acaso em cada repetição e, em cada planta, foi coletada uma folha no terço médio. As folhas foram, então, colocadas em sacos plásticos e acondicionadas em recipientes providos de isolamento térmico e luminoso para o transporte até o Laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Federal de Uberlândia (Uberlândia, Minas Gerais, Brasil), local onde foram realizadas as análises.

Em laboratório, adicionaram-se 100 mL de água destilada em cada saco plástico. Estes foram fechados e agitados por 5 min em agitador pendular TE-240 (Tecnal, Brasil) a 250 rpm para a extração do traçador presente nas amostras. Em seguida, o líquido foi retirado e transferido para copos plásticos, os quais foram acondicionados em local refrigerado provido de isolamento luminoso por 24 horas para posterior leitura de absorbância no espectrofotômetro. A área das folhas foi medida com um medidor de área foliar Licor LI 3100C (Lincoln, USA).

Através de curva de calibração, originada por meio de soluções-padrão do traçador, os dados de absorbância, obtidos no espectrofotômetro, foram transformados em concentração ($\mu\text{g L}^{-1}$). De posse da concentração inicial da calda e do volume de diluição das amostras, determinou-se a massa de corante retida nas folhas de milho coletadas nas parcelas. O depósito total foi dividido pela área foliar de cada amostra, para obter-se a quantidade em μg de traçador por cm^2 de área foliar.

As perdas para o solo foram determinadas empregando-se placas de petri, posicionadas sobre o solo na entre linha da cultura. Após as aplicações, as placas foram recolhidas e levadas ao laboratório para quantificação do traçador de forma semelhante às folhas. O volume de lavagem de cada placa foi de 20 mL.

Também foram efetuados, em separado, ensaios para determinação da uniformidade de distribuição volumétrica transversal, empregando as mesmas regulagens do ensaio de deposição, seguindo metodologia apresentada por Carvalho e Cunha (2019). Para isto, foram posicionados 13 coletores transversais ao sentido de deslocamento da RPA, acima do nível da cultura e a 1,5 e 3,0 m abaixo da linha de voo, espaçados em 1 m. A aeronave operou no sentido contrário ao vento (vento de proa), de forma centralizada à linha de coletores. Em cada coletor foi posicionado um papel hidrossensível, que posteriormente foi analisado para determinação do número de impactos por centímetro quadrado, empregando o sistema DropScope[®]. Para cada altura de voo, foram realizadas quatro repetições. Este ensaio foi conduzido com velocidade do vento entre 2,5 a 3,4 km h^{-1} , para minimizar seu efeito na determinação da uniformidade de deposição, temperatura entre 27,8 e 28,3°C e umidade relativa do ar entre 68 e 70%. Determinou-se a faixa de deposição total considerando uma passada da aeronave e o coeficiente

de variação da distribuição conjunta simulando-se diferentes larguras de faixa (sentido de voo *back-to-back*). A faixa de deposição efetiva foi determinada através da escolha da maior faixa de trabalho com coeficiente de variação menor ou igual a 25% (Martin *et al.*, 2019).

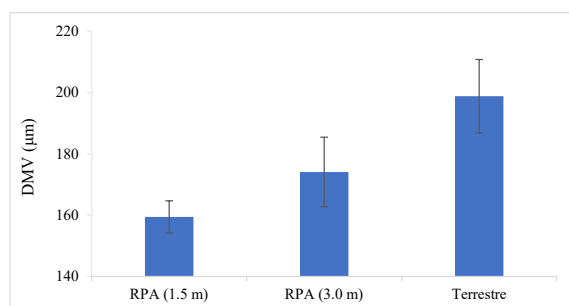
Os dados de deposição, perda para o solo e espectro de gotas foram comparados pelo método estatístico "Intervalo de Confiança para Diferenças entre as Médias" com grau de confiança de 95% (IC_{95%}), como descrito por Velini (1995) e usado por Antuniassi *et al.* (2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

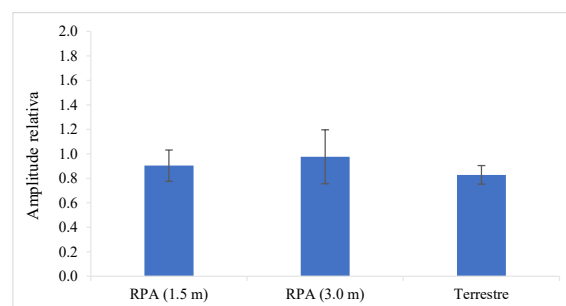
A partir das análises dos papéis hidrossensíveis, verificou-se que o DMV variou de 159 μm , na aplicação com a RPA a 1,5 m de altura, a 199 μm na aplicação terrestre (Figura 3). Não houve diferença quanto ao DMV em relação à altura de voo na RPA, mas a aplicação com pulverizador costal gerou gotas de maior tamanho. Embora o modelo de ponta usado tenha sido o mesmo (jato plano XR), empregaram-se pontas 110015 no costal e 11001 na RPA, o que explica essa diferença. A amplitude relativa média do tamanho das gotas foi de 0,9, não havendo diferença entre os tratamentos.

FIGURA 3. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV, μm) (a), amplitude relativa (b) e porcentagem do volume em gotas inferiores a 100 μm (c) obtidos em papel hidrossensível, após aplicação com RPA, voando a 1,5 e 3,0 m de altura, e pulverizador terrestre costal. As linhas verticais indicam o intervalo de confiança a 95%.

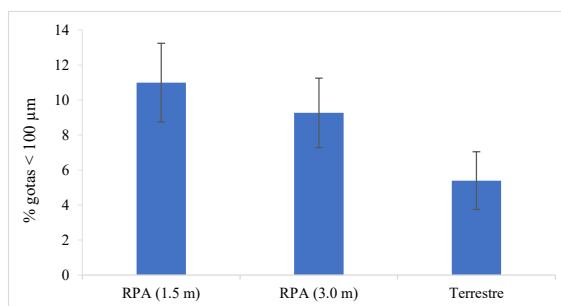
a.



b.



c.



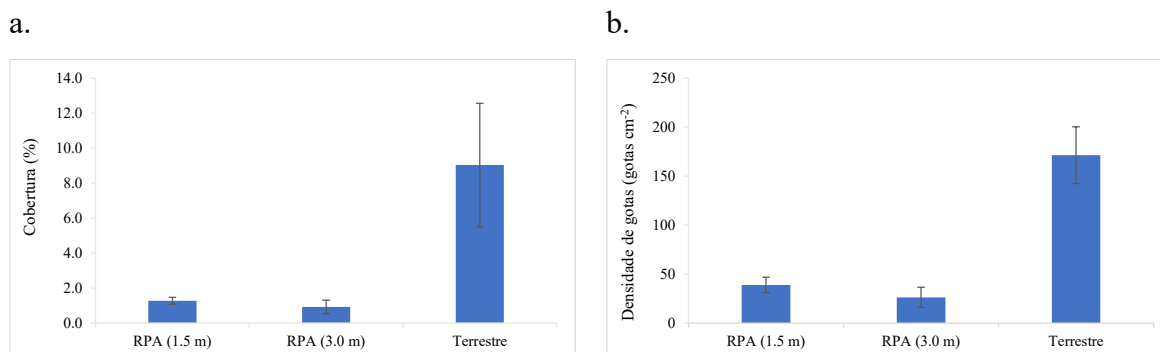
Segundo Richardson et al. (2019), a pulverização com RPAs tem sido realizada com amplo espectro de gotas, desde finas até grossas, com a seleção influenciada pelas condições meteorológicas e fluxo de ar promovido pelas hélices. No entanto, é fundamental compreender a relação existente entre a cobertura do alvo e os fatores que a interferem.

Courshee (1967) apresentou um modelo em que a cobertura do alvo é positivamente afetada pela taxa de aplicação, espalhamento da gota e taxa de recuperação, e negativamente pela área foliar a ser tratada e tamanho das gotas pulverizadas. Portanto, observa-se que deve haver um claro entendimento dessas relações, de forma a garantir cobertura do alvo adequada com segurança ambiental. A opção por se trabalhar com a ponta XR deu-se por apresentar classe de tamanho de gotas finas a muito finas, de acordo com o fabricante, para compensar a taxa de aplicação reduzida. De acordo com Zhang et al. (2020), o tamanho de gota ideal para este tipo de aplicação é de 50 a 300 µm, pois gotas menores estão muito sujeitas à deriva e gotas maiores têm dificuldade de penetrar no dossel.

