

HUGO MARCUS FIALHO E MORAES

**APLICAÇÃO DE PESTICIDAS COM VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS
NAS CULTURAS DE CAFÉ, CITROS E FEIJÃO**

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

Orientador: Marconi Ribeiro Furtado Júnior

Coorientador: Edney Leandro da Vitória

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2022**

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

T

M827a
2022
Moraes, Hugo Marcus Fialho e, 1989-
Aplicação de pesticidas com veículos aéreos não tripulados
nas culturas de café, citros e feijão / Hugo Marcus Fialho e
Moraes. – Viçosa, MG, 2022.

1 tese eletrônica (86 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Marconi Ribeiro Furtado Junior.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Agrícola, 2022.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.783>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Pesticidas - Aplicação. 2. Drone. 3. Pulverização e
povilhação na agricultura. 4. Deriva. I. Furtado Junior, Marconi
Ribeiro, 1987-. II. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. III. Título.

CDD 22. ed. 632.95

HUGO MARCUS FIALHO E MORAES

**APLICAÇÃO DE PESTICIDAS COM VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS
NAS CULTURAS DE CAFÉ, CITROS E FEIJÃO**

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

APROVADA: 18 de agosto de 2022

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 HUGO MARCUS FIALHO E MORAES
Data: 24/12/2022 07:43:52-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Hugo Marcus Fialho e Moraes
Autor

Documento assinado digitalmente
 MARCONI RIBEIRO FURTADO JUNIOR
Data: 22/12/2022 15:43:25-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Marconi Ribeiro Furtado Júnior
Orientador

*Aos meus pais Níwton e M^a Carmem,
Aos meus irmãos Diego, Hatanne e Robledo, e
À minha noiva Natália.*

AGRADECIMENTOS

A Deus que sempre me dá força, saúde e paz.

Aos meus pais Maria Carmem e Níwton, pelo amor e por acreditarem em mim em todos os momentos, me aconselhando e me apoiando.

Aos meus irmãos Diego, Hatanne e Robledo pela amizade, conselhos e ensinamentos.

À minha noiva Natália, pelo amor e companheirismo. Aos seus pais, Luiz Carlos e Nelma, pelo carinho e por fazerem parte da minha família.

Ao meu orientador, Professor Dr. Marconi Ribeiro Furtado Júnior, pela orientação, confiança, preciosos ensinamentos e amizade.

Ao meu coorientador, Professor Dr. Edney Leandro da Vitoria, pela importante colaboração no experimento e pelos ensinamentos.

Aos amigos do Laboratório de Mecanização Agrícola (LMA) pela valiosa colaboração no projeto e na coleta dos dados, troca de conhecimento e pelo crescimento pessoal e profissional.

Aos colegas do Grupo de Estudos em Tecnologia Agrícola e Mecanização (GETAM), pelas experiências compartilhadas e pelas interessantes discussões técnicas.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola e à Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de realizar este trabalho e aprimorar meus conhecimentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento e concessão da bolsa de estudos.

E a todos que torceram por mim.

BIOGRAFIA

HUGO MARCUS FIALHO E MORAES, filho de Níwton Castro Moraes e de Maria Carmem Fialho de Moraes, nasceu em 22 de fevereiro de 1989, no município de Almenara, Minas Gerais.

Em 2007, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, onde se graduou Engenheiro Agrônomo em setembro de 2013. Após exercer profissão por três anos e meio, iniciou em março de 2017 o curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, em nível de Mestrado, pela Universidade Federal de Viçosa (DFT/UFV), concentrando seus estudos na área de Manejo Integrado de Plantas Daninhas e Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas, submetendo-se à defesa de dissertação em fevereiro de 2019.

Em março de 2019, iniciou seu doutorado no programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, na área de concentração de Mecanização Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa e em Agosto de 2022, submeteu-se ao exame de defesa da tese, para a obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

RESUMO

MORAES, Hugo Marcus Fialho e, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2022. **Aplicação de pesticidas com veículos aéreos não tripulados nas culturas de café, citros e feijão.** Orientador: Marconi Ribeiro Furtado Júnior. Coorientador: Edney Leandro da Vitória.

Veículos aéreos não tripulados (VANTs) referem-se a aeronaves que voam sem um operador humano a bordo e foram primeiramente desenvolvidos para aplicações militares. Atualmente, os VANTs são utilizados na fotogrametria e sensoriamento remoto, mapeamento e processamento de imagens, inventários florestais e monitoramento de incêndios, pesquisa meteorológica, manejo e utilização da água, rastreamento de animais e na agricultura de precisão. Especificamente na agricultura, têm sido amplamente utilizados para várias finalidades como na semeadura, identificação de pragas e plantas daninhas, manejo e monitoramento de culturas e na pulverização de pesticidas e fertilizantes foliares. VANTs têm sido utilizados para substituir aplicações realizadas manualmente ou até mesmo em grandes áreas, principalmente em situações pontuais ou em casos onde as pulverizações requerem máxima segurança. No entanto, muitos parâmetros ainda não estão bem definidos e não existe uma referência técnica exata que os operadores possam consultar. Além disso, especialmente no Brasil, ainda são raras as pesquisas com a pulverização de VANTs. Nesse sentido, o objetivo geral da tese, estruturada na forma de artigos, consistiu em realizar: i) Uma análise bibliométrica e cientométrica da utilização de VANTs na agricultura, pecuária e silvicultura; ii) Analisar a capacidade operacional e efeito da altura de voo e de pontas na pulverização em citros usando VANT; iii) Avaliar a pulverização com VANT na cultura do café; e iv) Verificar a deposição e deriva da pulverização com VANT na cultura do feijão. No primeiro artigo foi realizada uma pesquisa na plataforma Scopus utilizando os termos *UAV*, *UAS*, drone e *RPA*, juntamente com “*agricult**” ou “*forest** ou *livestock**”. Foram selecionados apenas artigos publicados em inglês, de janeiro de 2000 a dezembro de 2020. Para a geração de mapas temáticos, o software VOSviewer foi utilizado possibilitando a análise bibliométrica e cientométrica da utilização dos VANTs no setores estudados. No segundo artigo foram pesquisados os efeitos de quatro pontas de pulverização (Leque com pré-orifício, Duplo leque com pré-orifício, Leque com indução de ar e Duplo leque com indução de ar) e quatro alturas de voo (1,0; 1,7; 2,3 e 3,0 m) na densidade de gotas e cobertura gerada pela pulverização em citros. Foi verificado também a deposição e a penetração da pulverização nos três terços e em profundidades no dossel da planta. Além disso, comparou-se a capacidade operacional do

VANT com os pulverizadores hidropneumático tratorizado e o pneumático costal. No terceiro artigo foi estudada a deposição e penetração das gotas nos diferentes terços da planta de café utilizando-se um VANT e três volumes de calda (5; 10 e 15 L ha⁻¹). No quarto artigo foi mensurada a quantidade de deriva gerada sob quatro velocidades de voo (5; 10; 15 e 20 km h⁻¹) e três volumes de calda (10; 15 e 20 L ha⁻¹) bem como a deposição da aplicação com VANT na cultura do feijão. Utilizando a análise bibliométrica e cientométrica foi possível verificar que a evolução da aplicabilidade dos VANTs ao longo dos anos está diretamente relacionada ao avanço da tecnologia inserida nestes equipamentos. Além disso, os estudos são mais comuns na agricultura e na silvicultura do que na pecuária, indicando que este último setor ainda tende a evoluir bastante nos próximos anos. Na pulverização com VANT em citros, foi possível observar maior capacidade operacional do VANT pulverizador em relação ao hidropneumático tratorizado e ao pneumático costal. Maior dificuldade de penetração da pulverização com VANT está relacionada a posição mais interna do dossel da planta de citros e não em relação aos terços da planta. As pontas de pulverização com indução de ar apresentaram melhores resultados de cobertura e densidade de gotas comparadas às pontas sem essa tecnologia. No artigo sobre a pulverização com VANT na cultura do café o volume de calda não influenciou significativamente a porcentagem de cobertura, a amplitude relativa e nem a densidade de gotas depositadas no alvo, no entanto, melhor penetração das gotas foi observada quando foi utilizado maior volume de calda. O estudo da pulverização com VANT na cultura do feijão indicou efeito significativo da velocidade de voo e do volume de calda na cobertura do alvo, mas sem influência para a densidade de gotas e deposição da aplicação. Maiores velocidades de voo resultaram em maior deriva.

Palavras-chave: Drone. Deposição. Aplicação aérea. Deriva.

ABSTRACT

MORAES, Hugo Marcus Fialho e, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2022. **Pesticide application with unmanned aerial vehicles on coffee, citrus and common bean crops.** Adviser: Marconi Ribeiro Furtado Júnior. Co-adviser: Edney Leandro da Vitória.

Unmanned aerial vehicles (UAVs) refer to aircraft that fly without a human operator on board and were primarily developed for military applications. In developed countries, UAVs are already used in photogrammetry and remote sensing, mapping and image processing, forest inventories and fire monitoring, meteorological research, water management and use, animal tracking and precision agriculture. Specifically in agriculture, they have been widely used for various purposes such as seeding, pest and weed identification, crop management and monitoring, and for pesticides and fertilizers spraying. UAVs have been used to replace applications carried out manually or even in large areas, especially in specific situations or in cases where spraying requires maximum safety. However, many parameters are still not well defined and there is no exact technical reference that operators can refer to. Furthermore, especially in Brazil, research on the spraying of UAVs is still rare. In this sense, the general objective of the thesis, structured in the form of chapters, consisted of carrying out: i) A bibliometric and scientometric analysis of the use of UAVs in agriculture, livestock and forestry; ii) To analyze the operational field capacity, spray agitation and effect of flight height and nozzles in citrus spraying using UAV; iii) Evaluate UAV spraying on coffee crops; and iv) Check the deposition and drift of UAV spraying on the common bean crop. In the first chapter, a search was carried out on the Scopus platform using the terms UAV, UAS, drone and RPA, together with “agricult*” or “forest* or livestock”. Only articles published in English, from January 2000 to December 2020, were selected. For the generation of thematic maps, the VOSviewer software was used, enabling the bibliometric and scientometric analysis of the use of UAVs in the studied sectors. In the second chapter, the effects of four spray nozzles (Flat fan with pre-orifice, Double flat fan with pre-orifice, Venturi flat (Air-induction) and Venturi double flat (Air-induction) and four flight Heights (1.0; 1.7; 2.3 and 3.0 m) on droplet density and coverage generated by spraying on citrus were investigated. Deposition and spray penetration were also compared in the three layers and depths in the plant canopy. In addition, the operational field capacity of the UAV was compared with the airblast sprayer and the pneumatic backpack sprayer. In the third chapter, the deposition and penetration of droplets in the different layers of the coffee plant was studied using a UAV and three spray

volumes (5; 10 and 15 L ha⁻¹). In the fourth chapter, the amount of drift generated under four flight speeds (5; 10; 15 and 20 km h⁻¹) and three spray volumes (10; 15 and 20 L ha⁻¹) was measured, as well as the deposition of the application. with UAV in the common bean crop. Using bibliometric and scientometric analysis, it was possible to verify that the evolution of the applicability of UAVs over the years is directly related to the advance of the technology inserted in these equipments. In addition, studies are more common in agriculture and forestry than in livestock, indicating that the latter sector still tends to evolve significantly in the coming years. In the spraying with UAV on citrus, the UAV sprayer presented higher operational capacity in relation to the airblast and the pneumatic backpack sprayers. Greater penetration difficulty of UAV spraying is related to the innermost position of the citrus plant canopy and not in relation to the layers of the plant. Air induction spray nozzles showed better coverage and droplet density results compared to nozzles without this technology. In the chapter on UAV spraying on coffee crops, the spray volume did not significantly influence the percentage of coverage, the relative amplitude or the density of droplets deposited on the target, however, better penetration of the droplets was observed when a higher spray volume was used. The study of UAV spraying on the common bean crop indicated a significant effect of flight speed and spray volume on target coverage, but without influence on droplet density and application deposition. Higher flight speeds resulted in greater drift.

Keywords: Drone. Deposition. Aerial Application. Drift.

SUMÁRIO

Introdução Geral	12
Referências	14
Artigo I - Uma análise bibliométrica e cientométrica da utilização de VANTs na agricultura, pecuária e silvicultura	18
Resumo	18
1 Introdução	18
2 Material e Métodos	20
3 Resultados	22
3.1 Aquisição de dados	22
3.2 Análise da co-ocorrência das palavras-chave	26
3.3 Análise das citações entre os autores	28
3.4 Análise das citações entre países	29
3.5 Análise das citações entre periódicos	30
4 Discussão	31
5 Considerações Finais	33
Referências	33
Artigo II - Capacidade operacional e efeito da altura de voo e de pontas na pulverização em citros usando VANT	37
Resumo	37
1 Introdução	37
2 Material e Métodos	39
2.1 Área experimental	39
2.2 Materiais e VANT pulverizador	40
2.3 Desenho experimental	41
2.4 Capacidade operacional	43
2.5 Processamento dos dados e análise estatística	44
3 Resultados	44
3.1 Papéis hidrossensíveis	44
3.2 Deposição e penetração da pulverização	46
3.3 Capacidade operacional	48
4 Discussão	49
4.1 Papéis hidrossensíveis	49
4.2 Deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$) e penetração da pulverização	50
4.3 Capacidade operacional	51
5 Conclusão	53
Referências	53

Artigo III - Avaliação da pulverização com VANT na cultura do café	57
Resumo	57
1 Introdução.....	57
2 Material e Métodos.....	59
2.1 Local do Experimento	59
2.2 VANT pulverizador.....	59
2.3 Coleta de gotas	60
2.4 Desenho experimental	60
2.5 Análise Estatística	61
3 Resultados.....	61
3.1 Cobertura.....	61
3.2 Densidade de gotas.....	62
3.3 Amplitude Relativa (Span) e $Dv_{0.1}$	64
4 Discussão	65
5 Conclusão	67
Referências	67
Artigo IV - Deposição e deriva da pulverização com VANT na cultura do feijão	70
Resumo	70
1 Introdução.....	70
2 Material e Métodos.....	72
2.1 Área experimental	72
2.2 Materiais.....	72
2.3 Desenho experimental	73
2.4 Processamento dos dados e análise estatística	74
3 Resultados.....	74
3.1 Cobertura.....	75
3.2 Amplitude relativa (Span)	76
3.3 Densidade e deposição	77
3.4 Deriva potencial na pulverização com VANT	78
4 Discussão	79
5 Conclusão	82
Referências	82
Considerações Finais	86

Introdução Geral

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) são equipamentos movidos a energia, que voam sem um piloto humano a bordo e podem ser operados por um controle remoto ou voar de forma autônoma com o auxílio de um piloto automático (UKAEGBU et al., 2021). No Brasil, esses equipamentos devem seguir algumas normas estabelecidas pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). No país, também são conhecidos pelos termos: Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) e Drone.

Trabalhos recentes mostram que os VANTs podem ser aplicados em pesquisa meteorológica, exploração mineral, vigilância costeira e avaliação de recursos marinhos, avaliação de gelo e neve, umidade do solo, rastreamento de animais, monitoramento de incêndios e em inventários florestais, mapeamento de áreas agrícolas e sensoriamento remoto (GAMBELLA et al., 2016; MUCHIRI; KIMATHI, 2016; RAPARELLI; BAJOCOCCO, 2019). Especificamente na agricultura, têm sido amplamente utilizados para várias finalidades como semeadura, identificação de pragas e plantas daninhas, manejo e monitoramento de culturas e na pulverização de pesticidas (AHMED et al., 2021; HAFEEZ et al., 2022).

Melhorar a eficiência da aplicação e reduzir o uso de pesticidas, promovendo o desenvolvimento sustentável da agricultura é um desafio mundial neste século (WANG et al., 2022a). Para aumentar a produção de alimentos e alimentar uma população de cerca de nove bilhões em 2050, é imprescindível a modernização da agricultura por meio da aplicação de soluções tecnológicas (UKAEGBU et al., 2021). Nesse sentido, os VANTs são uma das máquinas mais benéficas para a agricultura moderna (FAN; ZHANG; CHEN, 2021).

Embora as máquinas agrícolas terrestres desempenhem um papel fundamental na pulverização das lavouras, áreas agrícolas íngremes e montanhosas ou culturas de alto porte, restringem sua utilização no controle de doenças, pragas e plantas daninhas (GUO et al., 2020; LAN; CHEN, 2018; WANG et al., 2022a). As aeronaves tripuladas mesmo que equipadas com tecnologia avançada de pulverização, ainda apresentam limitações de uso, como o elevado risco de deriva (LIU et al., 2021a).

Por outro lado, os VANTs pulverizadores podem apresentar alta eficiência e têm características desejáveis como manobrabilidade confiável, são fáceis de montar, não necessitam de áreas especiais para pouso e decolagem, podem ser prontamente utilizados para aplicação de produtos no controle de pragas e doenças e não entram em contato com as lavouras, evitando possíveis perdas econômicas causadas por amassamento mecânico (CHEN

et al., 2021; LAN; CHEN, 2018; LIU et al., 2021b; TANG et al., 2017, 2021). Além disso, a operação remota de VANTs diminui o risco de exposição direta do aplicador aos pesticidas, além de reduzir a intensidade e o tempo de trabalho comparativamente aos pulverizadores costais (BAE; KOO, 2013; XU et al., 2021). No entanto, algumas desvantagens da utilização dos VANTs pulverizadores estão relacionadas à quantidade de líquido que o equipamento consegue transportar e o tempo de voo limitado, interferindo diretamente em sua capacidade operacional (GHAZALI; AZMIN; RAHIMAN, 2022). No Brasil, a portaria do MAPA n° 298, de 22 de setembro de 2021, estabelece as regras para operação dos VANTs destinados à aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes.

Nos estudos sobre a avaliação da qualidade de pulverização de VANTs agrícolas, os parâmetros de deposição de gotas são os indicadores mais significativos para avaliar o desempenho desses equipamentos (CHEN et al., 2020b; WANG et al., 2021). O principal objetivo de um VANT pulverizador é aplicar uma maior área de cultivo, com uma cobertura de pulverização adequada, boa deposição de gotas e o mínimo de deriva (AHMED et al., 2021).

Trabalhos vêm sendo realizados para investigar o impacto de diferentes parâmetros operacionais na qualidade da pulverização com VANTs. A velocidade de voo (CHEN et al., 2017; MARTIN; WOLDT; LATHEEF, 2019), o volume de calda (CHEN et al., 2018; WANG et al., 2019), a altura de voo (BAE; KOO, 2013; TANG et al., 2021, 2018) e as pontas de pulverizações mais adequadas ainda são importantes fatores de estudo nesse tipo de pulverização (CHEN et al., 2020a, 2020b; GONG; FAN; PENG, 2019). A quantidade de deriva gerada nas aplicações com VANTs também tem sido pesquisadas (GUO et al., 2020; LIU et al., 2021a; TANG et al., 2017; YU et al., 2021). Esses estudos vêm sendo desenvolvidos tanto em cultivos de baixo porte (WANG et al., 2022b; YAN et al., 2021; ZHAO et al., 2022) como em culturas arbóreas (MARTINEZ-GUANTER et al., 2020; PAN et al., 2017; SARRI et al., 2019). No entanto, muitos desses parâmetros ainda não estão bem definidos e não existe uma referência técnica exata que os operadores possam consultar (CHEN et al., 2021; WANG et al., 2022a). Além disso, especialmente no Brasil, ainda são raras as pesquisas com a pulverização de VANTs.

Diante da necessidade de melhor entendimento da utilização dos VANTs no campo das ciências agrárias, especialmente na pulverização com VANTs em cultivos agrícolas, foram realizados quatro estudos: i) Uma análise bibliométrica e cientométrica da utilização de VANTs na agricultura, pecuária e silvicultura; ii) Análise da capacidade operacional e efeito

da altura de voo e de pontas na pulverização em citros usando VANT; iii) Avaliação da pulverização com VANT na cultura do café; e iv) Deposição e deriva da pulverização com VANT na cultura do feijão.

Referências

AHMED, S. et al. A state-of-the-art analysis of obstacle avoidance methods from the perspective of an agricultural sprayer UAV's operation scenario. **Agronomy**, v. 11, n. 6, 2021.

BAE, Y.; KOO, Y. M. Flight attitudes and spray patterns of a roll-balanced agricultural unmanned helicopter. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 29, n. 5, p. 675–682, 2013.

CHEN, S. DE et al. Effect of wind field below unmanned helicopter on droplet deposition distribution of aerial spraying. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 3, p. 67–77, 2017.

CHEN, P. et al. Droplet deposition and control of planthoppers of different nozzles in two-stage rice with a quadrotor unmanned aerial vehicle. **Agronomy**, v. 10, n. 2, 2020a.

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, n. February, 2021.

CHEN, S. et al. Effect of droplet size parameters on droplet deposition and drift of aerial spraying by using plant protection UAV. **Agronomy**, v. 10, n. 2, 2020b.

CHEN, Y. et al. Weed control effect of unmanned aerial vehicle (UAV) application in wheat field. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 1, n. 1, p. 25–31, 2018.

FAN, S.; ZHANG, Y.; CHEN, L. A Comparative Study on Application of Unmanned Aerial Vehicle Systems in Agriculture. 2021.

GAMBELLA, F. et al. Forest and UAV: A bibliometric review. **Contemporary Engineering Sciences**, v. 9, n. 28, p. 1359–1370, 2016.

GHAZALI, M. H. M.; AZMIN, A.; RAHIMAN, W. Drone Implementation in Precision Agriculture - A Survey. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, v. 12, n. 4, p. 67–77, 2022.

GONG, J.; FAN, W.; PENG, J. Application analysis of hydraulic nozzle and rotary atomization sprayer on plant protection UAV. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 2, n. 1, p. 26–30, 2019.

GUO, Q. et al. CFD simulation and experimental verification of the spatial and temporal distributions of the downwash airflow of a quad-rotor agricultural UAV in hover. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 172, n. March, p. 105343, 2020.

HAFEEZ, A. et al. Implementation of drone technology for farm monitoring & pesticide spraying: A review. **Information Processing in Agriculture**, n. xxxx, 2022.

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, p. 1–9, 2018.

LIU, Q. et al. Drift evaluation of a quadrotor unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: Effect of liquid pressure and wind speed on drift potential based on wind tunnel test. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 11, n. 16, 2021a.

LIU, X. et al. Distribution regularity of downwash airflow under rotors of agricultural UAV for plant protection. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 14, n. 3, p. 46–57, 2021b.

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. 1–21, 2019.

MARTINEZ-GUANter, J. et al. 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.

MUCHIRI, N.; KIMATHI, S. A Review of Applications and Potential Applications of UAV. **2016 Annual Conference on Sustainable Research and Innovation**, n. May, p. 280–283, 2016.

PAN, Z. et al. Droplet distribution and control against citrus Leafminer with Uav spraying. **International Journal of Robotics and Automation**, v. 32, n. 3, p. 299–307, 2017.

RAPARELLI, E.; BAJOCOCCO, S. A bibliometric analysis on the use of unmanned aerial

- vehicles in agricultural and forestry studies. **International Journal of Remote Sensing**, v. 40, n. 24, p. 9070–9083, 2019.
- SARRI, D. et al. Testing a multi-rotor unmanned aerial vehicle for spray application in high slope terraced vineyard on commercial use only on al. v. L, 2019.
- TANG, Q. et al. Droplets movement and deposition of an eight-rotor agricultural UAV in downwash flow field. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 3, p. 47–56, 2017.
- 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, n. January, p. 105961, 2021.
- TANG, Y. et al. 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, n. February, p. 1–7, 2018.
- UKAEGBU, U. F. et al. Development of a Light-Weight Unmanned Aerial Vehicle for Precision Agriculture. **Sensors**, v. 21, n. 13, p. 4417, 28 jun. 2021.
- WANG, D. et al. Analysis of the Influence of Parameters of a Spraying System Designed for UAV Application on the Spraying Quality Based on Box–Behnken Response Surface Method. **Agriculture (Switzerland)**, v. 12, n. 2, 2022a.
- WANG, G. et al. Field evaluation of an unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: effect of spray volume on deposition and the control of pests and disease in wheat. **Pest Management Science**, v. 75, n. 6, p. 1546–1555, 2019.
- WANG, L. et al. A Smart Droplet Detection Approach with Vision Sensing Technique for Agricultural Aviation Application. **IEEE Sensors Journal**, v. 21, n. 16, p. 17508–17516, 2021.
- WANG, S. et al. Effects of Adjuvants on Spraying Characteristics and Control Efficacy in Unmanned Aerial Application. **Agriculture (Switzerland)**, v. 12, n. 2, p. 1–15, 2022b.
- XU, M. et al. A safe, high fertilizer-efficiency and economical approach based on a low-volume spraying UAV loaded with chelated-zinc fertilizer to produce zinc-biofortified rice grains. **Journal of Cleaner Production**, v. 323, n. March, p. 129188, 2021.

YAN, X. et al. Effect of aviation spray adjuvant on improving control of fusarium head blight and reducing mycotoxin contamination in wheat. **Agriculture (Switzerland)**, v. 11, n. 12, 2021.

YU, S. H. et al. Effect of Injection Angle on Drift Potential Reduction in Pesticide Injection Nozzle Spray Applied in Domestic Agricultural Drones. **Journal of Biosystems Engineering**, 2021.

ZHAO, R. et al. Effects of tank-mix adjuvants on physicochemical properties and dosage delivery at low dilution ratios for unmanned aerial vehicle application in paddy fields. **Pest Management Science**, v. 78, n. 4, p. 1582–1593, 2022.

Artigo I - Uma análise bibliométrica e cientométrica da utilização de VANTs na agricultura, pecuária e silvicultura

Resumo

A utilização de veículos aéreos não tripulados (VANTs) nos setores da agricultura, pecuária e silvicultura tem evoluído constantemente devido a sua grande versatilidade e aplicabilidade no campo. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo fornecer um panorama estatístico dos estudos sobre o uso de VANTs na agropecuária e silvicultura por meio de uma análise bibliométrica e cientométrica. Foi realizada uma pesquisa na plataforma Scopus utilizando os termos *UAV*, *UAS*, *drone* e *RPA*, juntamente com “*agricult**” ou “*forest** ou *livestock**”. Foram selecionados apenas artigos publicados em inglês, de janeiro de 2000 a dezembro de 2020. Para a geração de mapas temáticos, o software VOSviewer foi utilizado. Os EUA e a China foram responsáveis por mais de 38% das publicações mundiais. Além disso, cerca de 50% dos países do mundo apresentaram algum registro científico do uso de VANTs em estudos agrícolas e florestais. O termo *UAS* foi mais utilizado até 2016, enquanto o *UAV* foi mais mencionado entre 2017 e 2018. Por outro lado, *drone* foi mais endossado a partir de 2019. O constante aumento da produção científica encontrado nas pesquisas e a evolução da co-ocorrência de palavras-chave corroboraram duas ideias: i) o uso de VANTs ainda está passando por transformações e está diretamente relacionado ao avanço da tecnologia inserida nesses equipamentos; e ii) os estudos ainda não são suficientes para explorar toda a aplicabilidade dos VANTs na agricultura, pecuária e silvicultura.

Palavras-chave: *drone*, *UAS*, *RPA*, agropecuária.

1 Introdução

Veículos aéreos não tripulados (VANTs) estão sendo desenvolvidos constantemente e à medida que suas capacidades se expandem estão sendo empregados em diversos campos civis (MUCHIRI; KIMATHI, 2016). Em países desenvolvidos, os VANTs já são utilizados na fotogrametria e sensoriamento remoto, mapeamento e processamento de imagens, inventários florestais e monitoramento de incêndios, pesquisa meteorológica, manejo e utilização da água, rastreamento de animais e na agricultura de precisão (ADITYA e KULKARNI, 2016; COLOMINA; MOLINA, 2014; ZAJKOWSKI 2003; WONG 2001).

Na agricultura, o primeiro modelo de VANT foi desenvolvido pela Yamaha, o qual, um helicóptero não tripulado foi empregado para o monitoramento de culturas e para

pulverizações no controle de pragas (MOGILI; DEEPAK, 2018). Atualmente, as aplicabilidades dos VANTs são as mais diversas, sendo o monitoramento de culturas, pulverização de pesticidas, estimativas de altura de culturas e análise de solo e campo, as mais comuns (BENDIG ET AL., 2012; GILES; BILLING, 2015; HUANG ET AL., 2009; MOGILI; DEEPAK, 2018; PRIMICERIO et al., 2012;). No setor florestal, informações precisas sobre a composição, estrutura, volume, crescimento e extensão da floresta, que são essenciais para o manejo sustentável, podem ser extraídas direta ou indiretamente de imagens obtidas remotamente (GAMBELLA et al., 2016; SHAO, 2012).

De acordo com o projeto 'Agricultura em 2050', a população mundial chegará a cerca de 9 bilhões em 2050, conseqüentemente, quaisquer técnicas que facilitem o aumento da produção agrícola, ao mesmo tempo em que considerem e diminuam os impactos dessa atividade no meio ambiente, serão benéficas para a sociedade (ZHANG; KOVACS, 2012). A agricultura tecnológica pode ser usada em qualquer lugar do mundo e as pessoas que realizavam a agricultura tradicional estão se tornando familiarizados com a agricultura inteligente ao utilizar VANTs, uma vez que esses equipamentos possibilitam que os agricultores gerem mais produção em fazendas menores por meio de informações que auxiliam na gestão da exploração agropecuária (KIM et al., 2019).

Por se tratar de uma tecnologia com potencial bastante elevado e diversificado, a utilização de VANTs na agropecuária e na silvicultura tem evoluído constantemente e novas aplicabilidades tem surgido a cada ano. Algumas técnicas como as análises bibliométrica e cientométrica, têm sido empregadas para se conhecer os temas das pesquisas realizadas, bem como a transformação ou desenvolvimento das aplicabilidades sobre os mais variados temas. No entanto, a bibliografia acadêmica ainda carece de uma análise bibliométrica aprofundada das publicações sobre veículos aéreos não tripulados (KOTSEMIR, 2019).

Na literatura, o termo “bibliometria” foi definido como “a aplicação de métodos matemáticos e estatísticos a livros e outras mídias de comunicação”, e desde então, tem sido uma ferramenta eficaz para analisar as tendências de pesquisa de vários campos de estudo (ZHANG et al., 2017). Enquanto isso, a “Cientometria” é definida como o estudo quantitativo da ciência, comunicação em ciência e política da ciência e inclui a medição do impacto da pesquisa, investiga o impacto de instituições e periódicos em um determinado campo de pesquisa e fornece uma compreensão mais profunda das citações científicas (MARTINEZ et al., 2019). Utilizando essas duas técnicas complementares, foi possível identificar neste artigo autores, revistas, países e suas conexões em pesquisas publicadas que abordaram a utilização dos VANTs nos setores da agricultura, pecuária e silvicultura.

Nesse contexto, objetivou-se com esse trabalho fornecer uma visão geral estatística dos estudos da utilização de VANTs na agropecuária e na silvicultura por análise bibliométrica e cientométrica, para revelar os padrões subjacentes nos resultados científicos, distribuição geográfica, descrição geral dos desenvolvimentos nesse campo de pesquisa bem como as questões importantes da evolução durante o período 2000 a 2020.

2 Material e Métodos

A base de dados Scopus foi consultada para a pesquisa bibliométrica e cientométrica por ser a principal fonte para a avaliação da produção científica em todo o mundo devido à sua cobertura multidisciplinar e internacional. Justifica-se a escolha da base de dados Scopus por ser mais completa que outras bases de dados, por exemplo, a Web of Science. Esta última não tem um sistema para identificadores exclusivos de autor nem indicadores de organização (“afiliação” na terminologia Scopus) das informações pesquisadas (KOTSEMIR; SHASHNOV, 2017; VIEIRA; GOMES, 2009).

O dicionário de sinônimos *thesaurus* foi consultado para verificar os sinônimos mais frequentemente utilizados para se referir aos veículos aéreos não tripulados, assim como abreviações para estes termos sendo a coleta de dados realizada em 11 de fevereiro de 2021. Neste sentido, foram realizadas buscas dos termos nos títulos dos artigos, nos resumos e nas palavras-chave. Os termos utilizados na base de pesquisa foram “UAV*” (*Unmanned Aerial Vehicle*), “UAS*” (*Unmanned Aircraft System*), “drone*” e “RPA*” (*Remotely Piloted Aircraft*). Com intuito de restringir a pesquisa a termos relacionados à agropecuária e silvicultura, tais termos foram utilizados para limitar os resultados a estas áreas de conhecimento. A pesquisa limitou-se a registros de publicação no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2020. Foram selecionados somente artigos e revisões restritos as áreas temáticas “*Environmental science*” e “*Agricultural and biological sciences*”, publicados em língua inglesa. O código de pesquisa ficou assim descrito: (*TITLE-ABS-KEY (uav*) OR TITLE-ABS-KEY (uas*) OR TITLE-ABS-KEY (drone*) OR TITLE-ABS-KEY (rpa*) AND TITLE-ABS-KEY (forest* OR agricult* OR livestock)) AND PUBYEAR > 1999 AND PUBYEAR < 2021 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))).*

A sequência lógica da análise bibliométrica e cientométrica utilizada na pesquisa foi a seguinte: i) recuperação dos dados provenientes da plataforma, ii) extração da rede de dados, iii) normalização e iv) visualização e análise dos mapas temáticos e de conexões (BÖRNER;

CHEN; BOYACK 2003; MORRIS; VAN DER VEER MARTENS 2008; NOYONS; MOED; LUWEL 1999; PETERS; VAN RAAN 1993).

As conexões entre os dados bibliográficos foram realizadas com a utilização do software VOSviewer (www.vosviewer.com) (VAN ECK; WALTMAN 2010). A base de dados extraída do Scopus foi utilizada no software VOSviewer, em seguida foi realizado um ranqueamento de relevância dos termos encontrados no pré-processamento e analisou-se os grupos (clusters) relacionados ao domínio de investigação das publicações (WALTMAN, VAN ECK; NOYONS 2010). Por último, mapas temáticos foram gerados com base na rede elaborada. Nestes, o tamanho dos rótulos circulares (ou esferas) de um item é determinado pelo peso do item. Quanto maior o peso de um item, maior será o seu rótulo. A cor de um item é determinada pelo cluster ao qual o item pertence. As linhas entre os itens representam conexões. Quanto mais forte for a conexão entre dois itens, mais espessa será a linha usada para exibir essa conexão no mapa (VAN ECK; WALTMAN 2020).

Os anos de pesquisa compreendidos entre 2015 a 2020 representaram 81,5% do total de publicações e este período foi utilizado para quantificar as colaborações entre os países. Primeiramente, identificou-se a maioria dos países publicadores e revistas científicas baseada em UAV sobre agricultura, silvicultura e pecuária. Para analisar as conexões entre países ou entre revistas científicas, realizou-se uma análise de coautoria; filtrando por um número mínimo de cinco documentos. Para a análise das palavras-chave, foi conduzida uma análise de co-ocorrência, utilizando um número mínimo de limiar de ocorrência igual a oito, ou seja, o número de vezes que uma palavra-chave deve estar presente no conjunto de dados a ser utilizado na análise.

Com a utilização do software VOSviewer foram criadas redes de conexões entre palavras-chave, autores, países e periódicos e foram analisadas suas interações e evoluções ao longo dos anos. Em resumo, as seguintes metodologias foram aplicadas para revelar padrões de pesquisa: análise de co-ocorrência de palavras-chave, co-autoria entre autores, co-autoria entre países e citações entre revistas. Uma visão geral de toda metodologia proposta pode ser verificada na Figura 1.

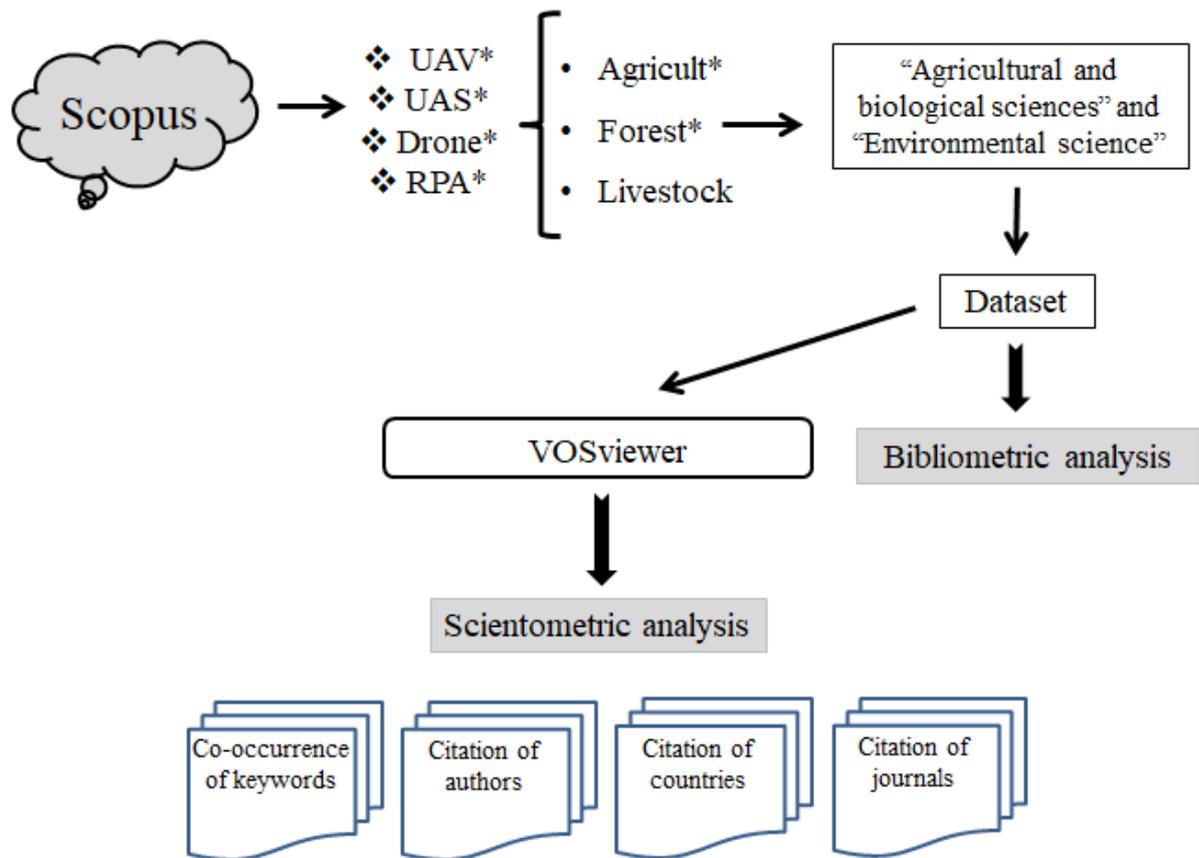


Figura 1. Fluxograma da metodologia utilizada.

3 Resultados

3.1 Aquisição de dados

Somente publicações em forma de artigo e revisão foram analisadas e o total de registros foi de 1564 para o período entre 2000 e 2020. Todos os anos da pesquisa apresentaram ao menos uma publicação relacionada ao tema (Figura 2). Embora tenha sido observado em 2007 um aumento considerável no número de publicações em relação ao ano anterior, os anos 2009 e 2010 apresentaram decréscimo nas produções bibliográficas.

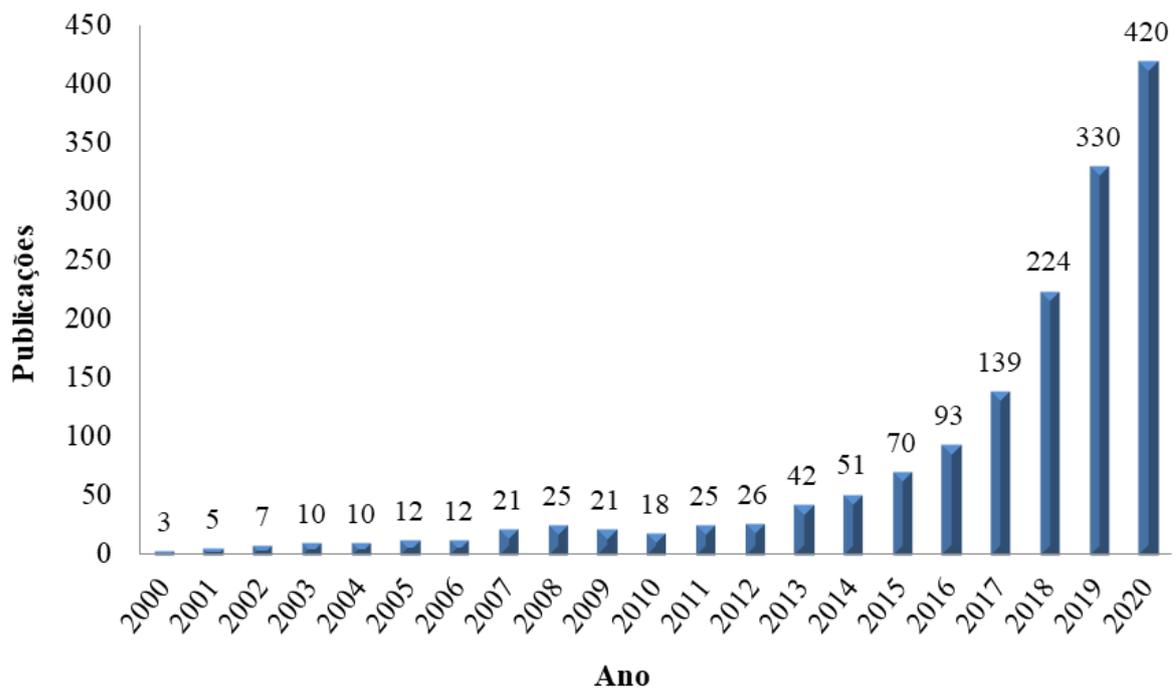


Figura 2. Estudos publicados na Scopus por ano (2000–2020).

Mesmo que houvesse alguma pesquisa relacionada aos VANTs há algum tempo, foi observada uma tendência de aumento contínuo dos trabalhos a partir do ano 2011, o que evidencia a admissão dessa tecnologia como uma interessante ferramenta nos dias atuais. A partir de 2012 houve um aumento nas publicações de pelo menos 20% a cada ano. De 2016 a 2019 o incremento de documentos publicados foi superior a 45%, sinalizando uma tendência ainda maior na utilização da tecnologia em pesquisas científicas. Embora o ano 2020 tenha apresentado maior quantidade de publicações que 2019, o acréscimo representou apenas 27% em relação ao ano anterior. Neste caso específico, há de se ponderar que devido a pandemia do Corona Vírus – 19, muitos estudos e publicações tiveram seus cronogramas paralisados ou alterados.

Os três países com maior contribuição no número de publicações foram Estados Unidos, China e Espanha, enquanto o Brasil figurou na sétima posição nesse ranking (Figura 3). EUA e China representaram mais de 38% das publicações obtidas na pesquisa, o que pode estar relacionado à facilidade de acesso à tecnologia, uma vez que diversas empresas fabricantes dos VANTs são provenientes desses países.

Um total de 103 países apresentaram registros na área, o que representa pouco mais de 50% dos países no mundo. Além disso, mais de 80% das publicações estiveram concentradas nos 10 países que mais publicam. Estas informações podem servir de alerta para a discrepância existente entre países quanto às tecnologias empregadas na agricultura, floresta e

pecuária, bem como na capacidade de estabelecer revistas de impacto que são preferidas para a divulgação das pesquisas.