Em relação ao risco potencial de deriva, demonstrado pela percentagem do volume em gotas com diâmetro inferior a 100 µm, a aplicação com a RPA proporcionou maior valor (em média 10,2%) em comparação ao costal (5,4%), estando em consonância com os resultados do DMV (Figura 3a). Outro ponto que auxilia no entendimento da diferença no espectro de gotas refere-se à pressão de trabalho. Na RPA empregou-se pressão próxima a 400 kPa, enquanto no costal, 200 kPa, o que reduz neste último caso a geração de gotas de menor tamanho.

Ainda foi possível analisar, a partir dos papéis hidrossensíveis, a cobertura e a densidade de gotas depositadas no milho (Figura 4). Neste caso, especial cuidado deve ser tomado na apreciação dos resultados. Como o papel é sensível à água, há uma tendência a sobrevalorizar tratamentos com maiores taxas de aplicação, sem se considerar a concentração da calda, o que não ocorre no estudo com o traçador, que foi conduzido usando a mesma dose nos 3 tratamentos.

FIGURA 4. Cobertura (%) (a) e densidade de gotas (gotas cm^{-2}) (b) obtidas em papel hidrossensível, após aplicação com RPA, voando a 1,5 e 3,0 m de altura, e pulverizador terrestre costal. As linhas verticais indicam o intervalo de confiança a 95%.



Não houve diferença entre as duas alturas de voo para a cobertura e a densidade de gotas, sendo estas inferiores em relação à aplicação usando o pulverizador costal (Figura 4). Este resultado está ligado à taxa de aplicação 11,5x maior no tratamento terrestre. A cobertura do alvo variou de 0,9 a 1,3% com a RPA, enquanto a aplicação costal gerou 9%. Embora não existam valores pré-definidos que indiquem uma boa cobertura (ZHU et al., 2011), valores próximos a 1% podem ser um problema principalmente em tratamentos com produtos de contato, que demandam uma maior área de contanto com o alvo, para efetivamente proporcionarem proteção.

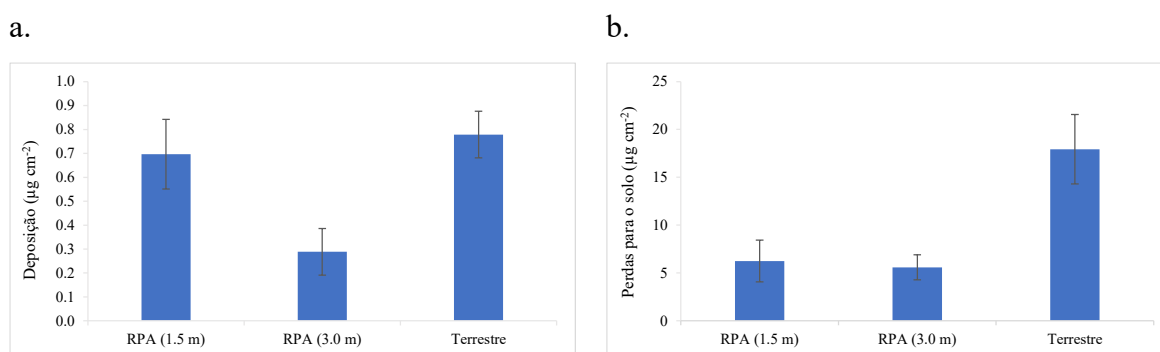
Por outro lado, nesta área de contato há maior concentração de produto, dada a menor taxa de aplicação usada com a RPA, o que ajuda a explicar o controle de pragas eficiente relatados na literatura, principalmente com produtos sistêmicos, como os vistos por Wei et al. (2020), que encontraram resultados de controle de *Spodoptera frugiperda* na cultura do milho superior com RPA em relação à aplicação com pulverizador costal, trabalhando com os inseticidas chlorantraniliprole e thiamethoxam.

A densidade de gotas variou de 26 a 39 gotas cm^{-2} com a RPA (Figura 4b). Uma análise isolada, sem considerar o DMV ou a cobertura, poderia indicar a adequação do tratamento a diferentes produtos fitossanitários. Recomendações genéricas sugerem de 20-30 gotas cm^{-2} para aplicações de inseticidas e de 50 a 70 gotas cm^{-2} para fungicidas (MEWES et al., 2013). Contudo, novamente especial atenção deve ser dada ao emprego desta tecnologia com produtos que tenham translocação muito limitada na planta e, por isso, demandem maior cobertura do alvo.

A análise de deposição empregando o traçador demonstra que a RPA voando a 1,5 m promoveu deposição semelhante ao pulverizador costal (Figura 5). No entanto, o aumento da

altura de voo resultou em menor deposição. Maiores alturas de lançamento aumentam o tempo no qual as gotas estão sujeitas ao arraste provocado pelo vento, o que provavelmente deve ter levado à ocorrência mais acentuada do fenômeno da deriva e, por conseguinte, menor chegada de produto ao alvo. Para Wang et al. (2020 b), a altura de lançamento da gota também influencia sua evaporação, em função de se deslocar de 1,5 a 4,0 m até alcançar o alvo. Contudo, outros fatores podem interferir no lançamento das gotas, como: pressão de trabalho, tipo de bico, vento lateral e rota de voo.

FIGURA 5. Deposição de traçador em folhas de milho (a) e perda de calda para o solo (b), após aplicação com RPA, voando a 1,5 e 3,0 m de altura, e pulverizador terrestre costal. As linhas verticais indicam o intervalo de confiança a 95%.



Wang et al. (2020a) mostraram que é fundamental encontrar o equilíbrio entre a altura e a velocidade de voo para se obter aplicação satisfatória. Tang et al. (2018) estudaram o efeito da altura de voo na qualidade de aplicação da RPA em citrus e concluíram que a distância de 1,2 m em relação ao alvo proporcionou melhor distribuição de calda ao longo do dossel. O aumento na altura de voo reduz o efeito do fluxo de ar que projeta as gotas na direção do alvo, alterando a deposição das gotas no dossel das plantas (AHMAD et al., 2020).

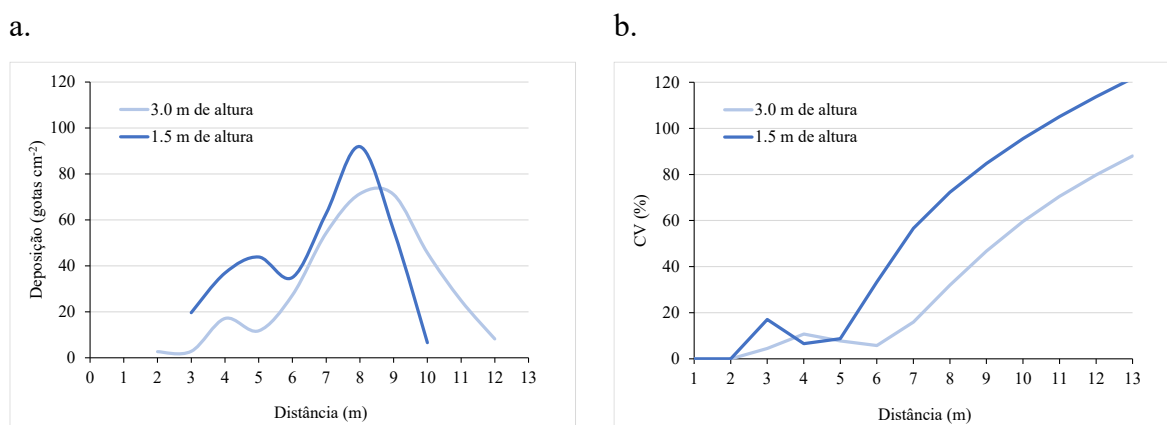
Qin et al. (2016) verificaram que uma RPA operando a 1,5 m de altura e 5 m s^{-1} também produziram uma distribuição uniforme de gotas em plantas de arroz, resultando em controle de insetos superior ao encontrado com aplicação terrestre. Os autores atribuíram os bons resultados com essa configuração ao efeito do fluxo de ar promovido pelas hélices da aeronave.

Com relação à perda de calda para o solo, os maiores valores foram obtidos com o tratamento terrestre (Figura 5b). A maior taxa de aplicação ocasionou maior chegada de traçador às placas colocadas junto ao solo, provavelmente em função das plantas ainda estarem em estágio inicial (V5-V6). Além disso, pode também ter ocorrido escorrimento da calda para o solo a partir das folhas.

Liu et al. (2020), ao estudarem a deposição e a perda de gotas em pomares de maçã, com aplicação terrestre e aérea não tripulada, verificaram que a aplicação com RPA reduziu, aproximadamente, cinco vezes as perdas de calda para o solo.

Analisando a faixa de deposição total promovida pela RPA, notou-se que na menor altura de voo a calda concentrou-se na parte mais central, enquanto na maior altura houve ligeiro aumento da largura da faixa (Figura 6). Esta faixa deve ser entendida como a faixa onde ocorrem os depósitos, independente dos níveis de deposição. A faixa de deposição efetiva é aquela dentro da faixa de deposição total, onde os níveis de depósitos satisfazem às necessidades recomendadas (CARVALHO; CUNHA, 2019).

FIGURA 6. Faixa de deposição total (a) e coeficiente de variação de deposição em função da largura da faixa de deposição (b) após aplicação com RPA, voando a 1,5 e 3,0 m de altura.



O estudo de sobreposições, a partir da faixa de deposição total, para determinação da uniformidade de distribuição volumétrica transversal resultou em uma faixa de deposição efetiva de 5,7 e 7,6 m para alturas de voo de 1,5 e 3,0 m, respectivamente, considerando um CV de 25% (Figura 6). No presente trabalho, as aplicações na cultura do milho foram realizadas com largura de trabalho de 5,0 m, o que permite, de acordo com o estudo realizado, CVs abaixo de 10%, considerados excelentes em termos de uniformidade de distribuição. Essa largura foi escolhida pois tem sido comumente empregada a campo com este modelo de RPA, por facilitar as operações de regulagem e dosagem de produtos.

De forma geral, verifica-se que é possível obter boa uniformidade de distribuição ao longo da faixa tratada, isto é, todos os pontos receberem quantidades de produto semelhantes, desde que a largura de trabalho recomendada não seja excedida (Figura 6). Martin et al. (2019) avaliaram o padrão de deposição de uma RPA DJI AGRAS MG-1, semelhante à usada neste trabalho. Os autores verificaram que a velocidade de voo não influenciou a largura da faixa de

deposição, mas a altura de voo interferiu neste parâmetro. A faixa de deposição efetiva (considerando um CV de 25%) variou de 4,6 a 7,6, dependendo da condição operacional, valores próximos aos encontrados no presente ensaio. Hussain et al. (2019) avaliaram a uniformidade de distribuição de um hexacóptero voando em diferentes alturas e também encontraram boa uniformidade de distribuição com a RPA a 1,5 e 2,0 m de altura. No entanto, os autores notaram que a 3,0 m houve uma piora da uniformidade, atribuída principalmente ao efeito negativo do vento.

4 CONCLUSÕES

A densidade de gotas proporcionada pela aplicação com RPA em papel hidrossensível posicionado no terço médio das plantas de milho variou entre 26 e 39 gotas cm^{-2} , contudo a cobertura foi inferior a 1,3%.

A aplicação empregando RPA, a 1,5 m de altura, proporcionou deposição de traçador na folhagem do milho semelhante à realizada com pulverizador terrestre costal. O aumento da altura para 3,0 m promoveu redução na deposição.

A aplicação terrestre promoveu maior perda de calda para o solo.

É possível a obtenção de boa uniformidade de distribuição transversal, desde que a faixa de deposição efetiva da RPA não seja excedida (5,7 e 7,6 m para alturas de voo de 1,5 e 3,0 m com a RPA AGRAS MG-1).

REFERÊNCIAS

- AHMAD, F.; QIU, B.; DONG, X.; MA, J.; HUANG, X.; AHMED, S.; CHANDIO, F. A. Effect of operational parameters of UAV sprayer on spray deposition pattern in target and off-target zones during outer field weed control application. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 172, p. 105350, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105350>
- ANTUNIASSI, U. R.; VELINI, E. D.; OLIVEIRA, R. B.; FIGUEIREDO, Z. N. Systems of aerial spraying for soybean rust control. **Engenharia Agrícola**, v. 31, p. 695-703, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000400008>
- CARVALHO, F. K.; CHECHETTO, R. G.; MOTA, A. A. B.; ANTUNIASSI, U. R. Challenges of aircraft and drone spray applications. **Outlooks on Pest Management**, v. 31, n. 2, p. 83-88, 2020. DOI: https://doi.org/10.1564/v31_apr_07
- CARVALHO, F. K.; CUNHA, J. P. A. R. da. Estudo das faixas de deposição nas aplicações aéreas. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (Org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2.ed. Passo Fundo: Aldeia Norte. v. 1, p. 213-222, 2019. ISBN: 9788589725088
- CHEN, P.; LAN, Y.; HUANG, X.; QI, H.; WANG, G.; WANG, J.; WANG, L.; XIAO, H. Droplet deposition and control of planthoppers of different nozzles in two-stage rice with a quadrotor unmanned aerial vehicle. **Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 303, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10020303>
- COURSHEE, R. J. Application and use of foliar fungicides. In: TORGESON, D. C. **Fungicide: an advanced treatise**. New York, Academic Press, p.239-86, 1967.
- HUNTER III, J. E.; GANNON, T. W.; RICHARDSON, R. J.; YELVERTON, F. H.; LEON, R. G. 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, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5651>
- HUSSAIN, S.; CHEEMA, M. J. M.; ARSHAD, M.; CHATTA, A. A.; LATIF, M. A.; ASHRAF, S.; SIDDIQUE, S. A. Spray uniformity testing of unmanned aerial spraying system for precise agrochemical applications. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 56, n. 4, p. 897-903, 2019. DOI:10.21162/PAKJAS/19.8594
- KÖPPEN, W. Climatologia. México, Ed. Fundo de Cultura Econômica. 1948. 478p.
- LAN, Y.; CHEN, S. Current status and trends of plant protection UAV and its spraying technology in China. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 1, n. 1, 2018. DOI: <https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20180101.0002>
- LIAO, J.; ZANG, Y.; LUO, X.; ZHOU, Z.; LAN, Y.; ZANG, Y.; GU, X.; XU, W.; HEWITT, A. W. Optimization of variables for maximizing efficacy and efficiency in aerial spray application to cotton using unmanned aerial systems. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 12, n. 2, p. 10-17, 2019. DOI: <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20191202.4288>

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

MARTIN, D. E.; WOLDT, W. E.; LATHEEF, M. A. Effect of application height and ground speed on spray pattern and droplet spectra from remotely piloted aerial application systems. **Drones**, v. 3, n. 4, p. 83, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones3040083>

MARTINEZ-GUANTER, J.; AGUERA, P.; AGUERA, J.; PÉREZ-RUIZ, M. Spray and economics assessment of a UAV-based ultra-low-volume application in olive and citrus orchards. **Precision Agriculture**, v. 21, n. 1, p. 226-243, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09665-7>

MEWES, W. L. C.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; ZANUNCIO, J. C.; ALVARENGA, C. B. Aplicação de agrotóxicos em eucalipto utilizando Pulverizador pneumático. **Revista Árvore**, v. 37, p. 347-353, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000200016>

QIN, W. C.; QIU, B. J.; XUE, X. Y.; CHEN, C.; XU, Z. F.; ZHOU, Q. Q. Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers. **Crop Protection**, v. 85, p. 79-88, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.03.018>

RICHARDSON, B.; ROLANDO, C. A.; KIMBERLEY, M. O.; STRAND, T. M. Spray application efficiency from a multi-rotor unmanned aerial vehicle configured for aerial pesticide application. **Transactions of the ASABE**, v. 62, n. 6, p. 1447-1453, 2019. DOI: <https://doi.org/10.13031/trans.13509>

RICHARDSON, B.; ROLANDO, C. A.; KIMBERLEY, M. O. Quantifying spray deposition from a UAV configured for spot spray applications to individual plants. **Transactions of the ASABE**, v. 63, n. 4, p. 1049-1058, 2020. DOI: <https://doi.org/10.13031/trans.13724>

TANG, Y.; HOU, C. J.; LUO, S. M.; LIN, J. T.; YANG, Z.; HUANG, W. F. Effects of operation height and tree shape on droplet deposition in citrus trees using an unmanned aerial vehicle. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 148, p. 1-7, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.026>

VELINI, E. D. **Estudo e desenvolvimento de métodos experimentais e amostrais adaptados à matologia**. Tese de Doutorado - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas. 1995.