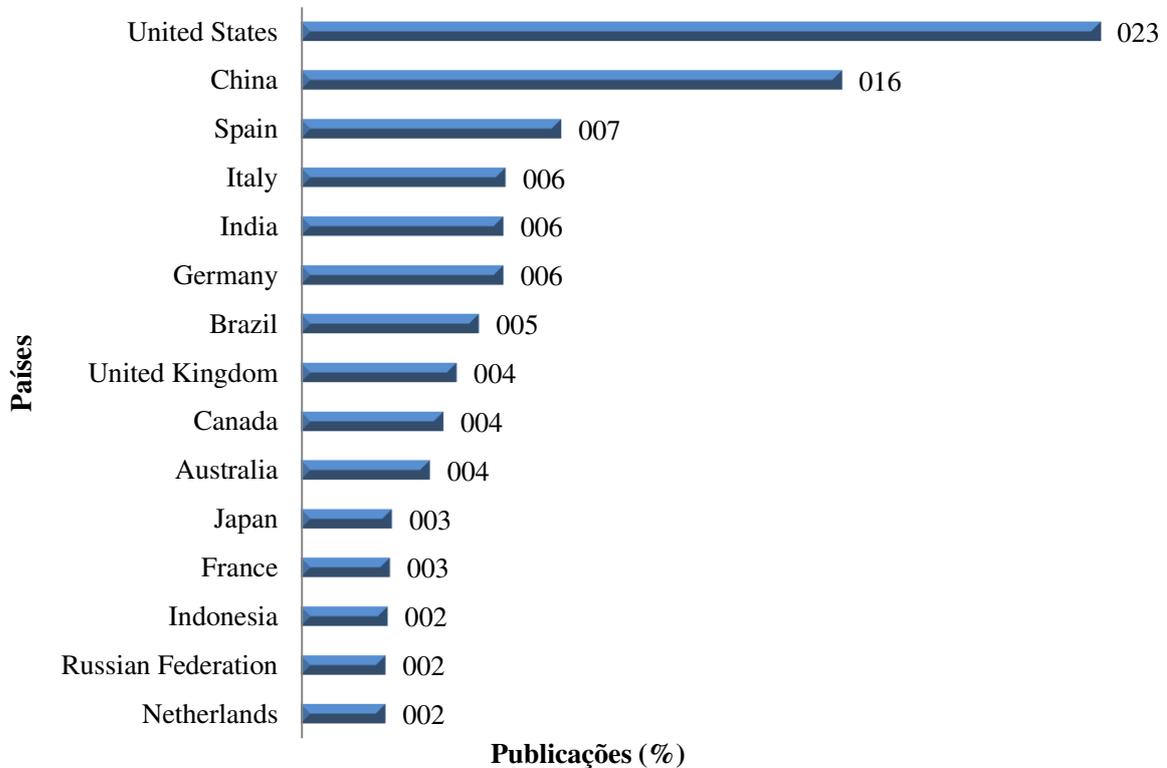


Figura 3. Porcentagem dos registros na Scopus dos 15 países com maior número de publicações (2000–2020).

Dentre as 1564 produções utilizadas neste trabalho, foram encontrados mais de 5400 autores. A plataforma Scopus considera todos os agentes de uma publicação, o que em alguns periódicos pode configurar vários nomes. Para a pesquisa foram analisados registros com até 25 autores, com o intuito de selecionar mais artigos. Diversos autores apresentaram dez ou mais registros revelando que os trabalhos com VANTs é foco de estudo para vários pesquisadores. Zarco-Tejada, López-Granados, Zhang C., Torres-Sanchez e Peña J. foram os autores com maior número de citações neste estudo indicando haver grande importância destes na temática dos VANTs empregados nas ciências agrárias (Figura 4).

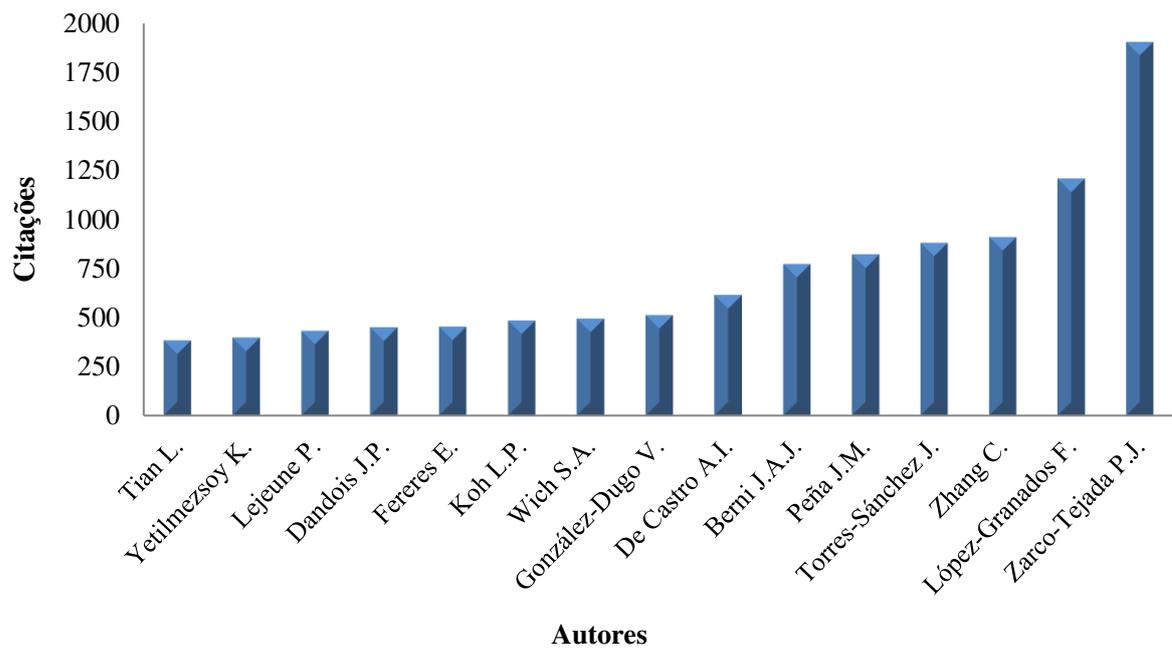


Figura 4. Top 15 autores com mais citações na Scopus para a pesquisa realizada (2000-2020).

Vários periódicos também se destacam pela grande quantidade de registros na área. Alguns apresentaram pelo menos 20 documentos publicados nos últimos 20 anos: *Computers And Electronics in Agriculture*, *Remote Sensing of Environment*, *Forests*, *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, *Precision Agriculture*, *Plos One*, *Water Science and Technology* and *Science of the Total Environment*. Além destes, outros periódicos também apresentaram pelo menos 10 registros (Figura 5).

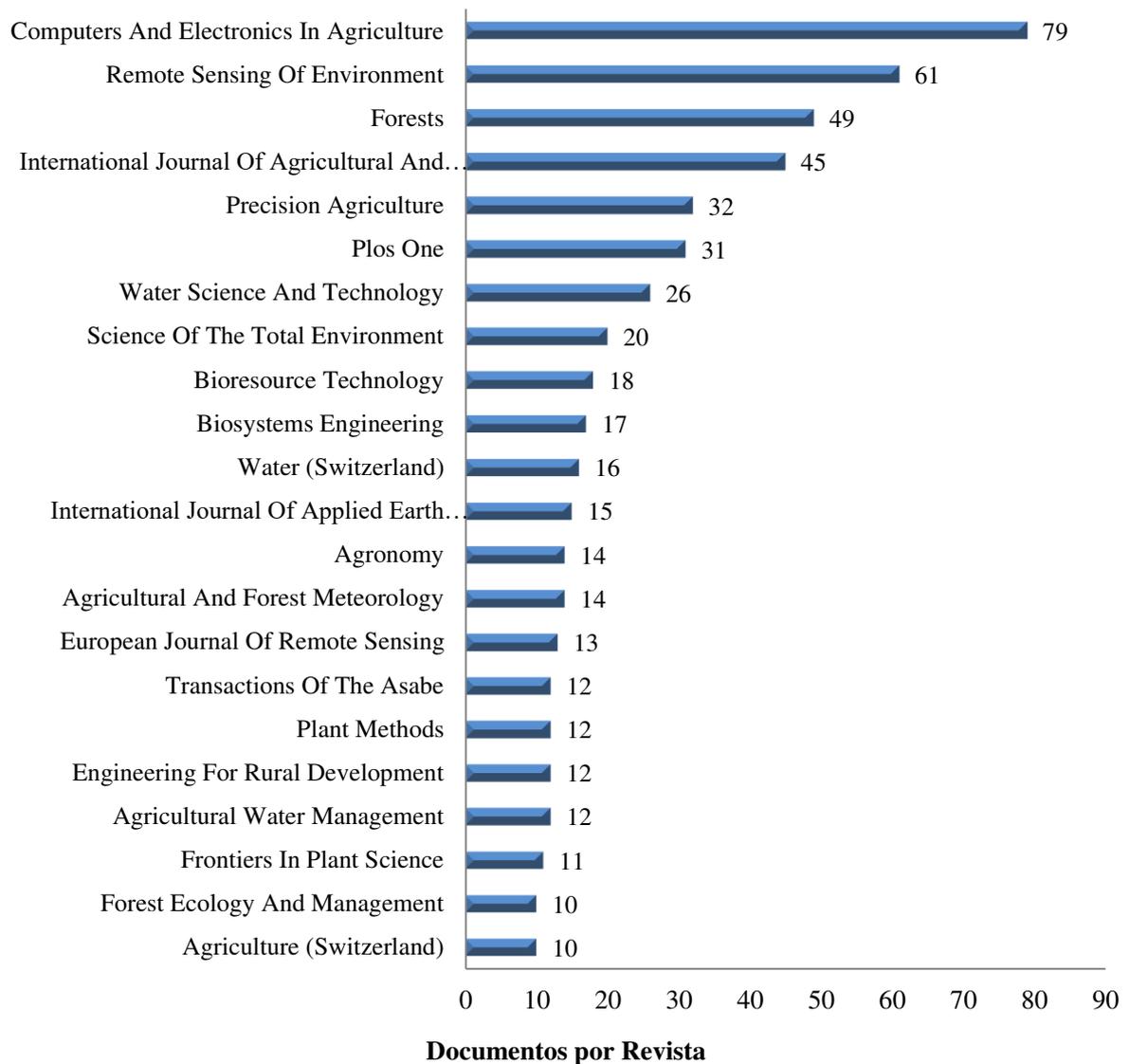


Figura 5. Quantidade de registros na Scopus por periódicos com pelo menos 10 registros (2000-2020).

Embora seja importante saber os países, autores e periódicos que mais tem publicado artigos na área, a relação e as conexões existentes entre esses e a rede de citações oriundas desses trabalhos, permite uma melhor compreensão das linhas de pesquisas e as transformações que a utilização dos VANTs tem proporcionado.

3.2 Análise da co-ocorrência das palavras-chave

As palavras-chave são utilizadas para direcionar os principais assuntos abordados em um estudo e representam de forma direta o conteúdo das publicações. A partir do software VOSviewer foi criado um mapa capaz de demonstrar a relação entre os domínios encontrados

Além da evolução das aplicações dos VANTs, foi possível perceber também a terminologia mais empregada para os equipamentos aéreos. O termo *Unmanned Aircraft System (UAS)* foi mais utilizado até 2016, enquanto *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* foi mais mencionado entre os anos 2017 e 2018. Por outro lado, Drone foi mais referendado a partir de 2019. Tais transformações em um curto espaço de tempo indicam não haver ainda uma definição para a nomenclatura da tecnologia.

3.3 Análise das citações entre os autores

Com o intuito de verificar a rede de conexão entre as citações dos autores, foi gerado um mapa considerando somente os que tiveram uma produção maior que cinco documentos e no mínimo 50 citações. O mapa criado permitiu perceber agrupamentos entre autores, sendo identificados pelas menores distâncias entre as esferas. Autores que são representados pela mesma cor foram mais citados em um mesmo período. Quando os autores estão dispostos mais próximos aos núcleos da rede e arranjados com várias conexões, indicam maior diversificação quanto às citações em seus trabalhos. Por outro lado, quando os autores estão mais afastados do núcleo da rede, é possível constatar que há menor heterogeneidade nas suas citações.

Embora Zarco-Tejada possa ser o quarto autor com o maior número de publicações dentre os selecionados, foi o mais citado dentre todos os autores e possui ampla rede de conexões com vários outros. Além dele, Lopez-Granados, autor com maior número de documentos e segundo na lista de citações, foi classificado no mesmo agrupamento de Zarco-Tejada e ambos apresentaram maior grau de importância até 2016, conforme indicado pela grade de cor do sistema *overlay visualization* (Figura 7). Por sua vez, Torres-Sanchez e Peña J. foram representados com maior índice de citações no período entre 2017 a 2018 e Zhang C. entre 2018 a 2019.

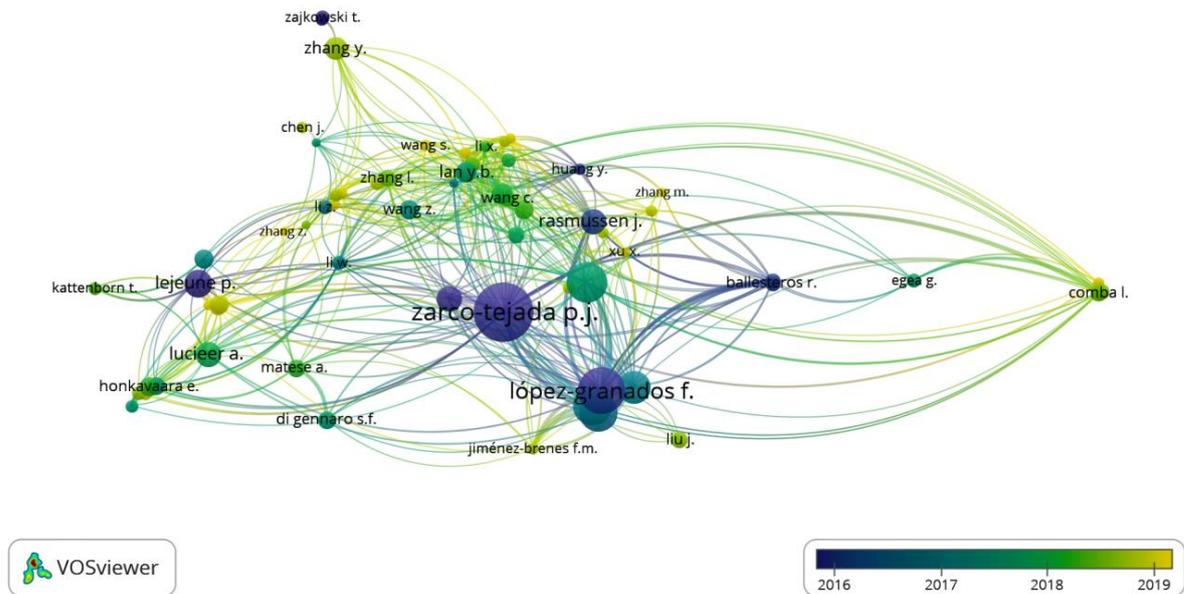


Figura 7. Rede de citações entre os autores com pelo menos 5 documento e 50 citações (2000-2020).

3.4 Análise das citações entre países

Os três países que tiveram mais citações na pesquisa realizada foram Estados Unidos, Espanha e China. Espanha apresentou mais força nas citações no período até 2016, enquanto Estados Unidos entre 2016 a 2017. Por outro lado, a China apresentou maior impacto após 2018 como pode ser observado no mapa pelo sistema *overlay visualization* (Figura 8). Embora China tenha figurado como segundo na produção mundial de artigos na área, suas pesquisas podem ser mais recentes e o grau de citações tende a aumentar com o passar do tempo. Austrália, Alemanha, França, Reino unido e Canadá foram mais representativos entre 2017 a 2018. Portugal, Indonésia, Rússia e Irlanda apresentaram maior impacto após 2019.

O Reino Unido apresentou uma rede de conexões bem diversificada quanto às citações. Sua proximidade no mapa com França, Bélgica, Alemanha e Estados Unidos implica em forte relação de citação de trabalhos entre esses países. Em geral, Canadá, Estados Unidos, Suécia, Austrália, Reino Unido, Espanha, Brasil, Nova Zelândia, Alemanha, França, Japão, China, Itália e Rússia apresentaram boa relação entre as citações dos artigos.

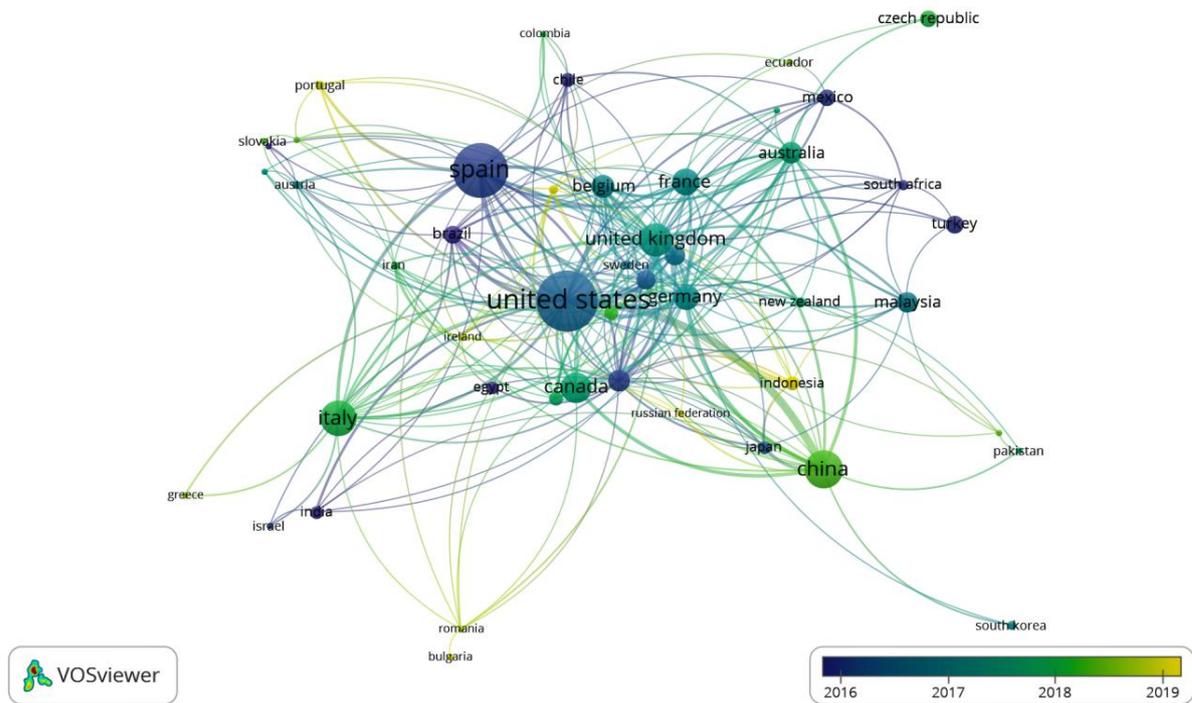


Figura 8. Rede de citações entre os países ao longo dos anos (2000-2020).

3.5 Análise das citações entre periódicos

Os cinco periódicos que mais se destacaram quanto às citações foram *Remote Sensing of Environment*, *Computers and Electronics in Agriculture*, *Bioresource Technology*, *Precision Agriculture* e *Forests*, conforme observado na Figura 9. Quanto maior a dimensão da esfera que representa o periódico, maior a quantidade de citações deste.

As proximidades das esferas no mapa indicou forte relação de citação de trabalhos entre *Computers and Electronics in Agriculture* e *Precision Agriculture*, indicando haver convergência de estudos publicados nessas duas revistas. Ficou evidenciada também a ocorrência de cinco agrupamentos, os quais apresentaram fortes conexões com outros periódicos indicados sob mesma coloração. Essa interação que ocorre entre as citações de determinadas revistas pode ser considerada uma importante informação tanto para facilitar a pesquisa de temas similares por diferentes periódicos, bem como apontar quais revistas tendem a ter melhor aceitação de trabalhos de acordo com a temática dos mesmos.

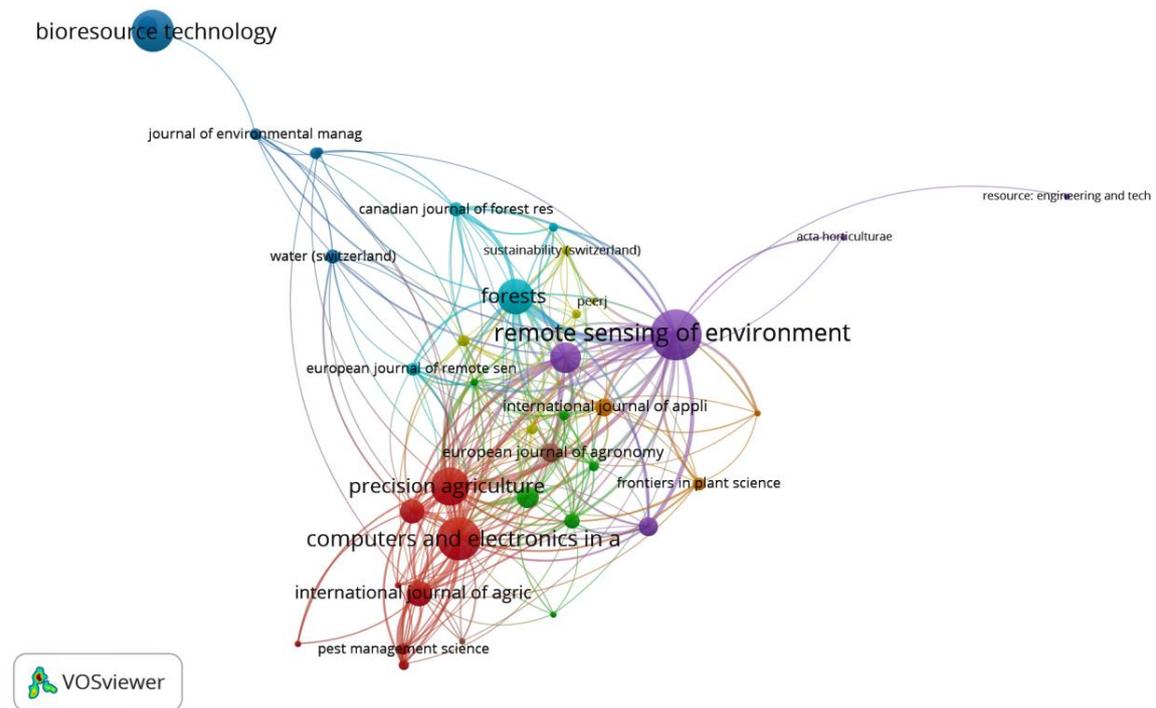


Figura 9. Rede citações entre periódicos (2000-2020).

4 Discussão

Este estudo utilizou a análise bibliométrica e cientométrica para revisar o conjunto de dados da literatura existente na Scopus sobre a utilização de veículos aéreos não tripulados na agricultura, silvicultura e pecuária. Por meio da bibliometria e da cientometria é possível construir indicadores destinados a avaliar a produção científica de indivíduos, áreas de conhecimento e países (SILVA et. al, 2011).

Embora os VANTs tenham surgido há várias décadas, sua utilização na agropecuária e floresta tem sido estudada com maior frequência nos últimos cinco anos. O aumento no número de documentos publicados é uma importante referência do progresso da pesquisa e pode refletir o foco de atenção das pesquisas durante um determinado período (WANG et al., 2019). Desde o ano de 2018, o número de artigos publicados dentro do tema a cada ano, foi superior a todos os registros entre 2000 e 2010.