WANG, G.; LI, X.; ANDALORO, J.; CHEN, P.; SONG, C.; SHAN, C.; LAN, Y. Deposition and biological efficacy of UAV-based low-volume application in rice fields. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 3, n. 2, 2020a. DOI: <http://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20200302.86>

WANG, Z.; LAN, L.; HE, X.; HERBST, A. Dynamic evaporation of droplet with adjuvants under different environment conditions. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 13, n. 2, p. 1-6, 2020b. DOI: 10.25165/j.ijabe.20201302.5353

WEI, Y.; CHEN, J.; WANG, C.; HAN, L.; SHANG, Z.; WANG, G.; WANG, M.; DENG, X.; ZHANG, Y.; WANG, X.; LI, P.; WEI, Y.; WANG, J.; XU, X.; LAN, Y.; GUO, R. Evaluation of herbicides aerially applied from a small unmanned aerial vehicle over wheat field. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 3, n. 1, p. 49-53, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20200301.61>

XIONGKUI, H.; BONDS, J.; HERBST, A.; LANGENAKENS, J. Recent development of unmanned aerial vehicle for plant protection in East Asia. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 3, p. 18-30, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20171003.3248>

YANG, F.; XUE, X.; CAI, C.; SUN, Z.; ZHOU, Q. Numerical simulation and analysis on spray drift movement of multirotor plant protection unmanned aerial vehicle. **Energies**, v. 11, n. 9, p. 2399, 2018. <https://doi.org/10.3390/en11092399>

ZHANG, X.; SONG, X. P.; LIANG, Y. J.; QIN, Z. Q.; ZHANG, B. Q.; WEI, J. J.; LI, Y. R.; WU, J. M. Effects of spray parameters of drone on the droplet deposition in sugarcane canopy. **Sugar Tech**, v. 22, n. 4, p. 583-588, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00792-z>

ZHU, H.; SALYANI, M.; FOX, R. A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 76, p.38-43, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.01.003>

CAPÍTULO III

DEPOSIÇÃO DE CALDA APLICADA COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA NA CULTURA DA SOJA

DEPOSIÇÃO DE CALDA APLICADA COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA NA CULTURA DA SOJA

RESUMO

O uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPA) tem crescido na aplicação de produtos fitossanitários, entretanto, por se tratar de uma tecnologia recente em muitos cultivos, ainda carece de dados de pesquisa. Este trabalho objetivou avaliar a deposição de calda na cultura da soja promovida pela aplicação com RPA, em duas velocidades de voo, em comparação à aplicação com pulverizador terrestre. As aplicações foram realizadas com aeronave DJI AGRAS MG-1 em uma soja em estágio fenológico R3. O experimento constou de 3 tratamentos e 8 repetições, sendo aplicação com RPA, voando a 15,4 e 21,8 km h⁻¹, com altura fixa em relação à cultura foi de 2,0 m, e aplicação com pulverizador costal (CO₂), com velocidade de trabalho de 5 km h⁻¹ e altura em relação à cultura de 0,5 m. A taxa de aplicação de 10 L ha⁻¹ para a RPA e 115 L ha⁻¹ para o terrestre. Foram avaliadas a deposição de um traçador, adicionado a calda na mesma dose em todos os tratamentos, nas posições superior e média das plantas de soja, por meio da detecção por espectrofotometria, e a cobertura, densidade e espectro de gotas em papel hidrossensível. As velocidades de voo não alteraram o espectro, a cobertura e a densidade de gotas. A cobertura proporcionada pela aplicação terrestre (1,2%) e RPA (0,2%) na posição média da soja foi considerada baixa, demonstrando a dificuldade de se atingir essa posição da planta. A deposição de traçador promovida pela RPA nas posições superior e média das plantas de soja foi semelhante à obtida com a aplicação terrestre.

Palavras-chave: defensivos agrícolas; drone; *Glycine max* L; tecnologia de aplicação.

DEPOSITION OF SPRAY APPLIED WITH REMOTELY PILOTED AIRCRAFT IN SOYBEAN CROP

ABSTRACT

The use of remotely piloted aircraft (RPA) has grown in the application of phytosanitary products, however, as it is a recent technology in many crops, research data is still lacking. This study aimed to evaluate the spray deposition in soybeans promoted by the application with RPA, at two flight speeds, compared to the application with land spray. The applications were carried out with a DJI AGRAS MG-1 aircraft on a soybean at the R3 phenological stage. The experiment consisted of 3 treatments and 8 replications, with application with RPA, flying at 15.4 and 21.8 km h⁻¹, with a fixed height in relation to the culture of 2.0 m, and application with a backpack sprayer (CO₂), with a working speed of 5 km h⁻¹ and height in relation to the crop of 0.5 m. The application rate was 10 L ha⁻¹ for the RPA and 115 L ha⁻¹ for the terrestrial. The deposition of a tracer, added to the mixture at the same dose in all treatments, in the upper and middle positions of the soybean plants, through detection by spectrophotometry, and the coverage, density and spectrum of droplets on water-sensitive paper were evaluated. Flight speeds did not change droplet spectrum, coverage and density. The coverage provided by the terrestrial application (1.2%) and RPA (0.2%) in the middle position of the soybean was considered low, demonstrating the difficulty of reaching this position of the plant. The tracer deposition promoted by RPA in the upper and middle positions of soybean plants was similar to that obtained with terrestrial application.

Keywords: pesticides; drone; *Glycine max* L; application technology.

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) é uma das principais culturas agrícolas do mundo. Com alta diversidade de uso de seus grãos, proporcionada principalmente pelos elevados teores de óleos e proteínas, tem uma grande demanda mundial. Assim, faz-se necessário um cultivo que mescle tecnologia, sustentabilidade e crescimento de produção. Dentre as novas tecnologias que se vislumbram está a aplicação de produtos fitossanitários e fertilizantes empregando aeronaves remotamente pilotadas (RPA). Essa técnica vem sendo adotada para diversos tipos de cultivos (MARTINEZ-GUANTHER et al., 2020). No entanto, há poucos dados de pesquisa disponíveis sobre este tipo de pulverização, principalmente no cultivo da soja.

A aplicação com RPA permite elevado grau de automação, redução do risco de contaminação das pessoas envolvidas nas atividades e aplicação em áreas de difícil acesso (HUNTER III et al., 2020; XIAO et al., 2020a; XIONGKUI et al., 2017). No entanto, os voos apresentam curta duração, o volume do reservatório de calda em geral é reduzido e geralmente está associado ao uso de taxas de aplicação reduzidas. Outro ponto é que ainda há incerteza quanto à eficiência das aplicações (RICHARDSON et al., 2020), seja no atingimento do alvo ou no controle do problema fitossanitário.

O emprego de baixos volumes de água nas aplicações pode dificultar a obtenção de uma boa cobertura do alvo, acarretando um aprimoramento da tecnologia de aplicação empregada a campo. Dois importantes parâmetros operacionais de pulverização com RPA para proteção de plantas são altura e velocidade de voo, que refletem na distribuição de gotas e por consequência na eficiência da operação (LAN; CHEN, 2018; LIAO et al., 2019; LV et al., 2019; MARTIN et al., 2019; TANG et al., 2018). Wang et al. (2020a) mostraram que é fundamental encontrar um equilíbrio entre a altura e a velocidade para se obter uma aplicação satisfatória. De forma geral, as aplicações têm sido realizadas entre 1,0 a 3,0 m de altura e 1,0 a 7,0 m s⁻¹ de velocidade.

De acordo com Chen et al. (2020a), outro fator que necessita atenção durante a aplicação é o tamanho de gota, que também irá influenciar a deposição de gotas no alvo desejado e a deriva. Gotas maiores possuem dificuldade de penetrar no dossel, e gotas muitas finas estão propensas à deriva. Dessa forma, Zhang et al. (2020a) recomendaram que o tamanho de gota para aplicações com RPA esteja entre 50 e 300 µm.

Nos trabalhos desenvolvidos por Yan et al. (2020) e Yongjun et al. (2017), a penetração e a deposição das gotas sobre o alvo estiveram diretamente ligadas à forma da planta, volume da copa e área foliar, o que torna importante a realização de estudos nas mais diversas culturas com potencial de uso desta tecnologia.

Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar a deposição de calda pulverizada em folhas do dossel na cultura da soja (*Glycine max* L.) promovidas por duas velocidades de voo utilizando uma RPA em comparação à aplicação com pulverizador costal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em uma área comercial de produção de grãos, na safra de verão 2020/2021, localizada em Araguari (Minas Gerais, Brasil), com coordenadas geográficas 18°47'05"S de latitude e 47°57'15"O de longitude, com altitude média de 973 m e topografia plana. O clima da região foi classificado como Aw, pelo Sistema de Köppen (KÖPPEN, 1948), podendo ser definido como tropical úmido com inverno seco.

O cultivo de soja utilizada foi a NS 7007, semeada com o espaçamento entre linhas de 0,45 m e 17 plantas por metro. As aplicações foram realizadas quando a soja estava em estágio fenológico de R3, com as plantas medindo cerca de 0,95 m de altura e fechamento completo das linhas. O experimento constou de 3 tratamentos (Tabela 1) e 8 repetições, sendo aplicação com RPA voando a 15,4 e 21,8 km h⁻¹ e aplicação com pulverizador costal pressurizado a CO₂. Foram avaliadas no presente trabalho a deposição de calda nos terços (superior e mediano) do dossel da cultura da soja e o espectro de gotas (cobertura, densidade e tamanho de gotas) gerados no momento das pulverizações com o auxílio de papéis hidrossensíveis.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos empregados.

Tratamento	Equipamento*	Ponta	Velocidade (km h ⁻¹)	Taxa de aplicação (L ha ⁻¹)
1	RPA	Jato plano XR 11001	21,8	10
2	RPA	Jato plano XR 11001	15,4	10
3	CO ₂	Jato plano XR 110015	5,0	115

*RPA: aeronave remotamente pilotada, CO₂: pulverizador costal de pressão constante.

Foi utilizada uma RPA octacóptero AGRAS MG-1 (DJI, China), com depósito de calda de 10 L, 4 bicos de pulverização e 8 motores (Figura 1). A altura dos bicos de pulverização em relação à cultura foi de 2,0 m. A taxa de aplicação foi de 10 L ha⁻¹. A faixa de deposição foi de 5 m, sendo a faixa recomendada pelo fabricante de 4 a 6 m. Foram empregadas pontas de pulverização de jato plano XR 11001 (Teejet, EUA), com espectro de gotas muito finas e finas, de acordo com o fabricante, trabalhando a aproximadamente 400 kPa de pressão, para a

velocidade de $21,8 \text{ km h}^{-1}$, e 200 kPa, para $15,4 \text{ km h}^{-1}$, respectivamente. Esse é o modelo de ponta que vem originalmente de fábrica com o equipamento.

FIGURA 1. Aeronave remotamente pilotada empregada nos ensaios, com detalhe da ponta XR 11001.



Fonte: A autora.

Empregou-se também um pulverizador costal a pressão constante (CO_2) (Figura 2), dotado de uma barra de pulverização com 4 pontas XR 110015 (Teejet, EUA), com espectro de gotas finas, espaçadas de 0,5 m. A ponta não foi a de mesma vazão da RPA em função das diferentes taxas de aplicação. A velocidade de trabalho foi de 5 km h^{-1} , a altura em relação à cultura foi de 0,5 m, a pressão de trabalho foi de 200 kPa e a taxa de aplicação foi de 115 L ha^{-1} . O uso do pulverizador costal a esta taxa de aplicação teve como objetivo simular uma pulverização hidráulica tradicional empregada em lavouras de soja e, dessa forma, verificar o efeito das diferentes técnicas de aplicação, com taxas de aplicação comumente utilizadas.

FIGURA 2. Pulverizador costal a pressão constante (CO_2) usado na aplicação do solo'.



Fonte: A autora.

As parcelas experimentais foram constituídas de 30 m de comprimento e 20 m de largura, com parcela útil de 20 m de comprimento e 10 m de largura, sendo o restante considerado bordadura. Durante as aplicações, foram monitoradas as condições de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, utilizando o equipamento termo-higro-anemômetro digital 3000 (Kestrel, EUA). A temperatura variou de 27,9 a 28,8°C, a umidade relativa de 66% a 69% e a velocidade do vento de 4,2 a 5,4 km h⁻¹.

A calda de aplicação foi composta por um traçador composto do corante alimentício Azul Brilhante, catalogado internacionalmente pela “Food, Drug & Cosmetic” como FD&C Blue n.1, na dose fixa de 500 g ha⁻¹ para ser detectado por absorbância em espectrofotometria. O uso de mesma dose em todos os tratamentos visou permitir a comparação da deposição mesmo tendo sido avaliadas taxas de aplicação diferentes.

Para a avaliação da deposição do traçador no dossel da soja, utilizou-se um espectrofotômetro, da marca Biospectro[®] (Curitiba, Brasil) e modelo SP-22, com cubetas de vidro de 3,5 mL e caminho óptico de 10 mm, com lâmpada de tungstênio-halogênio para realizar as leituras. A detecção foi feita por absorbância em 630 nm.

Após a pulverização, foram coletadas 10 folhas ao acaso em cada repetição na parte superior e média das plantas. As folhas foram, então, colocadas em sacos plásticos, separadas por posição na planta, e acondicionadas em recipientes providos de isolamento térmico e luminoso para o transporte até o Laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Federal de Uberlândia (Uberlândia, Minas Gerais, Brasil), local onde foram realizadas as análises.

Em laboratório, adicionaram-se 100 mL de água destilada em cada saco plástico. Estes foram fechados e agitados por 2 min em agitador pendular TE-240 (Tecnal, Brasil) a 250 rpm para a extração do traçador presente nas amostras. Em seguida, o líquido foi retirado e transferido para copos plásticos, os quais foram acondicionados em local refrigerado provido de isolamento luminoso por 24 horas para posterior leitura de absorbância no espectrofotômetro. A área das folhas foi medida com um medidor de área foliar Licor LI 3100C (Lincoln, USA).

Através de curva de calibração, originada por meio de soluções-padrão do traçador, os dados de absorbância, obtidos no espectrofotômetro, foram transformados em concentração (µg L⁻¹). De posse da concentração inicial da calda e do volume de diluição das amostras, determinou-se a massa de corante retida nas folhas de soja coletadas nas parcelas. O depósito total foi dividido pela área foliar de cada amostra, para obter-se a quantidade em µg de traçador por cm² de área foliar.

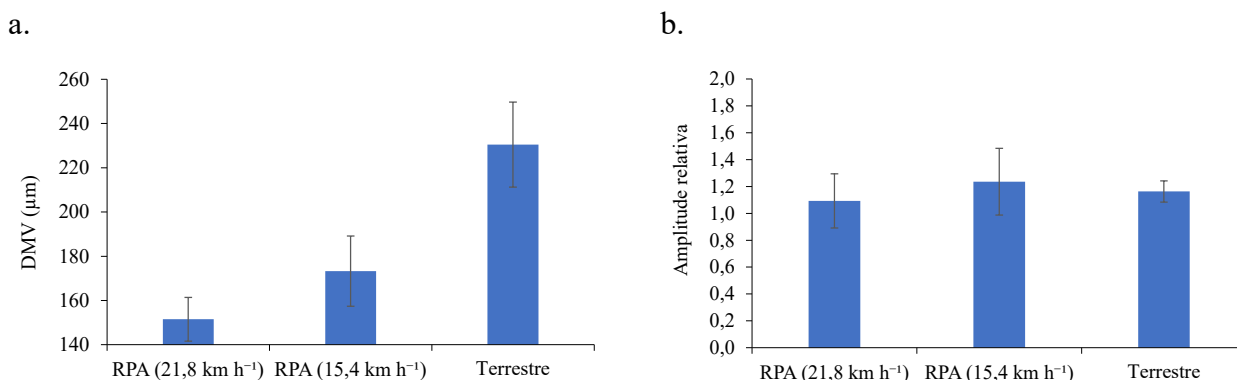
A cobertura (%), o número de impactos por área (gotas cm^{-2}), o diâmetro da mediana volumétrica (DMV, μm), a amplitude relativa (AR) e a porcentagem do volume em gotas inferiores a 100 μm ($\% < 100 \mu\text{m}$) foram avaliados através de papéis hidrossensíveis com dimensões de 76 x 26 mm (Syngenta, Suíça). Estes foram colocados em posição horizontal e voltados para cima, presos a um suporte metálico por meio de grampos, em duas alturas: uma imediatamente acima do nível da cultura e outra junto à parte média das plantas. Os papéis foram digitalizados e analisados empregando-se o sistema DropScope® (SprayX, Brasil), específico para essa finalidade.

Os dados de deposição e espectro de gotas foram comparados pelo método estatístico "Intervalo de Confiança para Diferenças entre as Médias" com grau de confiança de 95% ($\text{IC}_{95\%}$), como descrito por Velini (1995) e usado por Antuniassi et al. (2011).

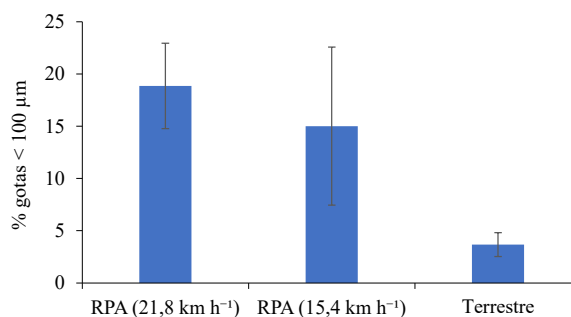
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mediante as análises dos papéis hidrossensíveis, verificou-se que o DMV na posição superior das plantas de soja variou de 152 μm , na aplicação com RPA a 21,81 km h^{-1} , a 231 μm , na aplicação terrestre (Figura 3). Em relação à velocidade de voo na RPA, o DMV não apresentou diferença. A aplicação com o pulverizador terrestre gerou gotas de maior tamanho. Embora o modelo de ponta usado tenha sido o mesmo (jato plano XR), empregaram-se pontas 110015 no terrestre e 11001 na RPA, o que explica essa diferença. A amplitude relativa média do tamanho de gotas foi de 1,1, sendo que não houve diferença entre os tratamentos.