Uma das razões para o aumento nas publicações pode estar associada às diversas funcionalidades dos equipamentos e os benefícios que eles trouxeram. Por exemplo: VANTs com sensores ópticos, térmicos e radares, associado a sistemas de georreferenciamento, possibilitaram o monitoramento e mapeamento de anomalias que, se observadas do solo ou

por meios tradicionais, não seriam tão óbvias ou se quer, poderiam ser notificadas (NEBIKER; LACK, 2016).

Atualmente vários países possuem estudos com VANTs, mas os dois grandes contribuintes para a pesquisa mundial são Estados Unidos e China. Raparelli e Bajocco (2019), ao realizarem uma análise bibliométrica sobre o uso de veículos aéreos não tripulados em estudos agrícolas e florestais, também mencionaram EUA e China como os países que mais contribuíram para a pesquisa nessa área.

Embora a China tenha gerado vários estudos, a quantidade de citações dos trabalhos produzidos por lá não tem acompanhado essa mesma importância. É sabido que vários desses estudos produzidos são publicados em Mandarim e isto pode ter dificultado a utilização desses artigos por pesquisadores que não dominam esse idioma. Além disso, para o presente estudo, foram consideradas somente as publicações na língua inglesa. Por outro lado, desde 2013, estudiosos chineses estão se tornando mais favoráveis à publicação em periódicos que utilizam o idioma inglês para uma exposição mais ampla de suas pesquisas (WANG et al., 2019).

Uma forma de compreender melhor a evolução dos estudos ao longo dos anos, dentro de uma mesma área, se faz possível analisando as palavras-chave. Estas são o núcleo dos trabalhos acadêmicos já que é uma forma altamente resumida do conteúdo, ou seja, palavras-chave com alta frequência sugerem o tópico de interesse comum entre os estudiosos de um determinado campo de pesquisa (LI et al., 2013; ZHAO et al., 2015). Palavras como navegação, aeronaves e localização que foram comuns no início dos anos 2000, indicaram as simples funções que os equipamentos possuíam naquela época. Por outro lado, a diversidade de palavras encontradas entre os anos 2015 e 2020 descrevem com mais precisão em quais aplicações os VANTs tem sido empregados. Outra informação importante obtida por meio da análise cientométrica foi que as palavras-chave encontradas são mais comuns na agricultura e na silvicultura do que na pecuária, indicando que esta última área ainda tende a evoluir bastante.

Em relação à rede de citação entre os autores, percebe-se que alguns pesquisadores tiveram seus trabalhos mais mencionados, mesmo com um menor número de registros na literatura. Tal fato pode estar conexo a alguns motivos como à especificidade, ou a complexidade e originalidade do estudo, ou até mesmo o fator de impacto do periódico no qual o trabalho foi publicado. Nesse mesmo sentido, ganha importância a organização que apresentou maior número de citações, mesmo sem pertencer aos dois países que mais publicaram. O Conselho Superior de Investigações Científicas (Espanha) atingiu altos índices

de citações em produções científicas. Essa condição sugere que as pesquisas realizadas nesse centro possui alto prestígio internacional e torna-se referência no emprego de VANTs na agricultura, pecuária e silvicultura.

A técnica de mapeamento científico utilizada neste trabalho é um campo de pesquisa emergente que permite enquadrar o tema de interesse (neste caso, a utilização de VANTs na agricultura, silvicultura e pecuária) em nível internacional, bem como em um ponto de vista multidisciplinar como corroborado por Raparelli e Bajocco (2019).

5 Considerações Finais

O emprego de veículos aéreos não tripulados tem sido uma importante ferramenta em diversas áreas civis. Sua utilização na agropecuária e na silvicultura vem sofrendo alterações ao longo dos anos e a própria evolução da tecnologia tem impulsionado essas transformações. Para compreender melhor essas aplicações foi elaborado um estudo bibliométrico e cientométrico com base nos artigos encontrados na plataforma Scopus sendo considerados 1564 registros na área, no período de 2000 a 2020.

Dois países, EUA e China, são responsáveis por mais de 38% das publicações até o momento, sendo este resultado um alerta para a necessidade de maior difusão desta tecnologia. Pouco mais de 50% dos países do mundo possuem algum registro científico com a utilização de VANTs nos setores agrícola, pecuária e silvicultura. Mesmo não sendo os agentes de maior expressão na confecção de estudos científicos, alguns autores e algumas organizações/instituições ganharam reconhecimento, sendo constantemente citados pelos trabalhos realizados nessa área.

Por meio do software VOSviewer foi possível entender a evolução da aplicabilidade dos VANTs ao analisar as palavras-chave utilizadas nas publicações ao longo dos anos. O constante aumento das produções científicas corrobora para duas ideias: i) a utilização dos VANTs ainda passa por transformações e está diretamente relacionada ao avanço da tecnologia inserida nestes equipamentos e, ii) os estudos na área ainda não são suficientes para explorar todas as utilidades dos VANTs na agricultura, pecuária e silvicultura.

Referências

ADITYA S.N; KULKARNI, S.C. Adoption and Utilization of Drones for Advanced Precision Farming: A Review. **International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication**, v. 4, n. 5, p. 563–565, 2016.

BENDIG, J.; BOLTEN, A.; AND BARETH, G. Introducing a low-cost mini-UAV for

thermal-and multispectral-imaging. **Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci**, v. 39, p. 345-349, 2012.

BÖRNER, K.; CHEN, C.; BOYACK, K. W. Visualizing knowledge domains. **Annual review of information science and technology**, v. 37, n. 1, 179-255, 2003.

COLOMINA, I.; MOLINA, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. **ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing**, v. 92, p. 79-97, 2014.

GAMBELLA, F. et al. Forest and UAV: a bibliometric review. **Contemporary Engineering Sciences**, v. 9, n. 28, p. 1359-1370, 2016.

GILES, D.; BILLING, R.. Deployment and performance of a UAV for crop spraying. **Chemical engineering transactions**, v. 44, p. 307-312, 2015.

HUANG, Y. ET AL. Development of a spray system for an unmanned aerial vehicle platform. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 25, n. 6, p. 803-809, 2009.

KIM, J. et al. Unmanned aerial vehicles in agriculture: A review of perspective of platform, control, and applications. **IEEE Access**, v. 7, p. 105100-105115, 2019.

KOTSEMIR, M. Unmanned aerial vehicles research in Scopus: an analysis and visualization of publication activity and research collaboration at the country level. **Quality & Quantity**, v. 53, n. 4, p. 2143-2173, 2019.

KOTSEMIR, M.; SHASHNOV, S. Measuring, analysis and visualization of research capacity of university at the level of departments and staff members. **Scientometrics**, v. 112, n. 3, p. 1659-1689, 2017.

Li, J. et al. Preliminary study of knowledge map of safety science-based on data of safety science. **China Safety. Science. Journal**. v. 23, p. 152–158, 2013.

MARTINEZ, P.; AL-HUSSEIN, M.; AHMAD, R. A scientometric analysis and critical review of computer vision applications for construction. **Automation in Construction**, v. 107, p. 102947, 2019.

MOGILI, U. R.; DEEPAK, B. B. V. L. Review on application of drone systems in precision agriculture. **Procedia computer science**, v. 133, n. 502-509, 2018.

MORRIS, S. A.; VAN DER VEER MARTENS, B. Mapping research specialties. **Annual review of information science and technology**, v. 42, n. 1, 213-295, 2008.

MUCHIRI, N.; KIMATHI, S. A review of applications and potential applications of UAV. **In Proceedings of sustainable research and innovation conference**. p. 280-283, 2016.

NEBIKER, S., AND LACK, N. Multispectral and thermal sensors on UAVs. **Gim International-The Worldwide Magazine For Geomatics**, v. 30, n. 12, p. 19-21, 2016.

- NOYONS, E. C.; MOED, H. F.; LUWEL, M. Combining mapping and citation analysis for evaluative bibliometric purposes: **A bibliometric study. Journal of the American society for Information Science**, v. 50, n. 2, p. 115-131, 1999.
- PETERS, H.P.F.; VAN RAAN, A.F.J. Co-word based science maps of chemical engineering, Part I and II. **Research Policy**, v. 22, n. 1, p. 23–71, 1993.
- PRIMICERIO, J. et al. A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture. **Precision Agriculture**, v. 13, n. 4, p. 517-523, 2012.
- RAPARELLI, E.; BAJOCCHO, S. A bibliometric analysis on the use of unmanned aerial vehicles in agricultural and forestry studies. **International Journal of Remote Sensing**, v. 40, n. 24, 9070-9083, 2019.
- SHAO, G.F. Remote sensing, In: **Encyclopedia of Environmetrics**, 2nd ed., A-H. El-Shaarawi, W. Piegorisch (eds), Wiley, Chichester, p. 2187 – 2193, 2012.
- SILVA, M. R. et al. Análise bibliométrica e cientométrica: desafios para especialistas que atuam no campo. InCID: **Revista de Ciência da Informação e Documentação**, v. 2, n. 1, p. 110-129, 2011.
- VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523-538, 2010.
- VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. VOSviewer manual. Leiden: Univeriteit Leiden, **CWTS Meaningful metrics**, v. 1; n. 1, p. 1-53, 2020.
- VIEIRA, E.; GOMES, J. A comparison of Scopus and Web of Science for a typical university. **Scientometrics**, v. 81, n. 2, p. 587-600, 2009.
- WALTMAN, L.; VAN ECK, N. J.; NOYONS, E. C. A unified approach to mapping and clustering of bibliometric networks. **Journal of informetrics**, v. 4, n. 4, p. 629-635, 2010.
- WANG, L. et al. Bibliometric analysis of remote sensing research trend in crop growth monitoring: A case study in China. **Remote Sensing**, v. 11, n. 7, p. 809, 2019.
- WONG, K. C. Survey of regional development: civil application. **Proceedings of the UAV Australia Conference**, p. 8–16, 2001.
- ZAJKOWSKI, T. J. Unmanned aerial vehicles: Remote sensing technology for the USDA Forest Service. **US Department of Agriculture, Forest Service, Remote Sensing Applications Center**. 2003.
- ZHAO, R.Y.; GUO, F.J.; ZHAO, Y.H. Study of mainstream research fields and hot spots in the field of scientometrics. **Lib. Inf. Serv.** v. 59, n. 2 , p. 66–74, 2015.
- ZHANG, C.; KOVACS, J. M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. **Precision agriculture**, v. 13, n. 6, p. 693-712, 2012.

ZHANG, H. et al. Bibliometric analysis of global remote sensing research during 2010–2015. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 6, n. 11, p. 332, 2017.

Artigo II - Capacidade operacional e efeito da altura de voo e de pontas na pulverização em citros usando VANT

Resumo

A busca por alternativas mais eficientes e seguras para a pulverização impulsionou o surgimento de novas tecnologias nos últimos anos, como os VANTs. No entanto, poucas pesquisas foram realizadas com esses equipamentos sobre os parâmetros operacionais mais adequados ao cultivo de citros. Nesse sentido, objetivou-se quantificar a densidade de gotas, a amplitude relativa (Span) e a cobertura gerada pela pulverização em citros ao utilizar quatro alturas de voo (1,0; 1,7; 2,3 e 3,0 m) e quatro pontas de pulverização (Leque com pré-orifício, Duplo leque com pré-orifício, Leque com indução de ar e Duplo leque com indução de ar), sendo adotada a metodologia do papel hidrossensível. Foram estudadas também a deposição e a penetração da pulverização no dossel da planta sendo alvos artificiais em PVC distribuídos nas quatro faces de cada planta. Dentro de cada face, os alvos artificiais também foram distribuídos nos três terços das plantas (superior, médio e inferior) e em três profundidades (interno, médio e externo). Nesse, um único modelo de ponta de pulverização foi utilizado (Duplo leque com indução de ar). Além disso, foi comparada a capacidade operacional do VANT com os pulverizadores hidropneumático tratorizado e o pneumático costal. As pontas de pulverização com indução de ar apresentaram melhores resultados de cobertura e densidade de gotas comparadas às pontas sem essa tecnologia. A altura de voo de 1,0 m acima do dossel das plantas de citros resultou em maior cobertura e densidade de gotas em relação a altura de voo de 3,0 m para a ponta de indução de ar duplo leque. Maior dificuldade de penetração da pulverização com VANT está relacionada a posição mais interna do dossel da planta de citros em relação a posição mais externa e não em relação aos terços da planta. O VANT pulverizador apresentou maior capacidade operacional em relação ao hidropneumático tratorizado e ao pneumático costal para o cultivo de citros.

Palavras-chave: aplicação aérea, veículo aéreo não tripulado, cobertura, deposição.

1 Introdução

Citros está entre os mais importantes cultivos do mundo (ZHANG et al., 2016). Seu cultivo é uma das atividades mais lucrativas dentre as culturas frutíferas, entretanto, o crescente impacto na redução da produtividade causada por pragas e doenças tem ameaçado a lucratividade da atividade (OSÓRIO et al., 2017; PAN et al., 2017). Como alternativa, um

método eficiente e bastante utilizado para a redução dos ataques de doenças e insetos, é o controle químico (TANG et al., 2018; ZHANG et al., 2016).

As aplicações de pesticidas em pomares de citros de diversos países são, geralmente, realizadas com pulverizadores hidropneumáticos, pontas do tipo cone vazio (geralmente, produzem gotas finas ou muito finas) e muitas vezes, com volumes de pulverização excessivos o que diminui a capacidade operacional e aumenta o uso de água, o custo e o risco de contaminação ambiental. (GARCERÁ et al., 2017; MIRANDA et al., 2021). Em pomares implantados em pequenas áreas ou de relevo acidentado, as aplicações com pulverizadores costais também são empregadas, o que aumenta a probabilidade de incidentes com riscos de intoxicação ao operador (LI et al., 2020; WANG et al., 2017).

A busca por alternativas mais eficientes e seguras para a pulverização impulsionou o surgimento de novas tecnologias nos últimos anos. Houve grande crescimento no uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) para a pulverização, pois seu custo foi reduzido e seus parâmetros operacionais melhoraram (RICHARDSON et al., 2020). Diversas pesquisas ao redor do mundo tem validado o potencial do uso de VANTs na pulverização de precisão (AHMAD et al., 2020; CHEN et al., 2021; FAN; ZHANG; CHEN, 2021; LI et al., 2020; TANG et al., 2021). Estes têm sido utilizados para substituir aplicações realizadas manualmente ou até mesmo em grandes áreas, principalmente em situações pontuais ou em casos onde as pulverizações requerem máxima segurança. Em comparação com pulverizadores terrestres convencionais, os VANTs operam com menor exposição do operador e maior eficiência operacional em pequenos terrenos (WANG et al., 2019). Além disso, um dos objetivos das tecnologias aéreas na agricultura de precisão é a redução do uso de pesticidas por meio de melhorias no desempenho da pulverização (SARRI et al., 2019).

Neste tipo de aplicação aérea, os VANTs de múltiplos rotores têm uma série de vantagens sobre os VANTs de asa fixa, como sua flexibilidade e capacidade de manobra em padrões de voos complexos, a não exigência de uma grande área de pouso e decolagem e a possibilidade de pairar sobre pontos específicos (MARTINEZ-GUANTER et al., 2020; ZHANG et al., 2016). Também, tem mostrado boa adaptabilidade em terrenos acidentados e na aplicação em pomares adensados, pois possibilitam a penetração das gotas por forte turbulência do rotor (PAN et al., 2017). Por outro lado, Sarri et al. (2019) e Xiongkui et al. (2017) destacam a necessidade de mais pesquisas no sentido de aprimorar os pontos fracos e otimizar a configuração de VANTs pulverizadores, como a seleção correta das pontas e melhorias no desempenho (por exemplo, cobertura foliar, penetração do dossel, etc.). Uma melhor compreensão do destino final das gotas e da qualidade da aplicação em relação ao

modelo e configuração da pulverização é esperada por agricultores e operadores dos VANTs (LI et al., 2020).

A eficiência de trabalho é outro importante índice de avaliação da aplicação (WANG et al., 2019). O tempo de voo e a carga útil estão entre os fatores mais limitantes para o uso dos VANTs na agricultura. Estudos indicam capacidade operacional de 2,0 a 4,5 ha h⁻¹ em vinhedos e de 1,67 a 2,25 ha h⁻¹ em lavoura de trigo (GILES; BILLING, 2015; WANG et al., 2017). Mas esses valores podem variar, a depender do formato da lavoura, tipo de VANT, volume de calda aplicado e até mesmo da equipe de operação (KOONDEE; SAENGPRACHATHANARUG; POSOM, 2019; WANG et al., 2019, 2020).

Embora haja alguns estudos relacionados aos VANTs pulverizadores, poucas pesquisas foram realizadas com esses equipamentos sobre os parâmetros operacionais mais adequados ao cultivo de citros (TANG et al., 2018). Na busca por melhor entendimento da pulverização com VANTs, os objetivos desse estudo foram: quantificar a densidade de gotas e cobertura gerada pela pulverização em citros ao utilizar quatro alturas de voo e quatro pontas de pulverização. Comparar a deposição nas quatro faces do cultivo e a penetração da pulverização no dossel da planta. Verificar e comparar a capacidade operacional do VANT com os pulverizadores hidropneumático tratorizado e o pneumático costal.

2 Material e Métodos

2.1 Área experimental

A pesquisa foi realizada em 2021, numa área experimental de relevo plano e 4500 m², com produção de citros da Universidade Federal de Viçosa, no município de Viçosa-MG, Brasil (latitude 20°45' S e longitude 42°50' O), conforme apresentado na Figura 1. Esta área era composta por plantas de lima-ácida-“Tahiti” (*Citrus latifolia* Tanaka), com espaçamento de 3,0 m entre plantas, 5,0 m entre linhas e altura média das plantas de 3,0 m. Plantas não saudáveis e fora do padrão não foram consideradas no experimento.



Figura 1. Imagem aérea da área experimental.

2.2 Materiais e VANT pulverizador

O VANT pulverizador de multirrotores utilizado na pesquisa foi o modelo AGRAS MG-1P (SZ DJI Technology Co., Ltd), conforme mostrado na Figura 2. Suas especificações estão apresentadas na Tabela 1.



Figura 2. VANT pulverizador utilizado no experimento.

Tabela 1. Especificações do VANT MG-1P utilizado nesse estudo.

Itens	Especificações
Dimensões (mm)	1460×1460×616
Rotor	8
Velocidade de operação (m s ⁻¹)	1 a 7
Capacidade do tanque (L)	10
Número de bicos pulverizadores	2-4
Modelos de pontas utilizadas	4
Máximo peso para decolagem (kg)	23,9
Altura de voo (m)	1-3
Faixa de aplicação (m)	4-6
Vazão (L min ⁻¹)	1,2-1,7

Para a aplicação adequada de pesticidas, a escolha correta da ponta de pulverização é essencial (TANG et al., 2018). Nesse sentido, foram estudadas quatro pontas de pulverização: Leque com pré-orifício (LAD), Duplo leque com pré-orifício (DLAD), Leque com indução de ar (RDA) e Duplo leque com indução de ar (RDAD) (Solcera/KGF[®]), todas com abertura do jato de 110° e vazão nominal de 0.1 gal min⁻¹ (0,38 L min⁻¹).

Para a análise da cobertura (%), densidade (gotas cm⁻²) e amplitude relativa (Span) das gotas depositadas no alvo, papéis hidrossensíveis (PHS) foram utilizados. Embora possa apresentar alguma limitação, principalmente em relação às gotas muito pequenas, PHS têm sido amplamente adotados, pois é considerado um bom método para comparação entre tratamentos (OTTO et al., 2015; ZHOU; HE, 2016). Na análise de deposição (μL cm⁻²), foram utilizados alvos artificiais em PVC com dimensões de 2,5 cm x 7,5 cm. Ambos os alvos artificiais foram alocados diretamente sobre as folhas das plantas utilizadas no experimento.

2.3 Desenho experimental

Para comparar a densidade, cobertura e amplitude relativa das gotas depositadas nos papéis hidrossensíveis, foram utilizadas quatro pontas de pulverização e quatro alturas de voo: 1,0; 1,7; 2,3 e 3,0 m (acima do dossel das árvores). O experimento foi conduzido num esquema fatorial 4 x 4 (4 pontas e 4 alturas de voo), no delineamento inteiramente ao acaso com 12 repetições. Antes de efetuar cada tratamento, os papéis hidrossensíveis foram alocados na parte adaxial das folhas das plantas. Para evitar qualquer erro no experimento causado por possível deriva da pulverização, foi utilizada uma zona de segurança composta

por uma linha de árvores entre dois diferentes tratamentos, ou duas árvores, quando dois ou mais tratamentos foram aplicados numa mesma linha. As pulverizações foram realizadas somente com água.

Após a aplicação dos tratamentos, os PHS foram removidos com pinças limpas e guardados separadamente em sacos devidamente etiquetados. Para uma maior segurança das amostras, elas foram armazenadas e transportadas em caixas lacradas até o laboratório de análises. Todos os papéis hidrossensíveis foram analisados no mesmo dia da coleta, evitando-se assim possível alteração na coloração da amostra proveniente da umidade.

Para a análise de deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$) um único modelo de ponta de pulverização foi utilizado (Duplo leque com indução de ar) sendo as aplicações realizadas a uma altura de voo de 3 m acima da copa das plantas, velocidade de voo de 8 km h^{-1} , faixa de aplicação de 4 m e volume de calda de 40 L ha^{-1} . Os alvos artificiais em PVC foram distribuídos nas quatro faces de cada planta, sendo cada face correspondente a uma direção cartesiana (Norte, Sul, Leste e Oeste). Dentro de cada face, os alvos artificiais também foram distribuídos nos três terços das plantas (superior, médio e inferior) e em três profundidades (interno, médio e externo) conforme mostrado na Figura 3.