FIGURA 3. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV, μm) (a), amplitude relativa (b) e porcentagem do volume em gotas inferiores a 100 μm (c) obtidos em papéis hidrossensíveis posicionados na posição superior da soja, após aplicação com RPA, voando a 21,8 e 15,4 km h^{-1} , e pulverizador terrestre costal. As linhas verticais indicam o intervalo de confiança a 95%.



c.

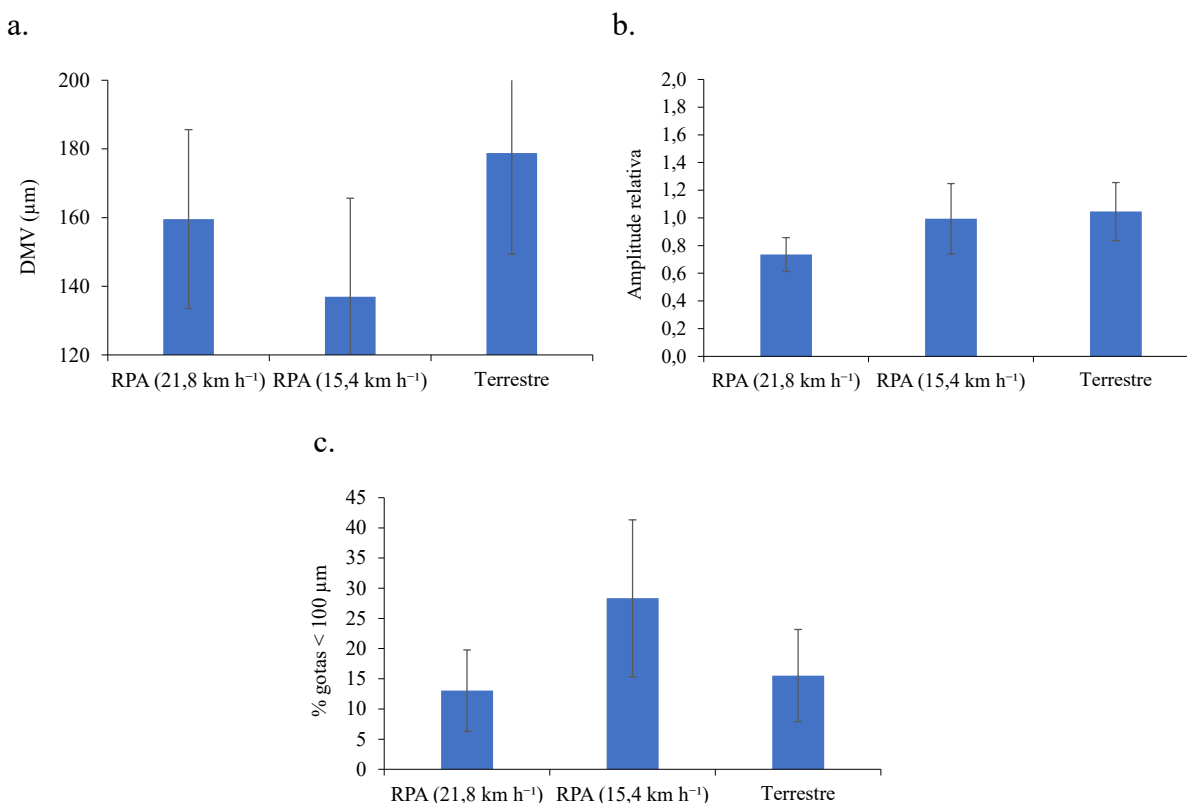


O efeito de diferentes tamanhos de gota (DMV variando de 95 a 185 µm) na deposição e deriva de uma aplicação com RPA em arroz (*Oryza sativa*) foi estudado por Chen et al. (2020b). Os autores verificaram que a deposição de gotas no alvo foi influenciada pelo espectro de gotas. Aplicações com DMV de 185 µm proporcionaram as maiores deposições, estando próximo aos valores empregados no presente trabalho.

Quanto ao risco potencial de deriva, demonstrado pela porcentagem do volume em gotas com diâmetro inferior a 100 µm, a aplicação com a RPA proporcionou maior valor (em média 17%) em comparação ao terrestre (4%), estando em consonância com os resultados do DMV (Figura 3a). Outro fator que auxilia no entendimento da diferença no espectro de gotas refere-se à velocidade e pressão de trabalho. Na RPA empregou-se pressão próxima a 400 kPa, a uma velocidade de 21,8 km h⁻¹, e 200 kPa, a uma velocidade de 15,4 km h⁻¹, enquanto no terrestre, 200 kPa e 5 km h⁻¹. Portanto, maiores velocidades atreladas a pressões mais elevadas tendem a quebrar mais as gotas, tornando-as mais sujeitas à deriva.

Avaliando-se a posição média das plantas de soja, verificou-se um DMV médio de 158 µm, não havendo diferença entre os tratamentos (Figura 4). A amplitude relativa média do tamanho de gotas foi de 0,9 e o risco potencial de deriva de 19%, também não havendo diferença entre os tratamentos para esses dois parâmetros.

FIGURA 4. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV, μm) (a), amplitude relativa (b) e porcentagem do volume em gotas inferiores a 100 μm (c) obtidos em papéis hidrossensíveis posicionados na posição média da soja, após aplicação com RPA, voando a 21,8 e 15,4 km h^{-1} , e pulverizador terrestre costal. As linhas verticais indicam o intervalo de confiança a 95%.



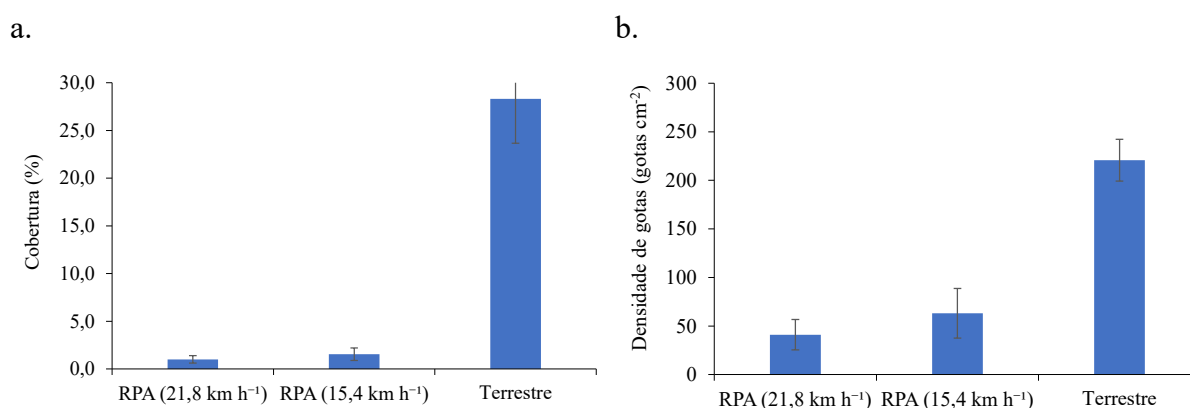
Em geral, as gotas de menor tamanho têm maior capacidade de penetração no dossel das plantas, atingindo as posições mais próximas ao solo (QIN et al., 2016). Provavelmente, isso tenha contribuído para não se ter encontrado diferença entre os distintos modos de aplicação. Por outro lado, Martin et al. (2019) afirmam que a porcentagem do volume de pulverização contido em gotas menores que 100 e 200 μm são indicadores da fração da pulverização tipicamente associada a elevado potencial de deriva.

A cobertura e a densidade de gotas obtidas nos papéis hidrossensíveis na posição superior não apresentaram diferença entre as duas velocidades de voo, contudo foram inferiores em relação à aplicação usando o pulverizador terrestre (Figura 5). A cobertura do alvo média proporcionada pela RPA foi de 1,3%, enquanto pela aplicação terrestre foi de 28,3%.

Este resultado está ligado à taxa de aplicação 11,5x maior no tratamento terrestre, visto que o papel é sensibilizado por água, e não pelo traçador utilizado. Por isso, esse resultado deve ser analisado com critério, pois não reflete a diferença de concentração de produto nas gotas. De qualquer forma, fornece um indicativo da área coberta pela calda que, de forma geral, em

maiores valores, favorece a proteção dos produtos de contato e a absorção de produtos sistêmicos pelas folhas (YU et al., 2009). De acordo com os autores, se a calda não promove uma boa cobertura, podem ser formados grandes cristais a partir do ingrediente ativo, dificultando a absorção do produto.

FIGURA 5. Cobertura (%) (a) e densidade de gotas (gotas cm^{-2}) (b) obtidas em papéis hidrossensíveis posicionados na posição superior da soja, após aplicação com RPA, voando a 21,8 e 15,4 km h^{-1} , e pulverizador terrestre costal. As linhas verticais indicam o intervalo de confiança a 95%.