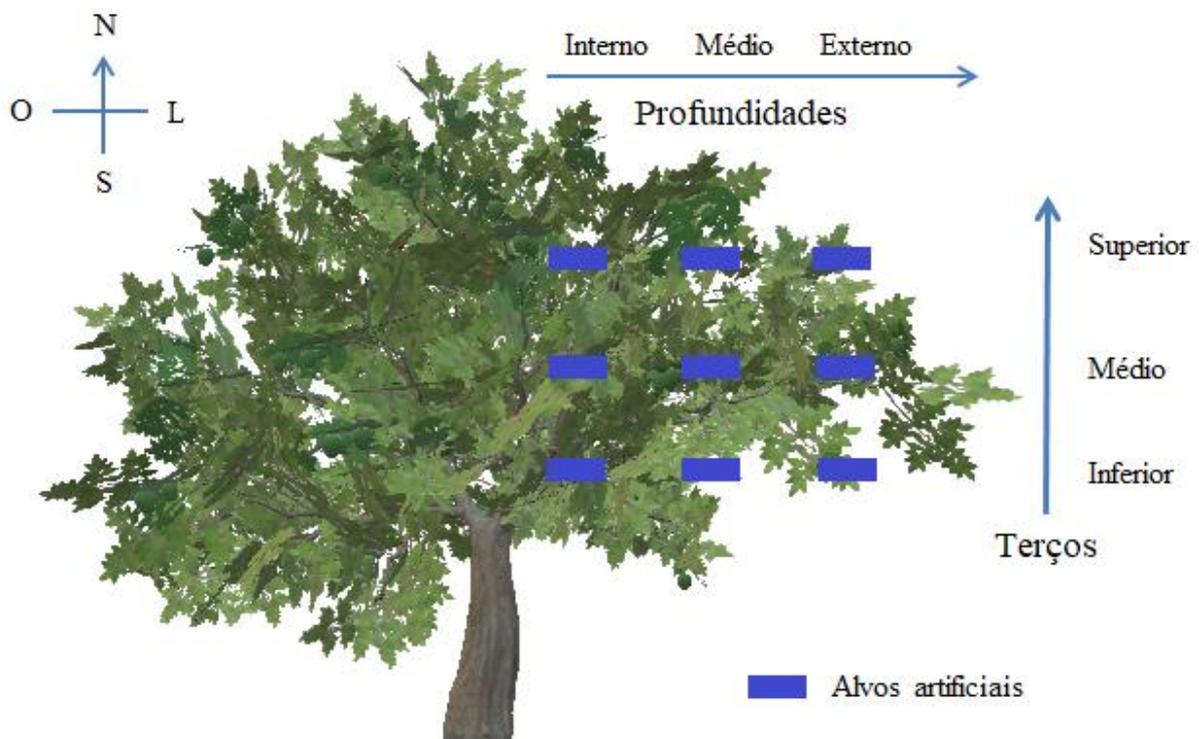


Figura 3. Esquema da disposição dos alvos artificiais na planta de citros.

A análise de deposição foi realizada em esquema de parcela subdividida com cinco repetições. Na parcela consideraram-se as faces da planta, na subparcela os três terços e na subsubparcela as três profundidades. Todas as aplicações foram realizadas no sentido das linhas de plantio. Para a avaliação da deposição foi adicionado à calda, o corante alimentício azul brilhante na concentração de 3 g L^{-1} , conforme descrito por Palladini et al. (2005). Após a aplicação, os alvos artificiais foram removidos e devidamente etiquetados para posterior análise em laboratório utilizando aparelho espectrofotômetro, modelo SP-22 (Biospectro).

2.4 Capacidade operacional

Com o intuito de se comparar a capacidade operacional de dois equipamentos terrestres comumente utilizados para pulverização em citros e um VANT, foram estudados os seguintes pulverizadores: i) pulverizador hidropneumático tratorizado modelo Arbo 480 (Montana Indústria de Máquinas, atual Kuhn) com duas seções do tipo semi-arco, tanque de 400 L e 12 pontas de pulverização (Figura 4A), velocidade de deslocamento de $3,9 \text{ km h}^{-1}$ e volume de aplicação de 650 L ha^{-1} ; ii) pulverizador pneumático costal motorizado modelo UBV-Super (Guarany Indústria e Comércio Ltda.), capacidade do tanque de 18 L (Figura 4B) e volume de aplicação de 300 L ha^{-1} ; iii) VANT pulverizador modelo AGRAS MG-1P (SZ DJI Technology Co., Ltd), velocidade de voo de 8 km h^{-1} e volume de aplicação de 40 L ha^{-1} . Para verificação da velocidade de operação com o pulverizador costal foi monitorado o tempo necessário para pulverizar cada lado de três linhas de cultivo, conforme Sarri et al. (2019). Com a velocidade de deslocamento constante, os pulverizadores terrestres foram utilizados de forma a avançar entre as fileiras das plantas de citros. As pulverizações foram realizadas em toda a área experimental com três repetições para cada pulverizador, sendo o tempo médio utilizado para comparação.



Figura 4. Pulverizador hidropneumático tratorizado (A) e pulverizador pneumático costal (B) utilizados para avaliação da capacidade operacional.

Pesquisas têm considerado diferentes etapas no cálculo da capacidade operacional para os VANTs pulverizadores sendo o abastecimento e reabastecimento de calda, decolagem, pouso e tempo pulverizando, comum em todas elas (KOONDEE et al., 2019; MARTINEZ-GUANter et al.,2020; WANG et al.,2019). Para melhor compreensão do processo, nessa pesquisa também foram consideradas as seguintes etapas para os três pulverizadores estudados: deslocamento do galpão até a área teste (locomoção), preparação do equipamento (montagem do VANT e acoplamento do hidropneumático no trator), planejamento de voo (quando presente), manobras dentro da área do experimento e limpeza do equipamento. Em todos os testes foi considerada a utilização de calda pronta, não sendo contabilizado no cálculo da capacidade operacional. A capacidade operacional (C_o) foi então determinada pela seguinte equação:

$$C_o = \frac{\text{Área trabalhada (ha)}}{\text{tempo (h)}}$$

2.5 Processamento dos dados e análise estatística

Para a leitura dos papéis hidrossensíveis foi utilizado o sistema DropScope (SprayX) composto por microscópio digital e software para processamento e análise das imagens (MORAES et al., 2021). Foram consideradas a densidade de gotas (gotas cm^{-2}), a cobertura (%) e a amplitude relativa (Span). Embora o fator de espalhamento do papel hidrossensível possa afetar os resultados de deposição das gotas no alvo, todos os PHS empregados na pesquisa foram provenientes de uma mesma fabricante, evitando-se o efeito do PHS em uma análise comparativa (TANG et al., 2018). Os dados foram submetidos à análise estatística e as diferenças entre as médias dos tratamentos foram comparadas usando o teste de Tukey em nível de probabilidade $p < 0.05$ (*software* Sisvar). Para análise da capacidade operacional foi utilizada estatística descritiva.

3 Resultados

As condições ambientais foram mensuradas durante todos os tratamentos utilizando um termohigroanemômetro modelo K3000, Nielsen-Kellerman Co. Os valores de temperatura se mantiveram entre 21 e 26 °C, com umidade relativa do ar entre 69 e 73% e velocidade do vento entre 1,5 e 4,5 km h^{-1} .

3.1 Papéis hidrossensíveis

Na análise da cobertura do alvo, densidade de gotas e amplitude relativa, independentemente da significância da interação entre os fatores estudados, optou-se pelo

desdobramento dos tratamentos, conforme o interesse em estudo e por proporcionar resultados importantes do ponto de vista prático, possibilitando assim uma comparação entre todos os tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2. Cobertura do alvo (%), densidade de gotas (gotas cm⁻²) e amplitude relativa (Span) para o desdobramento ponta de pulverização e altura de voo.

Altura de voo (m)	Ponta de pulverização			
	Indução de ar	Indução de ar duplo leque	Pré-orifício	Pré-orifício duplo leque
Cobertura do alvo (%)				
1,0	2,86 Aab	4,52 Aa	1,49 Ab	1,80 Ab
1,7	3,04 Aa	2,00 Ba	1,75 Aa	1,44 Aa
2,3	2,08 ABa	1,41 Ba	1,08 Aa	1,33 Aa
3,0	1,11 Bab	2,72 Ba	0,71 Ab	0,73 Ab
CV (%) = 86,84				
Densidade de gotas (gotas cm ⁻²)				
1,0	18,82 Aab	28,44 Aa	14,71 Ab	22,28 Aab
1,7	18,93 Aa	7,77 Ba	16,80 Aa	15,09 Aa
2,3	10,90 Aa	7,09 Ba	11,92 Aa	11,16 Aa
3,0	5,85 Aa	11,02 Ba	5,74 Aa	8,92 Aa
CV (%) = 94,34				
Amplitude relativa (Span)				
1,0	0,94 Aa	0,93 Aa	0,78 Aa	0,84 Aa
1,7	0,97 Aa	0,66 Bb	0,82 Aab	0,78 Aab
2,3	0,78 ABa	0,57 Ba	0,68 ABa	0,67 Aa
3,0	0,56 Bab	0,78 ABa	0,46 Bb	0,70 Aab
CV (%) = 33,62				

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A ponta de pulverização de indução de ar apresentou maior cobertura do alvo quando se empregou altura de voo de 1,0 e 1,7 m em relação a altura de 3,0 m acima do dossel da planta, enquanto para essa mesma ponta o menor valor de amplitude relativa observado foi relativo à altura de voo de 3,0 m. A ponta de pulverização de indução de ar duplo leque apresentou maior cobertura do alvo e densidade de gotas quando a altura de voo de 1,0 m foi utilizada. Em relação à ponta de pulverização com pré-orifício não foram encontradas diferenças significativas ao se estudar a cobertura do alvo e densidade de gotas para as diferentes alturas de voo. Esses resultados também foram observados para a ponta com pré-orifício duplo leque.

O estudo das pontas de pulverização dentro de cada altura de voo indicou maior cobertura do alvo para a ponta com indução de ar duplo leque em relação às pontas de pré-orifício e pré-orifício duplo leque, nas alturas de voo 1,0 e 3,0 m. Por outro lado, não houve diferença significativa para cobertura entre as pontas de pulverização para as alturas de voo de 1,7 e 2,3 m.

A ponta de pulverização com indução de ar duplo leque também apresentou maior densidade de gotas em comparação a ponta com pré-orifício para a altura de voo de 1,0 m. Dentro das demais alturas de voo estudadas, não houve diferenças significativas entre as pontas de pulverização para a densidade de gotas. Quando se comparou a amplitude relativa das gotas depositadas, menor valor foi verificado para a ponta com pré-orifício em relação a ponta com indução de ar duplo leque para altura de voo de 3,0 m.

3.2 Deposição e penetração da pulverização

Na análise de deposição de calda, não foi verificada interação entre os fatores face, terço e profundidade quando estes foram estudados conjuntamente. Da mesma forma, não houve efeito significativo quando se estudou a interação entre os fatores face e profundidade nem para terço e profundidade (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância dos resultados de deposição de calda.

Fonte de variação	Graus Liberdade	Quadrado Médio	F	Significância
Face	3	0,0069555	0,51	ns
Erro face	16	0,0136343		
Terços	2	0,0060756	5,2	0,0072*
Terço x Face	6	0,0028259	2,42	0,0321*
Erro Terço	32	0,0011687		
Profundidade	2	0,0130554	5,32	0,0064*
Profundidade x Face	6	0,0010283	0,42	ns
Profundidade x Terço	4	0,0014238	0,58	ns
Profundidade x Terço x Face	12	0,0020122	0,82	ns
Erro Profundidade	96	0,0024535		
CV (%) = 27,87				

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. ^{ns} Não significativo.

Por outro lado, foi verificada interação significativa entre os fatores terço e face sendo, nesse caso, realizado o desdobramento para verificar as diferenças entre os tratamentos. Ao se analisar os terços da planta dentro de cada face, foi verificada maior deposição de calda no terço superior para a face norte. Na face oeste, houve maior deposição de calda no terço

superior em comparação ao terço médio. Já para as faces Sul e Leste, não foi encontrada diferença significativa para deposição de calda entre os terços da planta (Tabela 4).

Tabela 4. Deposição da calda em $\mu\text{L cm}^{-2}$ para interação terço e face.

Face	Terço		
	Superior	Médio	Inferior
Norte	0,1857 Aa	0,1475 Ab	0,1445 Ab
Sul	0,1724 Aa	0,1798 Aa	0,1930 Aa
Leste	0,1930 Aa	0,1768 Aa	0,1827 Aa
Oeste	0,2033 Aa	0,1710 Ab	0,1827 Aab

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para se estudar a penetração da pulverização, uma das formas utilizada é por meio da comparação da quantidade de calda depositada nas posições mais externas do dossel das plantas com a deposição verificada nas posições mais internas e inferiores, principalmente para pulverizações aéreas como a realizada por VANTs. Nesse sentido, foi observada maior dificuldade de penetração da calda para o fator profundidade, especialmente para a posição mais interna do que para os terços da planta, uma vez que não foi observada diferença significativa dos terços para duas faces da planta.

No entanto, o fator profundidade apresentou efeito significativo quando foi estudado isoladamente. Houve maior deposição de calda no nível mais externo do dossel da planta de citros em relação ao nível mais interno (Tabela 5). Plantas de citros possuem alta densidade foliar e as próprias folhas podem atuar como barreiras dificultando a penetração da pulverização para as partes mais internas da planta.

Tabela 5. Deposição da calda em $\mu\text{L cm}^{-2}$ para profundidade.

Profundidade	Deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$)
Interno	0,1647 B
Médio	0,1746 AB
Externo	0,1937 A

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.3 Capacidade operacional

A capacidade operacional também é um importante índice de avaliação para a seleção de equipamentos. A média do tempo gasto nas etapas pré-pulverização, durante e pós-pulverização estão descritos na Tabela 6. Maior capacidade operacional foi obtida utilizando-se o VANT pulverizador ($1,05 \text{ ha h}^{-1}$), seguido pelos pulverizadores hidropneumático ($0,69 \text{ ha h}^{-1}$) e pneumático costal ($0,57 \text{ ha h}^{-1}$).

Tabela 6. Todos os procedimentos e tempo de operação.

Procedimentos	Pulverizador		
	VANT	Hidropneumático	Pneumático Costal
Locomoção (s)	120	195	120
Montagem (s)	210	255	-
Mapa de voo (s)	300	-	-
Abastecimento e reabastecimento (s)	130	312	400
Decolagem (s)	30	-	-
Pouso (s)	28	-	-
Pulverização (s)	520	925	2082
Manobras (s)	24	174	43
Limpeza (s)	175	482	202
Total (s)	1537	2343	2847
Área (ha)	0,45	0,45	0,45
Capacidade operacional (ha h^{-1})	1,05	0,69	0,57

A velocidade empregada durante a pulverização e o baixo volume de calda são fatores que favorecem a maior capacidade operacional do VANT em relação aos demais pulverizadores estudados. O tempo gasto na etapa de pulverização foi 77% maior quando foi empregado o pulverizador hidropneumático e 300% maior quando se utilizou o costal pneumático, em relação ao VANT. Além disso, o tempo gasto para o abastecimento e reabastecimento dos equipamentos também foi favorável ao VANT. A etapa que mais prejudicou o desempenho VANT em relação aos demais foi a geração do mapa de voo, principalmente porque é uma etapa ausente quando são utilizados os outros tipos de pulverizadores terrestres.

4 Discussão

4.1 Papéis hidrossensíveis

Os valores médios observados para cobertura do alvo variaram de 0,73 a 4,52%, enquanto os resultados obtidos para a densidade de gotas estiveram compreendidos entre 5,85 e 28,44 gotas cm^{-2} . Em um estudo similar, Tang et al. (2018) avaliando o efeito da altura de voo de um VANT na pulverização em citros verificaram valores médios de densidade de gotas que variaram de 13,20 a 26,73 gotas cm^{-2} . Esses mesmos autores relataram valores médios de cobertura entre 1 e 5,5% corroborando com os resultados encontrados no presente estudo. Por sua vez, Martinez-Guanter et al. (2020) verificaram densidade média de gotas de 20,25 gotas cm^{-2} para a aplicação realizada em um pomar de citros. É importante lembrar que a densidade de gotas e a cobertura do alvo ideal irão depender das características do produto utilizado e da praga que será controlada.

Ao analisar a altura de voo dentro de cada ponta de pulverização foram observados maiores valores de cobertura do alvo e densidade de gotas à altura de voo 1,0 m quando se empregou a ponta de pulverização de indução de ar duplo leque. Vale ressaltar que na prática, menor altura de voo pode implicar em menor segurança para o equipamento, especialmente para cultivos menos homogêneos ou em áreas com relevo acidentado. Para as demais pontas, não houve diferença significativa entre as alturas de voo estudadas, com exceção da ponta de indução de ar que apresentou menor cobertura do alvo para a altura de voo de 3,0 m. Zhang et al. (2016) estudando a altura de voo em citros, verificou uma densidade de gotas que variou de 9,42 a 54,9 gotas cm^{-2} e uma cobertura do alvo de 1,22 a 7,07%. Nesse mesmo estudo, menor densidade de gotas e cobertura do alvo foi obtida na altura de voo de 0,5 m em relação às alturas de voo de 1,0 e 1,5 m. Wang et al. (2020) também relataram maior cobertura do alvo quando foi empregada altura de voo de 1,0 m acima do dossel da planta. Em geral, uma aplicação com maior altura de voo resulta em pulverização com maior potencial de deriva das gotas, enquanto menores alturas de voo (abaixo de 1,0 m) podem gerar uma má deposição das gotas, pois estas são influenciadas pelo forte vento descendente proveniente dos rotores, e isto dificulta a adesão das gotas (TANG et al., 2018; XUE et al., 2014; ZHANG et al., 2016).

Quando se estudou a ponta de pulverização dentro das alturas de voo foi verificada maior densidade de gotas para a ponta com indução de ar duplo leque em relação a ponta com pré-orifício na altura de voo de 1,0 m. Este fato pode estar associado à característica de que as pontas duplo leque tendem a produzir maior quantidade de gotas que uma ponta de mesmo modelo com leque simples. Aliado a isso, as pontas com indução de ar desse estudo produzem gotas de maior diâmetro que as pontas sem essa tecnologia, o que pode ter contribuído para

redução de uma possível deriva. Nessa mesma altura de voo, a ponta com indução de ar duplo leque também apresentou maior cobertura do alvo em relação as pontas com pré-orifício e pré-orifício duplo leque.

Por outro lado, Sarri et al. (2019) estudando a pulverização com VANTs em vinhedos não encontraram diferenças significativas para cobertura total do alvo quando compararam uma ponta leque plano com outra de indução de ar. Chueca et al. (2014) verificaram que a quantidade de produto depositado bem como o padrão de distribuição da pulverização no dossel das plantas de citros foram equivalentes quando utilizaram pontas com indução de ar e pontas do tipo cone. Tais resultados corroboram para a ideia de que as pontas de pulverização com indução de ar duplo leque podem então ser preferidas para esse tipo de aplicação, pois as gotas de maior diâmetro geradas por essas pontas podem trazer benefícios em relação ao menor risco de deriva quando comparadas às pontas sem essa tecnologia.

A ponta com pré-orifício leque simples apresentou menor valor de amplitude relativa das gotas depositadas em relação à ponta com indução de ar duplo leque quando foi empregada maior altura de voo. Em geral, menor valor de amplitude relativa indica maior homogeneidade no diâmetro das gotas, no entanto a análise dessa variável de forma isolada pode gerar um viés equivocado quanto à qualidade da pulverização. Considerando maior risco de deriva nas pulverizações quando a aplicação é realizada com maior altura de voo (TANG et al., 2018; XUE et al., 2014; ZHANG et al., 2016), a ocorrência da deriva tende a impactar mais as gotas menores, gerando nesse caso um depósito de gotas de diâmetros similares, reduzindo-se assim o valor da amplitude relativa.

4.2 Deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$) e penetração da pulverização

Considerando a análise de deposição da calda pulverizada, não foi encontrado efeito significativo entre a interação dos fatores face, terço e profundidade. Também não houve efeito significativo ao se estudar o fator face isoladamente, sendo esse último resultado corroborado pelos estudos de Tang et al. (2018). Por outro lado, foi verificado efeito significativo para a interação entre os fatores face e terço da planta de citros com uma deposição 22,2% maior para o terço superior na face norte em relação ao terço inferior. No entanto, para essa mesma interação, não houve diferença significativa entre o terço superior e o terço inferior para as demais faces estudadas. Outro efeito significativo observado neste estudo foi em relação ao fator profundidade, com maior deposição para aplicação na posição externa em relação à posição interna do dossel.

Segundo Richardson et al. (2020), uma pulverização eficiente requer que o ingrediente ativo seja distribuído uniformemente sobre a área alvo. De acordo com os resultados obtidos, ainda se faz necessário maior atenção para a deposição da aplicação nas partes mais internas da planta sendo esse um fator que ainda deve ser melhorado. Essa análise também é corroborada por Wang et al. (2019) que mencionaram que os VANTs ainda têm muitos problemas quanto à penetração e uniformidade de deposição. Por outro lado, Martinez-Guanter et al. (2020) encontraram boa uniformidade da aplicação para o VANT e ainda relataram que a pulverização realizada com outros tipos de pulverizadores convencionais como hidropneumático, aliado ao alto volume de calda, pode levar ao molhamento excessivo do alvo com possível perda de produto. Essa mesma preocupação foi corroborada por Sarri et al. (2019).

Embora Tang et al. (2018) não tenham avaliado a deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$), eles estudaram a penetração da pulverização e constataram maior densidade de gotas no terço superior das plantas de citros em relação aos terços médio e inferior. No entanto, Zhang et al. (2016) não observaram diferenças significativas entre os terços superior e médio ao analisarem a densidade de gotas e a cobertura do alvo. Em outro estudo, avaliando a penetração da aplicação com quatro diferentes VANTs, a deposição encontrada no terço médio esteve entre 24,1 e 52,1% em relação a deposição encontrada no terço superior, enquanto a deposição no terço inferior variou de 5,2 a 16,4% (WANG et al., 2017).

No presente estudo, a dificuldade de penetração da pulverização esteve mais relacionada à posição interna em relação a mais externa do dossel da planta e não necessariamente do terço inferior da planta em relação ao terço superior, conforme verificado nas faces sul, leste e oeste. Provavelmente, essa dificuldade de penetração da pulverização no dossel da planta se deve ao fato de que a aplicação aérea por VANTs seja realizada de cima para baixo e não tangencialmente ao alvo, sendo então menos efetiva para criar uma difusão de gotas capaz de atingir o terço inferior e as partes mais internas da planta (SARRI et al., 2019). Segundo Tang et al. (2018) a deposição das gotas no terço inferior da planta pode estar relacionada ao formato da árvore, aos parâmetros operacionais da pulverização e ao tipo de ponta utilizada no VANT pulverizador.