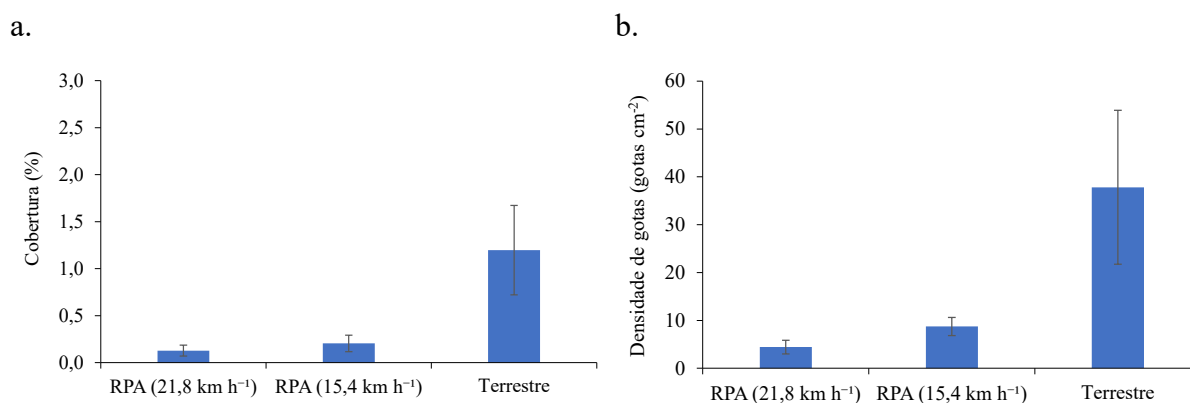
A densidade de gotas variou de, em média, 52,1 gotas cm^{-2} , com a RPA, para 220,8, com a aplicação terrestre, novamente sendo influenciada pelas diferentes taxas de aplicação. Segundo Zhang et al. (2020a), quando as gotas são depositadas sobre o alvo em quantidade adequada, o controle da praga ou doença será satisfatório, contudo essa quantidade depende do produto fitossanitário empregado, principalmente em relação à sua forma de absorção e translocação. Nota-se que, embora a densidade de gotas obtida com a RPA possa ser considerada adequada para muitos produtos, segundo a recomendação de Mewes et al. (2013), a cobertura do alvo foi baixa, mesmo que não existam valores pré-definidos de cobertura ideal por classe de produto, o que pode comprometer tratamentos com produtos de contato ou com baixa sistemicidade.

Os fungicidas sistêmicos, por exemplo, apresentam translocação limitada em plantas de soja e exigem, igualmente, boa distribuição ao longo do dossel. Assim, para o sucesso da aplicação, é necessário dominar a forma adequada de aplicação, de modo a garantir que o produto alcance o alvo de forma eficiente e uniforme (CUNHA et al., 2014).

Wang et al. (2020b) estudaram o efeito da taxa de aplicação na densidade de gotas e cobertura na cultura do arroz empregando um quadricoptero, e verificaram que o aumento da taxa eleva o valor desses parâmetros, mostrando-se uma estratégia benéfica quando se quer aumentar a área do alvo coberta pela calda aplicada. Os autores também verificaram o efeito benéfico da adição de adjuvante.

Analisando a densidade de gotas e a cobertura na posição média, não se verificou diferença entre as duas velocidades de voo, mas a aplicação terrestre proporcionou maiores valores (Figura 6). A cobertura variou de 0,2%, com a RPA, a 1,2% com a aplicação terrestre, enquanto a densidade de gotas variou de 6,6 gotas cm^{-2} com a RPA a 37,8 gotas cm^{-2} , na aplicação terrestre.

FIGURA 6. Cobertura (%) (a) e densidade de gotas (gotas cm^{-2}) (b) obtidas em papéis hidrossensíveis posicionados na posição média da soja, após aplicação com RPA, voando a 21,8 e 15,4 km h^{-1} , e pulverizador terrestre costal. As linhas verticais indicam o intervalo de confiança a 95%.



De forma geral, percebe-se a dificuldade das gotas de atingirem as partes mais internas do dossel da soja (Figura 6). O fechamento da cultura, atrelado à alta densidade foliar, impõem uma barreira à penetração das gotas, o que pode comprometer a eficácia dos tratamentos (CUNHA et al., 2014). Além disso, o tamanho das gotas também influencia nesta capacidade de penetração. Zhang et al. (2020a) afirmam que gotas acima de 300 μm apresentam dificuldade em atingir a parte mais interna do dossel das culturas.

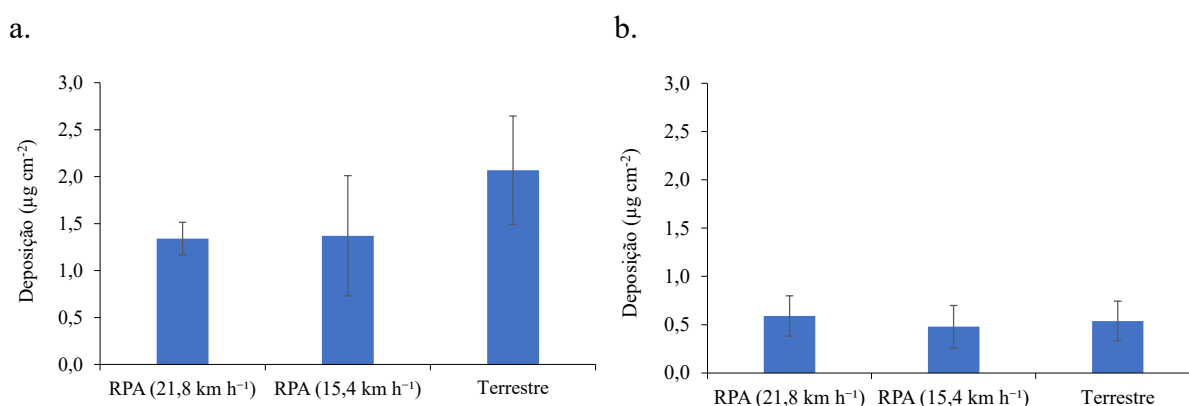
Hunter III et al. (2019) estudaram o efeito da velocidade de voo da RPA na cobertura do alvo, e verificaram que maiores valores foram obtidos com a menor velocidade testada (3,6 km h^{-1}), enquanto os menores foram obtidos com a maior velocidade (25,2 km h^{-1}). Essa

diferença em relação ao presente trabalho pode ter ocorrido em função da maior amplitude de velocidades avaliadas. Analisando os resultados destes autores, nota-se uma cobertura média semelhante entre as velocidades de 18,0 e 25,2 km h⁻¹, valores mais próximos aos aqui estudados. Teske et al. (2018) observaram que o efeito “*downwash*” direciona as gotas em direção ao solo ao operar em velocidades abaixo da ideal, contrariamente em velocidades excessivas cria uma turbulência que reduz esse efeito, podendo aumentar a perda de produto para áreas não alvo.

Zhang et al. (2020b) observaram que o fluxo de ar de uma aeronave multirotores é diferente em função da variação da velocidade (7,2 a 18,0 km h⁻¹) de voo. De acordo com simulações computacionais realizadas pelos autores, quando a velocidade de voo supera 14,4 km h⁻¹, há uma tendência de o jato pulverizado projetar-se para trás, reduzindo a deposição no interior do dossel e, assim, prejudicando a eficácia do tratamento.

A análise de deposição do traçador demonstra que não houve diferença entre os tratamentos nas posições superior e média das plantas de soja, indicando que a quantidade de produto retida na folhagem foi semelhante independentemente do modo de aplicação (Figura 7), o que demonstra a viabilidade de se empregar as RPAs nos tratamentos fitossanitários.

FIGURA 7. Deposição de traçador em folhas da posição superior (a) e média da soja (b), após aplicação com RPA, voando a 21,8 e 15,4 km h⁻¹, e pulverizador terrestre costal. As linhas verticais indicam o intervalo de confiança a 95%.



Wang et al. (2020b) verificaram que uma pulverização com RPA resultou em deposição de calda e eficácia de controle de *Pyricularia oryzae* e *Cnaphalocrocis medinalis* no arroz comparável a uma aplicação com pulverizador elétrico costal. No entanto, Xiao et al. (2020b) encontraram em campos de pimenta (*Capsicum annuum*) eficácia de controle de *Phytophthora*

capsici e pulgões ligeiramente menor empregando RPA em comparação a um pulverizador elétrico costal. Embora a densidade de gotas e a cobertura do alvo em papel kromecote tenham sido menores na aplicação aérea, a deposição do traçador foi superior, auxiliando no entendimento do resultado de controle quase semelhante encontrado. De qualquer forma, os autores destacam que a taxa de aplicação interfere na qualidade das aplicações e, por isso, há a necessidade de estudos que melhorem a cobertura e a penetração das pulverizações com RPAs.

4 CONCLUSÕES

As velocidades de voo (15,4 e 21,8 km h⁻¹) da RPA não alteraram o espectro, a cobertura e a densidade de gotas depositadas em papéis hidrossensíveis na cultura da soja.

O maior volume de água empregado na aplicação terrestre proporcionou maiores densidade de gotas e cobertura nas posições superior e média da soja em relação à aplicação com a RPA.

A cobertura proporcionada pela aplicação terrestre (1,2%) e pela RPA (0,2%) na posição média da soja foi considerada baixa.

A deposição de traçador promovida pela RPA nas posições superior e média das plantas de soja foi semelhante à obtida com a aplicação terrestre.

A velocidade de voo não interferiu na chegada do produto ao alvo.

REFERÊNCIAS

- ANTUNIASSI, U. R.; VELINI, E. D.; OLIVEIRA, R. B.; FIGUEIREDO, Z. N. Systems of aerial spraying for soybean rust control. **Engenharia Agrícola**, v. 31, p. 695-703, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000400008>
- CHEN, P.; LAN, Y.; HUANG, X.; QI, H.; WANG, G.; WANG, J.; WANG, L.; XIAO, H. Droplet deposition and control of planthoppers of different nozzles in two-stage rice with a quadrotor unmanned aerial vehicle. **Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 303, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10020303>
- CHEN, S.; LAN, Y.; ZHOU, Z.; OUYANG, F.; WANG, G.; HUANG, X.; DENG, X.; CHENG, S. Effect of droplet size parameters on droplet deposition and drift of aerial spraying by using plant protection UAV. **Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 195, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10020195>
- CUNHA, J. P. A. R.; JULIATTI, F. C.; REIS, E. F. Tecnologia de aplicação de fungicida no controle da ferrugem asiática da soja: resultados de oito anos de estudos em Minas Gerais e Goiás. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 4, 2014.
- HUNTER III, J. E.; GANNON, T. W.; RICHARDSON, R. J.; YELVERTON, F. H.; LEON, R. G. Coverage and drift potential associated with nozzle and speed selection for herbicide applications using an unmanned aerial sprayer. **Weed Technology**, v. 34, n. 2, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2019.101>
- HUNTER III, J. E.; GANNON, T. W.; RICHARDSON, R. J.; YELVERTON, F. H.; LEON, R. G. 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, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5651>
- KÖPPEN, W. Climatologia. México, Ed. Fundo de Cultura Econômica. 1948. 478p.
- LAN, Y.; CHEN, S. Current status and trends of plant protection UAV and its spraying technology in China. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 1, n. 1, 2018. DOI: <https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20180101.0002>
- LIAO, J.; ZANG, Y.; LUO, X.; ZHOU, Z.; LAN, Y.; ZANG, Y.; GU, X.; XU, W.; HEWITT, A. J. Optimization of variables for maximizing efficacy and efficiency in aerial spray application to cotton using unmanned aerial systems. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 12, n. 2, p. 10-17, 2019. DOI: <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20191202.4288>
- LV, M.; XIAO, S.; YU, T.; HE, Y. Influence of UAV flight speed on droplet deposition characteristics with the application of infrared thermal imaging. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 12, n. 3, p. 10-17, 2019. DOI: <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20191203.4868>
- MARTIN, D. E.; WOLDT, W. E.; LATHEEF, M. A. Effect of application height and ground speed on spray pattern and droplet spectra from remotely piloted aerial application systems. **Drones**, v. 3, n. 4, p. 83, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones3040083>

MARTINEZ-GUANter, J.; AGUERA, P.; AGUERA, J.; PÉREZ-RUIZ, M. Spray and economics assessment of a UAV-based ultra-low-volume application in olive and citrus orchards. **Precision Agriculture**, v. 21, n. 1, p. 226-243, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09665-7>

MEWES, W. L. C.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; ZANUNCIO, J. C.; ALVARENGA, C. B. Aplicação de agrotóxicos em eucalipto utilizando Pulverizador pneumático. **Revista Árvore**, v. 37, p. 347-353, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000200016>

QIN, W.-C.; QIU, B. J.; XUE, X. Y.; CHEN, C.; XU, Z. F.; ZHOU, Q. Q. Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers. **Crop Protection**, v. 85, p. 79-88, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.03.018>

RICHARDSON, B. Spray application efficiency from a multi-rotor unmanned aerial vehicle configured for aerial pesticide application. **Transactions of the ASABE**, v. 62, n. 6, p. 1447-1453, 2019. DOI: <https://doi.org/10.13031/trans.13509>

RICHARDSON, B.; ROLANDO, C. A.; KIMBERLEY, M. O. Quantifying spray deposition from a UAV configured for spot spray applications to individual plants. **Transactions of the ASABE**, v. 63, n. 4, p. 1049-1058, 2020. DOI: <https://doi.org/10.13031/trans.13724>

TANG, Y.; HOU, C. J.; LUO, S. M.; LIN, J. T.; YANG, Z.; HUANG, W. F. Effects of operation height and tree shape on droplet deposition in citrus trees using an unmanned aerial vehicle. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 148, p. 1-7, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.026>

TESKE, M. E.; WACHSPRESS, D. A.; THISTLE, H. W. Prediction of aerial spray release from UAVs. **Transactions of the ASABE**, v. 61, n. 3, p. 909-918, 2018. DOI: <https://doi.org/10.13031/trans.12701>

VELINI, E. D. **Estudo e desenvolvimento de métodos experimentais e amostrais adaptados à matologia**. Tese de Doutorado - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas. 1995.

WANG, J.; LAN, Y.; WEN, S.; HEWITT, A. J.; YAO, W.; CHEN, P. Meteorological and flight altitude effects on deposition, penetration, and drift in pineapple aerial spraying. **Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering**, v. 15, n. 1, p. e2382, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.1002/apj.2382>

WANG, G.; LI, X.; ANDALORO, J.; CHEN, P.; SONG, C.; SHAN, C.; LAN, Y. Deposition and biological efficacy of UAV-based low-volume application in rice fields. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 3, n. 2, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20200302.86>

XIAO, J.; CHAN, L.; PAN, F.; DENG, Y.; DING, C.; LIAO, M.; SU, X.; CAO, H. Application method affects pesticide efficiency and effectiveness in wheat fields. **Pest Management Science**, v. 76, n. 4, p. 1256-1264, 2020a. DOI: <http://doi.org/10.1002/ps.5635>

XIAO, Q.; DU, R.; YANG, L.; HAN, X.; ZHAO, S.; ZHANG, G.; FU, W.; WANG, G.; LAN, Y. Comparison of droplet deposition control efficacy on phytophthora capsica and aphids in the processing pepper field of the unmanned aerial vehicle and knapsack sprayer. **Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 215, 2020b. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10020215>

XIONGKUI, H.; BONDS, J.; HERBST, A.; LANGENAKENS, J. Recent development of unmanned aerial vehicle for plant protection in East Asia. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 3, p. 18-30, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20171003.3248>

YAN, X.; YUAN, H.; ZHOU, X.; WANG, M.; SHI, X.; CHEN, Y.; YANG, D. Control efficacy of different pesticide formulations and fan-nozzle model on wheat aphids by UAVs. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 3, n. 2, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20200302.74>

YONGJUN, Z.; SHENGHUI, Y.; CHUNJIANG, Z.; LIPING, C.; LAN, Y.; YU, T. Modelling operation parameters of UAV on spray effects at different growth stages of corns. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 3, p. 57-66, 2017. DOI: <https://10.3965/j.ijabe.20171003.2578>

YU, Y. A. N. G.; ZHU, H.; FRANTZ, J. M.; REDING, M. E.; CHAN, K. C.; OZKAN, H. E. Evaporation and coverage area of pesticide droplets on hairy and waxy leaves. **Biosystems Engineering**, v. 104, n. 3, p. 324-334, 2009. DOI: <https://10.1016/j.biosystemseng.2009.08.006>

ZHANG, H.; QI, L.; WU, Y.; MUSIU, E. M.; CHENG, Z.; WANG, P. Numerical simulation of airflow field from a six-rotor plant protection drone using lattice Boltzmann method. **Biosystems Engineering**, v. 197, p. 336-351, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.07.018>

ZHANG, X.; SONG, X. P.; LIANG, Y. J.; QIN, Z. Q.; ZHANG, B. Q.; WEI, J. J.; LI, Y. R.; WU, J. M. Effects of spray parameters of drone on the droplet deposition in sugarcane canopy. **Sugar Tech**, v. 22, n. 4, p. 583-588, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00792-z>