4.3 Capacidade operacional

Neste estudo, o VANT pulverizador apresentou maior capacidade operacional em relação ao pulverizador hidropneumático e ao pneumático costal. No entanto, a etapa de pulverização representou 34% do tempo para a realização de todo o processo de pulverização,

considerando desde o deslocamento do VANT a partir galpão de máquinas até a área experimental, e concluindo com a etapa de limpeza.

Dentre as etapas que mais prejudicaram os pulverizadores estão o abastecimento e a limpeza para o pulverizador hidropneumático e o abastecimento, o reabastecimento e o tempo gasto no processo de pulverização para o pneumático costal. Já para o VANT pulverizador, a etapa de geração do mapa de voo reduziu consideravelmente a capacidade operacional. Segundo Koondee et al. (2019) o planejamento de voo é a etapa mais demorada dentre as etapas do processo de pulverização de um VANT, porque os operadores precisam fazer o levantamento das condições do campo bem como ao seu redor, para evitar acidentes causados por colisões com árvores ou com qualquer outro obstáculo. No entanto, estudos já vêm sendo abordados com o intuito de se reduzir o tempo necessário para esse planejamento de voo como a utilização de novas tecnologias incluindo a adoção de algoritmos para planejamento de rota com número mínimo de retornos, conforme Xu et al. (2015).

A capacidade operacional pode ser bastante variável mesmo quando se utiliza um único modelo de VANT pulverizador, pois os parâmetros utilizados na aplicação como velocidade de voo e volume de calda interferem diretamente no processo. Além disso, o formato da área teste também pode ter grande influência. Em um estudo de pulverização com VANT em cana de açúcar foram verificadas capacidades operacionais entre 1,92 e 4,48 ha h⁻¹, sendo o formato do campo o fator mais impactante (KOONDEE; SAENGPRACHATHANARUG; POSOM, 2019). No presente estudo, vale ressaltar que o formato da área, aliado ao grande número de manobras, resultou numa menor capacidade operacional, principalmente do pulverizador hidropneumático tratorizado.

Nos testes realizados, capacidade operacional de 1,05; 0,69 e 0,57 ha h⁻¹ foram encontradas quando foram empregados os pulverizadores do tipo VANT, hidropneumático tratorizado e o costal pneumático, respectivamente. Wang et al. (2019) estudando a capacidade operacional para diferentes pulverizadores, verificaram melhor resultado para o VANT com 4,11 ha h⁻¹, enquanto os pulverizadores autopropelido de barras, hidráulico costal e pneumático costal obtiveram valores de 2,38; 1,57 e 0,21 ha h⁻¹, respectivamente. Martinez-Guanter et al. (2020) ao realizarem uma avaliação econômica da pulverização de um VANT e um pulverizador hidropneumático em pomar, relataram capacidade operacional de 5,4 ha h⁻¹ para o VANT e de 4,8 ha h⁻¹ para o hidropneumático.

Por outro lado, Yallappa et al. (2017) estudando o desempenho de um VANT nos cultivos de arroz e amendoim rasteiro, verificaram capacidade operacional de 1,08 e 1,15 ha h⁻¹, respectivamente, enquanto as eficiências operacionais foram de 60 e 62,84%. Sarri et

al. (2019) comparando a capacidade operacional de três equipamentos: um VANT, um pulverizador de pistola e um pneumático costal em vinhedos, relataram capacidade operacional de 0,28; 0,14 e 0,17 ha h⁻¹ respectivamente, com uma eficiência operacional de 49% para o VANT. Segundo esses mesmos autores, embora o VANT tenha apresentado melhor capacidade operacional, os resultados demonstram com clareza que algumas características devem ser melhoradas na operacionalidade dos VANTs, como o aumento da autonomia de voo e redução do tempo necessário para decolagem e aterrissagem.

5 Conclusão

As pontas de pulverização com indução de ar duplo leque apresentaram melhores resultados de cobertura e densidade de gotas comparadas às pontas sem essa tecnologia.

A altura de voo de 1,0 m acima do dossel das plantas de citros resultou em maior cobertura e densidade de gotas em relação a altura de voo de 3,0 m para a ponta de indução de ar duplo leque.

Maior dificuldade de penetração da pulverização com VANT está relacionada a posição mais interna do dossel da planta de citros em relação a posição mais externa e não em relação aos terços da planta.

O VANT pulverizador apresentou maior capacidade operacional em relação ao hidropneumático tratorizado e ao pneumático costal para o cultivo de citros.

Referências

AHMAD, F. et al. 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, n. December 2019, p. 105350, 2020.

ALI, B. Performance of a hydraulic jet agitation system with different jet nozzle sizes in the sprayer tank. **Scientific Papers-Series A, Agronomy.**, v. 60, p. 449–454, 2017.

BADULES, J. et al. CFD models as a tool to analyze the performance of the hydraulic agitation system of an air-assisted sprayer. **Agronomy**, v. 9, n. 11, 2019.

CHEN, P. et al. Industrial Crops & Products Droplet distributions in cotton harvest aid applications vary with the interactions among the unmanned aerial vehicle spraying parameters. **Industrial Crops & Products**, v. 163, n. January, p. 113324, 2021.

CHUECA, P., MOLTÓ, E., GARCERÁ, C. Estudio sobre la distribución de la pulverización

de las boquillas convencionales y antideriva en los tratamientos de cítricos. **Levante Agrícola**, v. 421, p. 133–137, 2014.

D. YALLAPPA; M. VEERANGOUDA; DEVANAND MASKI; VIJAYAKUMAR PALLED; M. BHEEMANNA. Development and evaluation of drone mounted sprayer for pesticide applications to crops. **2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)**, p. 1–7, 2017.

FAN, S.; ZHANG, Y.; CHEN, L. A Comparative Study on Application of Unmanned Aerial Vehicle Systems in Agriculture. 2021.

GARCERÁ, C. et al. Comparison between standard and drift reducing nozzles for pesticide application in citrus: Part II. Effects on canopy spray distribution, control efficacy of *Aonidiella aurantii* (Maskell), beneficial parasitoids and pesticide residues on fruit. **Crop Protection**, v. 94, p. 83–96, 2017.

GARCÍA-RAMOS, F. J. et al. Application of an acoustic doppler velocimeter to analyse the performance of the hydraulic agitation system of an agricultural sprayer. **Sensors (Switzerland)**, v. 18, n. 11, p. 1–13, 2018.

GILES, D. K.; BILLING, R. C. Deployment and performance of a uav for crop spraying. **Chemical Engineering Transactions**, v. 44, p. 307–312, 2015.

KOONDEE, P.; SAENGPRACHATHANARUG, K.; POSOM, J. Study of field capacity and variables of UAV operation time during spraying hormone fertilizer in sugarcane field Study of field capacity and variables of UAV operation time during spraying hormone fertilizer in sugarcane field. 2019.

LI, X. et al. Evaluation of an unmanned aerial vehicle as a new method of pesticide application for almond crop protection. n. April, 2020.

MARTINEZ-GUANter, J. et al. 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.

MIRANDA, M. P. et al. Spray volumes and frequencies of insecticide applications for suppressing *Diaphorina citri* populations in orchards. **Crop Protection**, v. 140, n. September 2020, p. 105406, 2021.

- MORAES, H. M. F. E. et al. Spray volume, dose and time of day of glyphosate application in the control of *Urochloa brizantha*. **Bioagro**, v. 33, n. 3, p. 151–160, 2021.
- OSÓRIO, R. M. L. et al. Demandas Tecnológicas Da Cadeia Produtiva De Laranja No Brasil. **Latin American Journal of Business Management**, v. 8, n. 2, p. 40–66, 2017.
- OTTO, S. et al. Spray drift reduction techniques for vineyards in fragmented landscapes. **Journal of Environmental Management**, v. 162, p. 290–298, 2015.
- PALLADINI, L. A.; RAETANO, C. G.; VELINI, E. D. Choice of tracers for the evaluation of spray deposits. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 5, p. 440–445, 2005.
- PAN, Z. et al. Droplet distribution and control against citrus Leafminer with Uav spraying. **International Journal of Robotics and Automation**, v. 32, n. 3, p. 299–307, 2017.
- RICHARDSON, B. et al. Swath pattern analysis from a multi-rotor unmanned aerial vehicle configured for pesticide application. **Pest Management Science**, v. 76, n. 4, p. 1282–1290, 2020.
- SARRI, D. et al. Testing a multi-rotor unmanned aerial vehicle for spray application in high slope terraced vineyard on commercial use only. **Journal of Agricultural and Engineering Research**, v. 15, n. 1, p. 1–7, 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, n. January, p. 105961, 2021.
- TANG, Y. et al. 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, n. February, p. 1–7, 2018.
- UCAR, T. et al. Experimental study of jet agitation effects on agrochemical mixing in sprayer tanks. **Journal of Agricultural and Engineering Research**, v. 75, n. 2, p. 195–207, 2000.
- UCAR, T. et al. Simulation of jet agitation in sprayer tanks: Comparison of predicted and measured water velocities. **Transactions of the ASAE**, v. 44, n. 2, p. 223–230, 2001.
- WANG, G. et al. Comparison of spray deposition, control efficacy on wheat aphids and working efficiency in the wheat field of the unmanned aerial vehicle with boom sprayer and two conventional knapsack sprayers. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 9, n. 2, p. 1–16, 2019.

2019.

WANG, K. J. et al. UAV spray technology for the citrus orchard: Taking control of the diaphorina citri and phyllocnistis citrella as examples. **Scientia Agricultura Sinica**, v. 53, n. 17, p. 3509–3517, 2020.

WANG, S. L. et al. Performances evaluation of four typical unmanned aerial vehicles used for pesticide application in China. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 4, p. 22–31, 2017.

XIONGKUI, H. et al. Recent development of unmanned aerial vehicle for plant protection in East Asia. v. 10, n. 3, p. 18–30, 2017.

XU B, CHEN L P, TAN Y, X. M. Path planning based on minimum energy consumption for plant protection on UAVs in sorties. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery**, v. 46, n. 11, p. 36–42, 2015.

XUE, X. Y. et al. Drift and deposition of ultra-low altitude and low volume application in paddy field. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 7, n. 4, p. 23–28, 2014.

ZHANG, P. et al. Effects of citrus tree-shape and spraying height of small unmanned aerial vehicle on droplet distribution. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 9, n. 4, p. 45–52, 2016.

ZHOU, L. P.; HE, Y. Simulation and optimization of multi spray factors in UAV. **2016 American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting, ASABE 2016**, v. 7004, p. 1–8, 2016.

Artigo III - Avaliação da pulverização com VANT na cultura do café

Resumo

Recentemente, o uso de uma nova tecnologia de aplicação cresceu em todo o mundo, a pulverização de pesticidas com o uso de veículos aéreos não tripulados. Neste contexto, objetivou-se estudar diferentes volumes de calda e analisar a deposição e penetração das gotas nos diferentes terços da planta de café utilizando-se um veículo aéreo não tripulado. O experimento foi conduzido em uma lavoura de café arábica, no município de Marechal Floriano – ES, Brasil. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com 8 repetições, em esquema fatorial 3 x 3 contendo três volumes da calda (5; 10 e 15 L ha⁻¹) e três terços da planta (superior, médio e inferior). Uma haste vertical foi utilizada como gabarito e posicionada próxima aos caules das plantas de café. Papéis hidrossensíveis foram alocados juntos ao gabarito, seguindo os três terços das plantas, para análise da densidade de gotas, cobertura do alvo, amplitude relativa e Dv_{0.1}. O volume de calda não influenciou significativamente a porcentagem de cobertura, a amplitude relativa e nem a densidade de gotas depositadas no alvo. Melhor penetração das gotas foi observada quando foi utilizado maior volume de calda. Maior porcentagem de cobertura do alvo foi obtida no terço superior.

Palavras-chave: proteção de cultivos, aplicação aérea, drone, pesticidas

1 Introdução

O café é uma das commodities globais mais negociadas, superada apenas pelo petróleo bruto, gerando em sua cadeia de cultivo, processamento e comercialização, milhões de empregos (OLIVEIRA et al., 2021). No Brasil são cultivadas basicamente duas espécies, *Coffea arabica* Linnaeus e *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (VITÓRIA et al., 2018).

A produção e a qualidade do café são fortemente influenciadas pelo ataque de doenças e pragas e para que o cafeicultor alcance maiores produtividades faz-se necessário a adoção de algumas medidas de manejo, sendo a pulverização uma das mais importantes (DE OLIVEIRA APARECIDO et al., 2020; SANTINATO et al., 2017a). A pulverização na cafeicultura pode ser utilizada para diversas finalidades, como pulverização nutricional com micronutrientes à base de cobre, zinco e boro, ou uma aplicação com produtos fitossanitários para o controle de pragas em geral (MIRANDA et al., 2016). Em cultivos tecnificados e de alto potencial produtivo, o agricultor é cada vez mais exigido do uso adequado e criterioso dos pesticidas, mas o que se vê no campo, principalmente na produção de café, é a falta de informação sobre a tecnologia de aplicação (NETO; DA CUNHA, 2016).

Na tecnologia de aplicação de pesticidas, a qualidade da cobertura do alvo está relacionada, dentre outros fatores, ao diâmetro de gotas e ao volume de calda (VITÓRIA et al., 2018). Para garantir a eficiência destes pesticidas, as gotas contendo o ingrediente ativo devem atingir e aderir à superfície do alvo (CAÇÃO et al., 2019). Os volumes de calda geralmente utilizados nas lavouras de café, podem variar de 400 a 800 L ha⁻¹, atingindo em alguns casos até 1000 L ha⁻¹ (ALVES et al., 2020; MATIELLO et al., 2010), criando uma demanda muito grande e desnecessária de água, além de reduzir consideravelmente a capacidade operacional dos pulverizadores empregados nessa atividade. Outro ponto importante é o desperdício de pesticidas, que pode variar de 15 a 70%, seja por deriva ou por escorrimento pelas folhas (SANTINATO et al., 2017b).

O uso da pulverização com a finalidade de controle fitossanitário depende não somente de produtos de ação comprovada, mas também da tecnologia para sua aplicação, incluindo o desenvolvimento de novos equipamentos ou técnicas que proporcionem um correto alcance do produto até o alvo (FERREIRA; LEITE; LASMAR, 2013). Algumas tecnologias têm sido desenvolvidas, avaliadas e incorporadas à pulverização, visando uma aplicação cada vez mais correta (NETO et al., 2016). A pulverização eletrostática foi estudada na cultura do café como alternativa para aumentar a deposição da calda (SASAKI et al., 2013; VITÓRIA et al., 2018; ZAMPIRÓLI et al., 2021). A determinação do volume de calda mais adequado para pulverização a partir do volume vegetativo das plantas de café também foi testada ao longo dos anos (ALVES et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2021; SANTINATO et al., 2017a). Recentemente, o uso de uma nova tecnologia de aplicação cresceu em todo o mundo, a pulverização de pesticidas com o uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) (CUNHA et al., 2021; MARTINEZ-GUANter et al., 2020).

O conceito de pulverização aérea usando VANT foi inicialmente desenvolvido com base na tecnologia pioneira de helicóptero não tripulado projetado pela Yamaha Corporation (Japão) (GILES; BILLING, 2015; MUHAMMAD et al., 2019). Muitos estudos foram conduzidos recentemente visando compreender os benefícios da pulverização com VANTs em culturas como algodão, arroz, cana-de-açúcar, trigo, abacaxi, e cultivos arbóreos como pêssigo, citros e oliva (MARTINEZ-GUANter et al., 2020; MENG et al., 2020; MUHAMMAD et al., 2019; WANG et al., 2019, 2020; XIN et al., 2018; ZHANG et al., 2020), mas quase nenhuma informação é encontrada sobre a pulverização com VANTs no cafeeiro.

Apesar da rápida expansão da tecnologia, ainda faltam dados de pesquisas principalmente sobre estudos realizados no Brasil, o que dificulta uma análise mais técnica de

sua viabilidade agrônômica, ambiental e econômica (CUNHA et al., 2021). Neste contexto, objetivou-se com este trabalho, avaliar o volume de calda a ser aplicado na cultura do café e analisar a deposição e penetração das gotas nos diferentes terços da planta utilizando-se um veículo aéreo não tripulado.

2 Material e Métodos

2.1 Local do Experimento

O estudo foi desenvolvido em Outubro de 2021, numa propriedade localizada no município de Marechal Floriano – ES, Brasil, nas seguintes coordenadas UTM: latitude 315737,47 m, longitude 7738468,05 m e a uma altitude de 720 metros acima do nível do mar. A área trabalhada foi em uma lavoura de café arábica, cultivar Catuai V. IAC-44, com espaçamento de 2,50 x 0,80 m, conduzidas com 2 hastes por planta, totalmente desenvolvidas e saudáveis.

2.2 VANT pulverizador

Um VANT multirrotor, modelo AGRAS MG-1P (DJI, SZ DJI Technology Co., Ltd.), movido à bateria foi utilizado neste estudo (Figura 1A). O sistema de pulverização desse VANT consiste em um tanque de armazenamento de produtos químicos de 10 L, bomba de água, tubulações de água, bicos de pulverização, válvulas de controle eletrônico e outros componentes. As quatro pontas de pulverização utilizadas neste experimento foram do modelo leque simples, XR110-01 (TeeJet Technologies, Springfield, IL, USA).

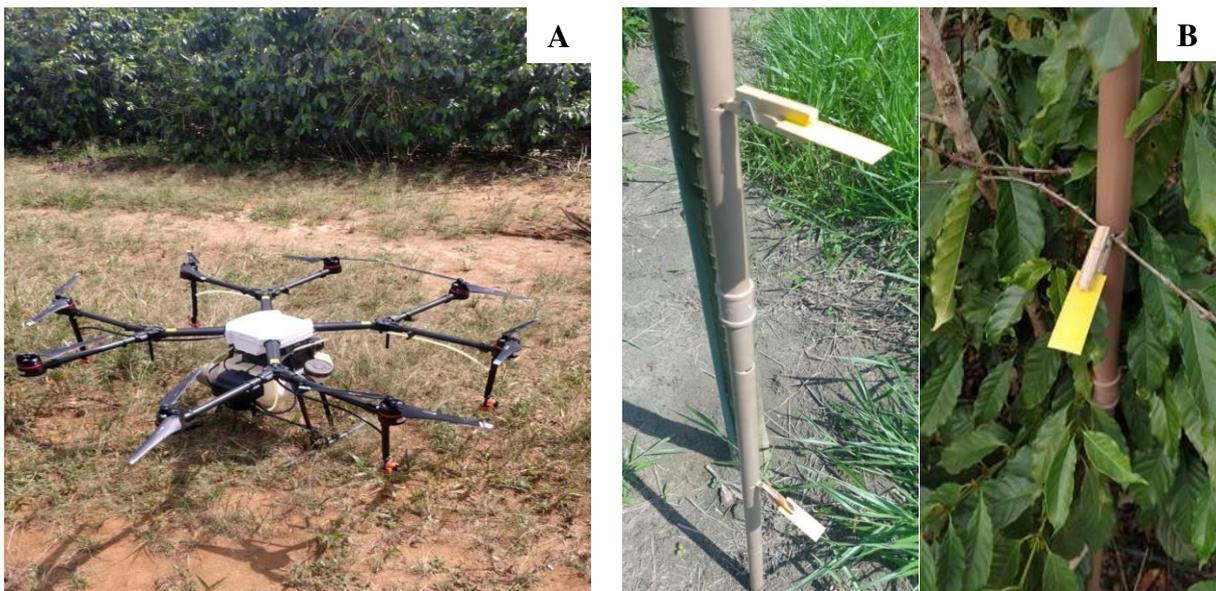


Figura 1: VANT multi-rotor utilizado no experimento (A). Gabarito utilizado para alocação dos papéis hidrossensíveis (B).

2.3 Coleta de gotas

Uma haste vertical com altura de 1,8 m foi utilizada como gabarito (Figura 1B) e posicionada dentro do dossel, próxima aos caules da planta de café. Os papéis hidrossensíveis (PHS) foram alocados juntos à haste, seguindo os três terços das plantas (superior, médio e inferior). Estes foram fixados imediatamente antes da passagem do pulverizador, conforme metodologia descrita por Vitória et. al. (2018). A utilização de papéis hidrossensíveis tem sido amplamente adotada, pois é considerado um bom método quanto ao custo, tempo necessário para processamento e precisão da medição, além de permitir a comparação entre os tratamentos (GARCERÁ et al., 2017; OTTO et al., 2015).

Após a pulverização, os PHS foram recolhidos, etiquetados e acondicionados em sacos de papel, para que não houvesse interferência da umidade, sendo também analisados no mesmo dia. Os papéis hidrossensíveis foram utilizados para a avaliação dos seguintes parâmetros: porcentagem de cobertura do alvo (%), densidade de gotas (gotas cm^{-2}), diâmetro da gota representando 10% do volume pulverizado ($Dv_{0.1}$, μm) e a amplitude relativa (Span) que é a diferença entre os valores de $Dv_{0.9}$ e $Dv_{0.1}$ dividido pelo $Dv_{0.5}$. O $Dv_{0.5}$ e o $Dv_{0.9}$ correspondem, respectivamente, ao diâmetro das gotas representando 50% e 90% do volume pulverizado (CARVALHO et al., 2017).

2.4 Desenho experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com 8 repetições, em esquema fatorial 3 x 3 contendo três volumes da calda (5; 10 e 15 L ha^{-1}) e três terços da planta (superior, médio e inferior). As parcelas experimentais foram constituídas de 7 linhas de plantas de café com 20 m de comprimento. Foram consideradas apenas as 3 linhas centrais, utilizando duas linhas de cada extremidade como bordadura. Para garantir a padronização dos resultados do teste, os modos de operação com VANT foram totalmente autônomos. Para segurança da operação devido ao relevo acidentado da região, manteve-se uma altura de voo de 3,5 m acima da copa das plantas, velocidade de voo de 18 km h^{-1} e uma faixa de aplicação de 5,5 m. As condições ambientais foram monitoradas por um termohigroanemômetro portátil, modelo AK821 (AKSO®), que foi usado para monitorar a umidade do ambiente, temperatura e velocidade do vento. As pulverizações foram realizadas com uma mistura contendo os produtos Alto 100 (750 mL ha^{-1}) + Ochima (400 mL ha^{-1}) e água.

2.5 Análise Estatística

Para a leitura dos papéis hidrossensíveis foi utilizado o sistema DropScope (SprayX[®]) composto por microscópio digital e software para processamento e análise dos papéis hidrossensíveis. Os dados foram submetidos à análise estatística e as diferenças entre as médias dos tratamentos foram comparadas usando o teste de Tukey em nível de probabilidade $p < 0.05$, usando o software SISVAR (FERREIRA, 2011).

3 Resultados

As condições ambientais durante as pulverizações estão descritas na tabela 1.

Tabela 1. Condições ambientais durante as pulverizações:

Data da aplicação (15/10/2021)	Volume de aplicação (L ha ⁻¹)	Temperatura (°C)		Umidade relativa (%)		Velocidade do vento (m s ⁻¹)	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
	5	22,4	24,0	62,0	67,0	0,8	2,1
	10	22,7	24,0	63,0	67,0	0,7	2,2
	15	23,0	24,1	60,0	66,0	1,1	2,7

3.1 Cobertura

Na avaliação da porcentagem de cobertura do alvo, não houve interação entre os fatores testados e não houve efeito significativo do volume de calda. Por outro lado, o terço da planta analisada apresentou efeito significativo sobre a porcentagem de cobertura com maior valor ocorrendo no terço superior da planta quando foram utilizados os volumes de calda de 5 e 15 L ha⁻¹. Os terços médio e inferior não diferiram significativamente entre si (Figura 2).

As médias de cobertura encontradas foram sempre maiores a 1,17% no terço superior, 0,28% no terço médio e 0,30% no terço inferior. Um aspecto importante que ficou evidenciado foi a redução de, aproximadamente, 50% dos valores de cobertura dos terços superior para o médio e deste para o inferior, quando foram empregados os volumes de calda de 10 e 15 L ha⁻¹, indicando haver uma maior complexidade de penetração da pulverização. Um atributo peculiar do cafeeiro que favorece essa dificuldade de penetração é a própria arquitetura do dossel caracterizada pela alta densidade foliar.

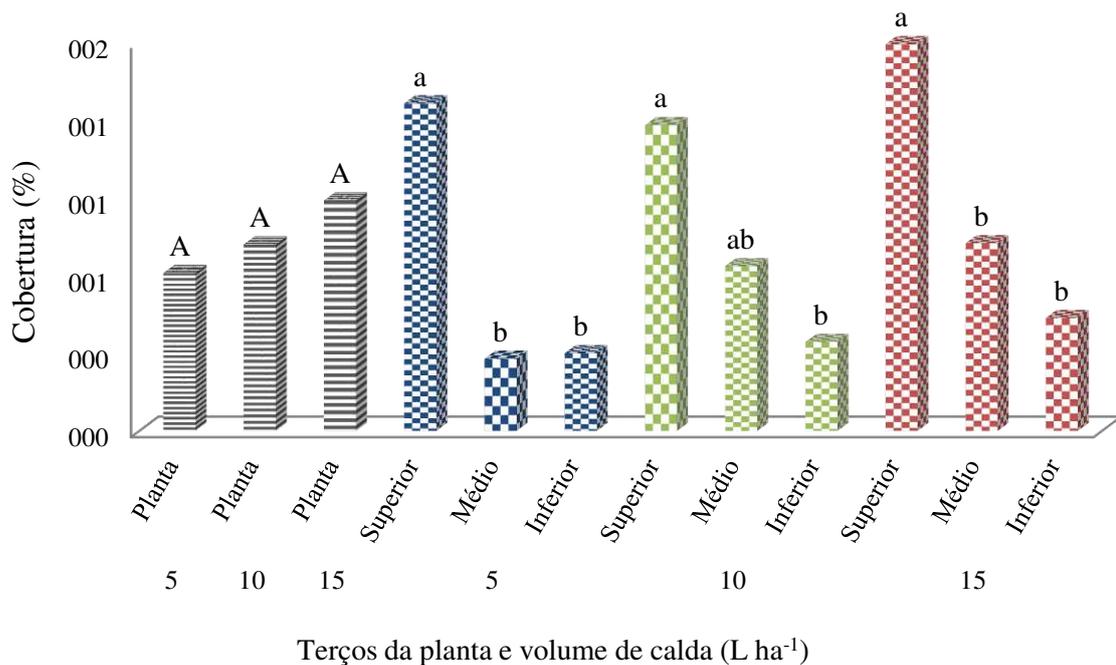


Figura 2. Porcentagem de cobertura do alvo. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para a planta inteira e minúsculas para os terços dentro de cada volume de calda, não diferem estatisticamente ($p > 0.05$).

3.2 Densidade de gotas

A densidade de gotas foi não significativa para os volumes de calda estudados. Os valores médios obtidos por planta foram 9,42; 11,56 e 9,86 gotas cm^{-2} quando foram aplicados os respectivos volumes de 5, 10 e 15 L ha^{-1} . Ao se analisar os depósitos de gotas nos diferentes terços das plantas, foram verificados valores significativamente diferentes, com exceção para o volume de 15 L ha^{-1} (Figura 3).

Maior densidade de gotas foi obtida no terço superior em relação ao terço inferior, quando foram empregados os volumes de calda de 5 e 10 L ha^{-1} . Para essas aplicações, a densidade de gotas encontradas no terço superior representou ao menos o dobro dos depósitos verificados nos terços inferior. Para esses volumes de calda é possível observar que a tecnologia de aplicação utilizando VANT pode encontrar dificuldades quanto a penetração das gotas pulverizadas no terço inferior do cafeeiro. Por outro lado, a aplicação realizada com 15 L ha^{-1} não apresentou diferença estatística para os valores de densidade de gotas nos diferentes terços da planta. Essa melhor distribuição das gotas quando foi empregado o maior volume de calda na pulverização, possibilita considerar esse parâmetro como uma importante alternativa para o manejo de pragas que se estabelecem nos terços médio e inferior das plantas (Figura 4).

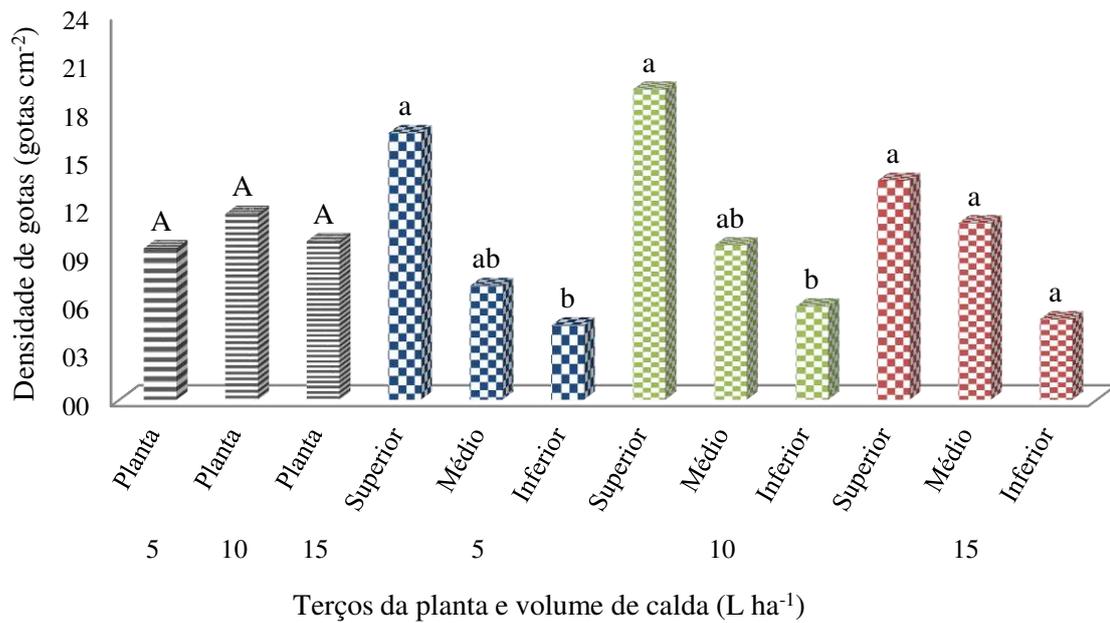


Figura 3. Densidade de gotas depositadas no alvo. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para a planta inteira e minúsculas para os terços dentro de cada volume de calda, não diferem estatisticamente ($p > 0.05$).

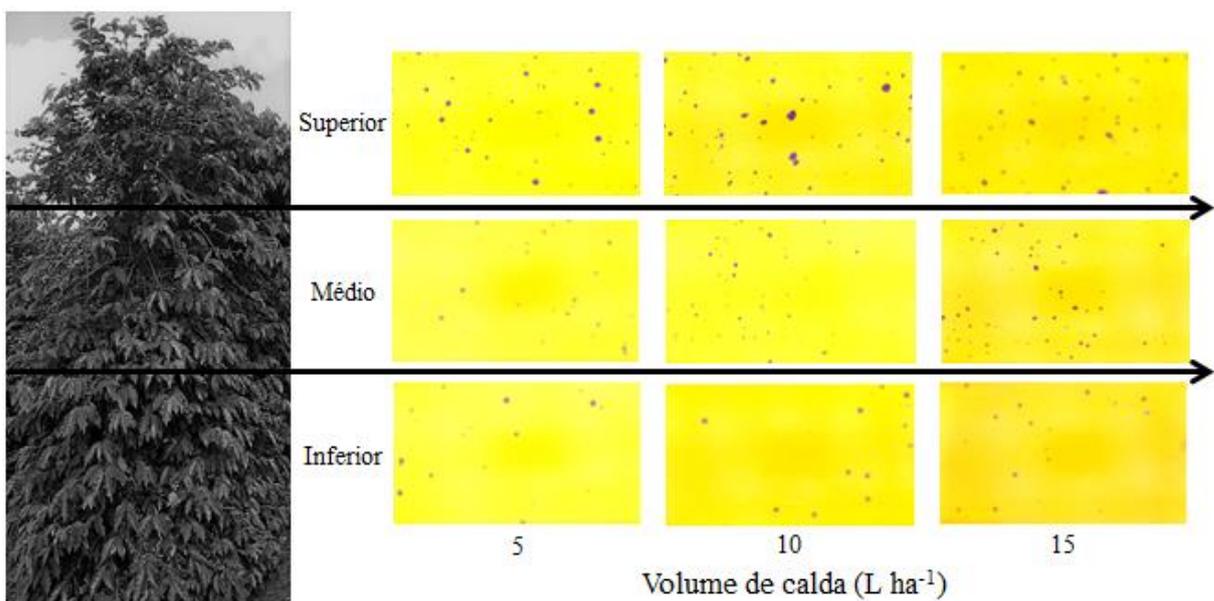


Figura 4. Amostras de papéis hidrossensíveis coletados dos testes nos terços superior, médio e inferior para os volumes de calda de 5; 10 e 15 L ha⁻¹.

3.3 Amplitude Relativa (Span) e $Dv_{0.1}$

A amplitude relativa das gotas depositadas apresentou uma faixa de valores médios compreendidos entre 0,63 e 0,87. O menor valor de Span foi verificado no terço inferior da planta quando foi aplicado um volume de 10 L ha⁻¹ enquanto o valor máximo foi encontrado no terço superior da planta sob o mesmo volume de pulverização. Não houve diferença significativa para o volume de calda, no entanto, os valores de Span para os terços superior e inferior foram estatisticamente distintos para o volume de 10 L ha⁻¹ (Figura 5A).

Os valores médios do parâmetro $Dv_{0.1}$ estão apresentados na Figura 5B. Diferentemente dos outros parâmetros estudados, o $Dv_{0.1}$ foi influenciado pelo volume de calda aplicado, sendo significativamente maior quando foi empregado o volume de 15 L ha⁻¹ em relação a 5 L ha⁻¹. Não houve diferença significativa entre o $Dv_{0.1}$ encontrado para o volume de 10 L ha⁻¹ quando comparado com os demais volumes empregados. Quando o $Dv_{0.1}$ foi analisado nos diferentes terços das plantas para cada volume de calda, não foi verificado diferença significativa, distinguindo-se novamente dos demais parâmetros avaliados. Valores mais altos de $Dv_{0.1}$ (174 μ m) foram observados nos terços superior e inferior quando foi utilizado o volume de calda de 15 L ha⁻¹.

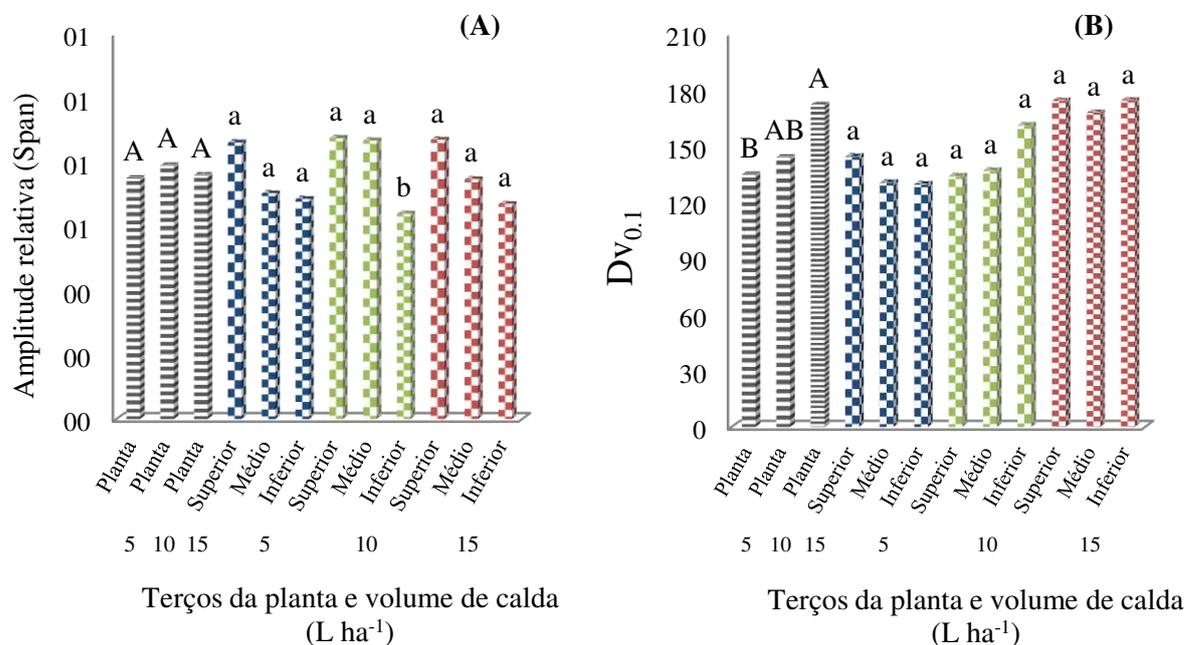


Figura 5. Amplitude relativa (Span) (A) e $Dv_{0.1}$ (B) das gotas depositadas no alvo. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para a planta inteira e minúsculas para os terços dentro de cada volume de calda, não diferem estatisticamente ($p > 0.05$).

4 Discussão

Existem muitos fatores que podem influenciar a cobertura do alvo e consequentemente contribuir no desempenho das aplicações de pesticidas como o tamanho da gota, a estrutura da superfície do alvo, a composição química da solução de pulverização, as condições meteorológicas e o volume de calda (CAÇÃO et al., 2019; FERREIRA et al., 2013; VITÓRIA et al. 2018). Em um estudo realizado sobre a deposição da calda de pulverização em diferentes volumes vegetativos de *Coffea arabica* L. foi verificado que para se duplicar a deposição de calda em plantas de café, é necessário elevar o volume pulverizado em cinco vezes (SANTINATO et al., 2017a). No entanto, no presente estudo não foi encontrado diferenças significativas para a porcentagem de cobertura do alvo nos três volumes de calda avaliados. Os valores médios de cobertura encontrados por planta apresentaram-se compreendidos entre 0,61-0,89%. Quando os terços das plantas foram analisados separadamente, os valores médios de cobertura estiveram compreendidos entre 0,28-1,49%, sendo esses valores corroborados por Wang et al. (2020).

Muitos produtores de café aumentam o volume de calda para proporcionar melhor penetração e deposição dentro do dossel do café, mas essa técnica, especialmente quando utilizada com algum adjuvante, deve ser evitada, pois as perdas por escorrimento podem ser alcançadas mais rapidamente gerando possíveis problemas de contaminação do meio ambiente (CAÇÃO et al., 2019). Alves et al., (2020) e Santinato et al., (2017b) verificaram ser possível reduzir a taxa de aplicação de produtos fitossanitários, sem perdas na deposição e na porcentagem de cobertura para diferentes condições operacionais na cafeicultura. No entanto, no atual estudo, houve diferença significativa para cobertura entre os terços superior e inferior para todos os volumes utilizados.

A densidade de gotas não diferiu estatisticamente entre os volumes de calda utilizados. No entanto, houve diferença significativa quando a densidade de gotas foi estudada nos diferentes terços das plantas, com exceção para 15 L ha⁻¹. Esse resultado mostra-se muito interessante quanto a capacidade de penetração das gotas nos terços médio e inferior quando é empregado maior volume de calda. Segundo Muhammad et al. (2019), o aumento no volume de calda aplicado resulta em uma tendência de incremento na densidade de gotas depositadas no alvo. Wang et al. (2019) relataram que o dossel superior recebe um número muito maior de depósitos de pulverização do que o dossel médio, especialmente para tratamentos com VANT. Nesse mesmo estudo, a quantidade de depósitos variou de 18,4 a 23,5 gotas cm⁻² no terço superior enquanto no terço médio a densidade de gotas variou de 2,8 a 5,0 gotas cm⁻²

sendo esses resultados similares aos verificados no presente estudo. Dependendo dos produtos utilizados, maior densidade de gotas pode ser necessária para se obter a eficácia esperada, especialmente para aqueles classificados como de contato.

Os valores de amplitude relativa não foram influenciados pelo volume de calda, mas houve diferença significativa entre os terços superior e inferior quando foi aplicado o volume de 10 L ha⁻¹. Matthews et al. (2016) descreveram que este coeficiente representa a variação do tamanho das gotas, e quanto maior o seu valor, mais heterogêneas serão as dimensões das gotas. Valores de amplitude relativa próximos de zero implicam em um espectro de gotas mais homogêneo. Nesse aspecto, os valores de Span compreendidos entre 0,63 e 0,87 verificados nesse estudo sugerem um padrão de gotas mais homogêneas. Segundo Dos Reis et al. (2010), para aumentar a qualidade da pulverização, os padrões de gotas aplicados devem ser melhorados, principalmente no que diz respeito à homogeneidade do espectro de gotas. No entanto, os valores de amplitude relativa das gotas depositadas no alvo também estão diretamente relacionados ao tipo de ponta de pulverização, bem como os produtos utilizados e as condições climáticas no momento da aplicação (VIEIRA et al., 2019).

Em relação ao $Dv_{0.1}$ maior valor foi encontrado quando foi empregado o maior volume de calda (15 L ha⁻¹). Para esse mesmo volume de calda, não foi observada diferença significativa entre a densidade de gotas no diferentes terços da planta de café, indicando a ocorrência de melhor penetração das gotas ao longo dos terços da planta. Esses resultados são corroborados por Chen et al. (2020) que verificaram melhores resultados de penetração da aplicação utilizando VANT pulverizador para gotas de maior diâmetro, sendo essa uma potencial alternativa para se melhorar a distribuição das gotas ao longo dos diferentes terços da planta. No entanto, esses mesmos autores reconhecem que diferentes modelos de VANTs podem gerar distintos resultados para a penetração da pulverização.

A real necessidade de se desenvolver uma agricultura mais sustentável se passa pela capacidade de se reduzir os custos de produção e a poluição do ambiente. Essa prática exige a racionalização no uso de pesticidas e isto pode ser conseguido através de tecnologias de aplicação mais eficientes (FERREIRA; LEITE; LASMAR, 2013). A pulverização com VANT nesse estudo permitiu maior penetração das gotas quando foi utilizado o volume de calda de 15 L ha⁻¹. No entanto, alguns controles fitossanitários podem exigir maior densidade de gotas para eficácia do tratamento. Dado a escassa quantidade de trabalhos realizados com VANT na cultura do café, ainda se faz necessário a realização de novos estudos na área.

5 Conclusão

O volume de calda não influenciou significativamente a porcentagem de cobertura, a amplitude relativa e nem a densidade de gotas depositadas no alvo.

Não houve diferença significativa para densidade de gotas verificadas nos diferentes terços da planta para o volume de calda de 15 L ha⁻¹, indicando haver melhor penetração das gotas quando foi utilizado maior volume de calda.

Maior porcentagem de cobertura do alvo foi obtida no terço superior das plantas de café.

Referências

ALVES, T. C. et al. Canopy volume and application rate interaction on spray deposition for different phenological stages of coffee crop. **Coffee Science**, v. 15, n. 1, p. 1–14, 2020.

CAÇÃO, C. E. C. R. et al. Spray retention on coffee leaves associated with type and concentration of adjuvants. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 5, p. 623–629, 2019.

CARVALHO, F. K. et al. Viscosity, surface tension and droplet size of sprays of different formulations of insecticides and fungicides. **Crop Protection**, v. 101, p. 19–23, 2017.

CHEN, S. et al. Effect of droplet size parameters on droplet deposition and drift of aerial spraying by using plant protection UAV. **Agronomy**, v. 10, n. 2, 2020.

CUNHA, J. P. A. R. et al. REVIEW PAPER USE OF REMOTELY PILOTED AIRCRAFTS FOR THE APPLICATION OF PLANT PROTECTION PRODUCTS The use of remotely piloted aircrafts (RPAs) to apply plant protection products has grown a lot in agriculture worldwide . However , little research data are. v. 4430, p. 245–254, 2021.

DE OLIVEIRA APARECIDO, L. E. et al. Machine learning algorithms for forecasting the incidence of Coffea arabica pests and diseases. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, n. 4, p. 671–688, 2020.

DOS REIS, E. F. et al. Qualidade da aplicação aérea líquida com uma aeronave agrícola experimental na cultura da soja (Glycine max l.). **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 5, p. 958–966, 2010.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.

FERREIRA, M. DA C.; LEITE, G. J.; LASMAR, O. Cobertura e depósito de calda fitossanitária em plantas de café pulverizadas com equipamento original e adaptado para plantas altas. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1539–1548, 2013.

GARCERÁ, C. et al. Comparison between standard and drift reducing nozzles for pesticide application in citrus: Part II. Effects on canopy spray distribution, control efficacy of *Aonidiella aurantii* (Maskell), beneficial parasitoids and pesticide residues on fruit. **Crop Protection**, v. 94, p. 83–96, 2017.

GILES, D. K.; BILLING, R. C. Deployment and performance of a uav for crop spraying. **Chemical Engineering Transactions**, v. 44, p. 307–312, 2015.

MARTINEZ-GUANter, J. et al. 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.

MATIELLO, J.B. et al. **Cultura de café no Brasil**: Novo manual de recomendações. Rio de Janeiro e Varginha: MAPA/PROCAFÉ, 2010. 542p.

MENG, Y. et al. Experimental evaluation of UAV spraying for peach trees of different shapes: Effects of operational parameters on droplet distribution. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 170, n. September 2019, p. 1–12, 2020.

MIRANDA, G. R. B. et al. Evaluation the drift using tips of pulverization with backpack manual sprayer in coffee tree. **Coffee Science**, v. 11, n. 3, p. 290–297, 2016.

MUHAMMAD, M. N. et al. Droplet deposition density of organic liquid fertilizer at low altitude UAV aerial spraying in rice cultivation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 167, n. May, 2019.

NETO, J. G. et al. Spray deposition promoted by different sprayers on the mountain coffee crop. **Coffee Science**, v. 11, n. 2, p. 267–275, 2016.

NETO, J. G.; DA CUNHA, J. P. A. R. Spray deposition and chemical control of the coffee leaf-miner with different spray nozzles and auxiliary boom. **Engenharia Agricola**, v. 36, n. 4, p. 656–663, 2016.

OLIVEIRA, M. F. DE et al. Determination of application volume for coffee plantations using artificial neural networks and remote sensing. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.

184, n. September 2020, p. 1–7, 2021.

OTTO, S. et al. Spray drift reduction techniques for vineyards in fragmented landscapes. **Journal of Environmental Management**, v. 162, p. 290–298, 2015.

SANTINATO, F. et al. Deposição da calda de pulverização em diferentes volumes vegetativos de *Coffea arabica* L. **Coffee Science**, v. 12, n. 1, p. 69, 2017a.

SANTINATO, F. et al. Influence of spray volumes, nozzle types and adjuvants on the control of phoma coffee rust. **Coffee Science**, v. 12, n. 4, p. 444, 2017b.

SASAKI, R. S. et al. Deposição e uniformidade de distribuição da calda de aplicação em plantas de café utilizando a pulverização eletrostática. **Ciencia Rural**, v. 43, n. 9, p. 1605–1609, 2013.

VIEIRA, L. C. et al. Interações Entre Adjuvante E Pontas Hidráulicas No Controle Da Deriva De Glifosato. **Energia Na Agricultura**, v. 34, n. 3, p. 331–340, 2019.

VITÓRIA, E. L. et al. Pulverização hidropneumática usando equipamentos com e sem assistência eletrostática em cafeeiro Conilon. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 3, p. 217–228, 2018.

WANG, G. et al. Field evaluation of an unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: effect of spray volume on deposition and the control of pests and disease in wheat. **Pest Management Science**, v. 75, n. 6, p. 1546–1555, 2019.

WANG, J. et al. 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. 1–14, 2020.

XIN, F. et al. Effects of dosage and spraying volume on cotton defoliants efficacy: A case study based on application of unmanned aerial vehicles. **Agronomy**, v. 8, n. 6, 2018.

ZAMPIRÓLI, R. et al. Spray technology for deposition of droplets on coffee leaves and fruits. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 51, p. 1–7, 2021.

ZHANG, X. Q. et al. Effects of Spray Parameters of Drone on the Droplet Deposition in Sugarcane Canopy. **Sugar Tech**, v. 22, n. 4, p. 583–588, 2020.

Artigo IV - Deposição e deriva da pulverização com VANT na cultura do feijão

Resumo

Embora a deposição da aplicação com VANTs possa ser, em alguns casos, considerada satisfatória, a deriva e a segurança da aplicação ainda são considerados importantes problemas na adoção dessa tecnologia. Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar a deposição da aplicação com VANT na cultura do feijão bem como mensurar a quantidade de deriva gerada nas pulverizações. O experimento foi conduzido sob delineamento inteiramente casualizado contendo 12 tratamentos sob quatro velocidades de voo (5; 10; 15 e 20 km h⁻¹) e três volumes de calda (10; 15 e 20 L ha⁻¹). Papéis hidrossensíveis foram utilizados para a análise da cobertura do alvo, densidade de gotas e amplitude relativa. Na deposição, foram utilizados alvos artificiais em PVC com dimensões de 2,5 cm x 7,5 cm. Para verificação da deposição da deriva foram utilizados alvos artificiais em PVC com dimensões de 8 x 8 cm, posicionadas perpendicularmente a direção do voo e no mesmo sentido do vento no momento das aplicações. Tanto a velocidade de voo quanto o volume de calda influenciaram a cobertura do alvo e o Span. Por outro lado, esses mesmos fatores não apresentaram efeito significativo sobre a densidade de gotas nem sobre a deposição. Maiores velocidades de voo resultaram em maior deriva.

Palavras-chave: pulverização aérea, áreas de segurança, cobertura.

1 Introdução

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa de importância socioeconômica e é cultivada em todo o mundo (MESSINA, 2014; VIEGA DE ANDRADE et al., 2020). No Brasil são produzidos cerca de 2,5 milhões de toneladas a cada ano (TEIXEIRA et al., 2019). Assim como ocorre em outros cultivos, sua produção pode ser influenciada por fatores como as condições climáticas e a interferência de insetos, doenças e plantas daninhas. Se não controladas, algumas dessas pragas podem causar reduções de produtividade em até 80% (LIMA et al., 2018; PORTUGAL et al., 2014).

No tratamento das lavouras agrícolas os pesticidas são produtos utilizados no controle das pragas. Se os pesticidas forem aplicados em condições inadequadas pode ocorrer deriva durante a operação (YARPUZ-BOZDOGAN, 2016). A deriva da pulverização é definida como a quantidade de produto que sai da área pulverizada pela ação das correntes de ar durante o processo de aplicação (OTTO et al., 2015).

Os principais fatores que determinam a deriva da pulverização são as condições climáticas (temperatura, umidade, velocidade e direção do vento), o tamanho da gota e parâmetros da aplicação como a altura da barra ou de voo, e a velocidade de deslocamento (FILHO et al., 2020). Se a deriva gerada pela pulverização contiver químicos e for depositada em uma área não-alvo, isso causará danos à água, plantas, humanos e animais (WANG et al., 2018a).

Métodos tradicionais de aplicação de pesticidas como os pulverizadores costais e tratorizados de barra ainda são os mais utilizados pelos agricultores, embora outros métodos tenham sido desenvolvidos durante a última década como os veículos aéreos não tripulados (VANTs). Os tradicionais pulverizadores costais podem ser usados em quase todas as condições, possuem baixo custo de aquisição e de manutenção e são fáceis de operar, no entanto, a velocidade de pulverização é lenta, a eficiência é baixa e seu uso está associado a níveis relativamente altos de exposição do agricultor aos pesticidas (WACHENHEIM; FAN; ZHENG, 2021; YANG et al., 2014). Já os pulverizadores tratorizados de barras podem ocasionar compactações do solo e perdas por amassamento. Esse efeito torna-se mais pronunciado quando se trabalha com cultivares de ciclo mais tardio, podendo haver perdas de 2,5 sacas de feijão por hectare (DE OLIVEIRA et al., 2014).

Por outro lado, a aplicação aérea tem desempenhado um papel importante na promoção da produção agrícola devido à sua flexibilidade e por ser capaz de aplicar produtos agrícolas em grandes áreas dentro de janelas estreitas consideradas ideais para o tratamento fitossanitário (WANG et al., 2018b). A tecnologia de pulverização aérea também reduz os custos de mão de obra e remove o risco de danos físicos às lavouras e ao solo causados pelos rodados de uma máquina terrestre (KIM et al., 2021).

A maioria dos estudos com VANTs pulverizadores estão associados à deposição e distribuição das gotas no alvo e a eficácia de controle de pragas. Chen et al. (2021) estudaram os parâmetros operacionais do VANT visando a melhoria da distribuição das gotas no dossel da cultura do algodão. Gong et al. (2019) compararam a aplicação realizada por bicos hidráulicos e atomizadores rotativos. Li et al. (2019) verificaram as boas práticas para as aplicações com VANTs na cultura do arroz. Martin et al. (2019) avaliaram o efeito da altura de voo e da velocidade de deslocamento no padrão de gotas em pulverizações com veículo aéreo não tripulado. Embora a deposição da aplicação com VANTs possa ser considerada satisfatória, a deriva e a segurança da aplicação ainda são considerados importantes problemas na adoção dessa tecnologia (RICHARDSON et al., 2020; WANG et al., 2018a; ZHOU; HE, 2016).

Devido a escassez de informação e da necessidade de se conhecer melhor a deposição concomitantemente com a deriva gerada na pulverização com VANT, em condições reais de operação a campo, o objetivo deste estudo foi avaliar a deposição da pulverização com VANT na cultura do feijão bem como mensurar a quantidade de deriva gerada sob diferentes velocidades de voo e volumes de calda. Os resultados deste trabalho podem contribuir para o controle da deriva da pulverização no feijão e permitir a seleção de parâmetros mais adequados do VANT.

2 Material e Métodos

2.1 Área experimental

A pesquisa foi realizada durante o mês de junho de 2021, em uma unidade experimental da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, Brasil (latitude 20°44'40.5"S e longitude 42°50'38.5"W) em uma área de 2 hectares com produção de feijão. O espaçamento entre as linhas de cultivo foi de 0,5 m com taxa de semeadura de 12 sementes m⁻¹ de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do tipo carioca e cultivar BRSMG. No dia do experimento, o estágio das plantas foi classificado como R8, com altura aproximada de 0,5 m.

2.2 Materiais

O VANT pulverizador utilizado na pesquisa foi o modelo AGRAS MG-1P (SZ DJI Technology Co., Ltd.) e suas especificações estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Especificações do VANT AGRAS MG-1P utilizado no experimento.

Itens	Especificações
Dimensões (mm)	1460×1460×616
Rotor	8
Velocidade máxima de operação (m s ⁻¹)	7
Capacidade do tanque (L)	10
Quantidade de bicos	2-4
Tipos de pontas utilizadas	Leque com pré-orifício
Peso padrão para decolagem (kg)	23,9
Altura de voo (m)	3
Faixa de aplicação (m)	4-6
Vazão das pontas (L min ⁻¹)	1,2-1,7

A utilização de papéis hidrossensíveis (PHS) para avaliação do espectro de gotas que atingem o alvo tem sido amplamente adotada (GARCERÁ et al., 2017; ZHOU; HE, 2016). Estes são compostos com uma camada de superfície amarela que se torna azul quando entra em contato com a água. Para análise da deposição, alvos artificiais em PVC foram utilizados com o objetivo de recuperar a taxa de aplicação que atingiu determinado ponto, uma vez que estes não absorvem a solução pulverizada no experimento. Foram mensurados os valores da temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento com um termohigroanemômetro, modelo K3000 (Nielsen-Kellerman Co.) ao início e ao término das aplicações.

2.3 Desenho experimental

O experimento foi conduzido sob delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial, contendo 12 tratamentos. Os fatores estudados foram velocidade de voo do VANT (5; 10; 15 e 20 km h⁻¹) e volume de calda (10; 15 e 20 L ha⁻¹). Para a análise da deposição foram realizadas 10 repetições. As aplicações foram realizadas utilizando-se pontas leque com pré-orifício (LAD 110-01, Solcera/KGF[®]).

Papéis hidrossensíveis foram alocados sobre as folhas das plantas de feijão a uma altura de 0,2 m acima do solo, logo antes da pulverização. Em seguida, os PHS foram cuidadosamente removidos com pinças limpas e guardados separadamente em sacos devidamente etiquetados. Para uma maior segurança das amostras, elas foram armazenadas e transportadas em caixas lacradas até o laboratório de análises. Todos os papéis hidrossensíveis foram analisados no mesmo dia da coleta, evitando-se assim possível alteração na coloração da amostra proveniente da umidade. Em estudos agroambientais o uso de PHS é um bom método considerando o custo, tempo necessário para processamento e precisão da medição, pois permite a comparação entre os tratamentos (OTTO et al., 2015).

Na deposição, foram utilizados alvos artificiais em PVC com dimensões de 2,5 cm x 7,5 cm, alocados também sobre as folhas do feijoeiro a uma altura de 0,25 m acima do solo. Após a aplicação, estes foram removidos e devidamente etiquetados para posterior análise em laboratório utilizando aparelho espectrofotômetro, modelo SP-22 (Biospectro).

Para verificação da deposição da deriva foram consideradas as distâncias de -10 m; +3 m; +6 m; +9 m; +15 m e +30 m com três repetições (Figura 1). Para isso, foram utilizados alvos artificiais em PVC, com dimensões de 8 x 8 cm, posicionadas perpendicularmente a direção do voo e no mesmo sentido do vento no momento das aplicações. Os alvos artificiais foram colocados sobre suportes a uma altura de 0,60 m acima do solo, evitando-se assim qualquer interferência das plantas de feijão na deposição da deriva. Para a avaliação dos

depósitos da pulverização e da deriva foi utilizado como marcador o corante alimentício azul brilhante em solução aquosa (3 g L^{-1}), conforme Palladini et al. (2005).

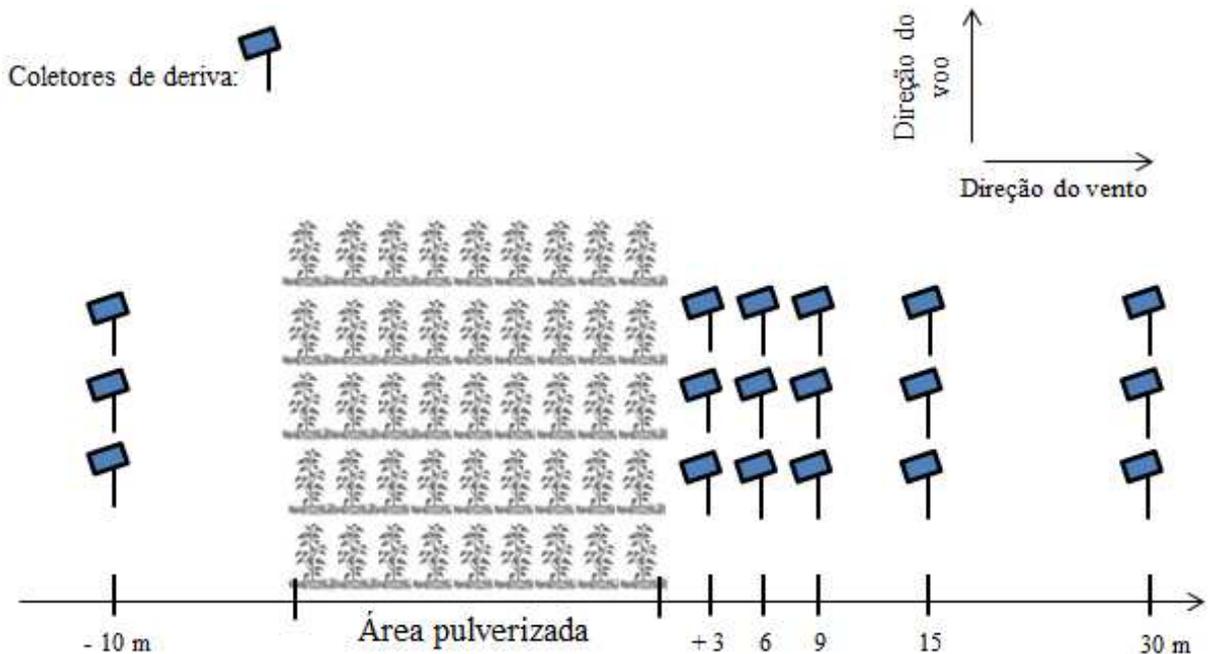


Figura 1. Desenho dos coletores para avaliação da deriva.

2.4 Processamento dos dados e análise estatística

Para a leitura dos papéis hidrossensíveis foi utilizado o sistema DropScope (SprayX[®]) composto por microscópio digital e software para processamento e análise dos papéis (MORAES et al., 2020; VIEIRA et al., 2019). Foram consideradas a densidade de gotas (gotas cm^{-2}), a porcentagem de área coberta (%) e a amplitude relativa (Span). Os dados experimentais foram submetidos à análise de regressão e os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão e no coeficiente de determinação (R^2). Para análise da deriva, foi utilizada estatística descritiva.

3 Resultados

As condições meteorológicas foram mensuradas durante todo o experimento utilizando um termohigroanemômetro, modelo K3000. As condições de temperatura variaram conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2. Condições ambientais durante as pulverizações.

Volume de aplicação (L ha ⁻¹)	Velocidade de voo (km h ⁻¹)	Temperatura (°C)		Umidade relativa (%)		Velocidade do vento (m s ⁻¹)	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
10	5	23,5	23,8	57,8	59,1	1,2	1,8
	10	24,0	24,2	59,0	59,7	1,1	1,7
	15	23,4	24,0	61,0	63,3	1,5	2,1
	20	24,1	24,8	51,0	55,2	1,3	2,9
15	5	23,9	24,4	53,7	56,5	1,6	1,9
	10	24,0	24,5	58,2	58,8	1,4	1,7
	15	23,7	24,0	61,2	62,5	1,3	1,9
	20	24,2	24,8	55,2	57,1	1,6	3,2
20	5	23,8	24,1	59,7	61,0	1,3	1,8
	10	23,4	23,6	61,5	63,2	1,4	2,5
	15	24,2	24,4	57,0	58,2	1,3	2,6
	20	23,6	24,1	59,4	60,3	1,1	2,1

3.1 Cobertura

A velocidade de aplicação e o volume de calda afetaram de forma significativa a cobertura do alvo nas condições avaliadas (Figura 2). Considerando os níveis dos fatores estudados, maior cobertura foi encontrada quando a pulverização foi realizada com velocidade de voo de 5 km h⁻¹ e volume de calda de 15 L ha⁻¹ resultando em uma cobertura de 2,09% do alvo. Houve redução da cobertura ao passo que se aumentou a velocidade de voo, enquanto o volume de calda apresentou efeito quadrático nos resultados. Os níveis 10 e 20 L ha⁻¹ apresentaram redução da cobertura quando comparados ao nível 15 L ha⁻¹.

Esses resultados fortalecem a ideia de que os parâmetros de voo dos VANTs podem interferir na qualidade da aplicação e a redução ou o aumento do volume nas pulverizações, sem serem devidamente estudados, podem culminar com a diminuição da cobertura do alvo e com potencial perda de eficácia no controle das pragas no campo. Da mesma forma, o aumento da velocidade de voo com o objetivo de se aumentar a capacidade operacional pode resultar em redução da porcentagem de cobertura do alvo, o que implicaria numa possível necessidade de novas pulverizações.

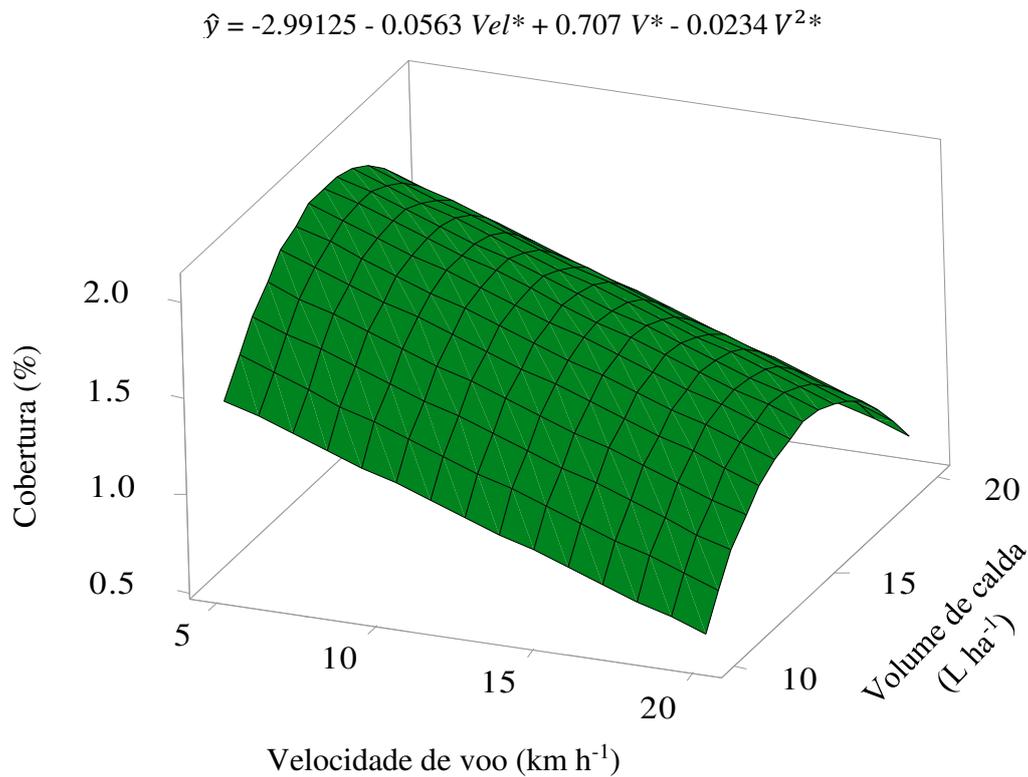


Figura 2. Cobertura (%) do alvo em função da velocidade de voo e do volume de calda. *Vel*: velocidade de voo (km h⁻¹). *V*: volume de calda (L ha⁻¹). *significativo a 5% pelo teste de “t”.

3.2 Amplitude relativa (Span)

Os fatores estudados apresentaram interação significativa nos valores de Span, conforme observado na Figura 3. Esses valores estiveram compreendidos entre uma faixa desde 0,51 a 0,92. Menores valores de Span indicam haver maior uniformidade das gotas depositadas, possibilitando maior nível de padronização na pulverização. Por outro lado, a observação de valores de Span reduzidos não representam necessariamente uma aplicação de qualidade superior uma vez que esses valores também estão diretamente relacionados aos tipos de pontas de pulverização utilizadas na aplicação.

$$\hat{y} = 0,861375 - 0,02527 Vel^{ns} - 0,0009733 Vel^{2*} + 0,01925 V^{ns} - 0,001475 V^{2ns} + 0,002498 VelV^{**}$$

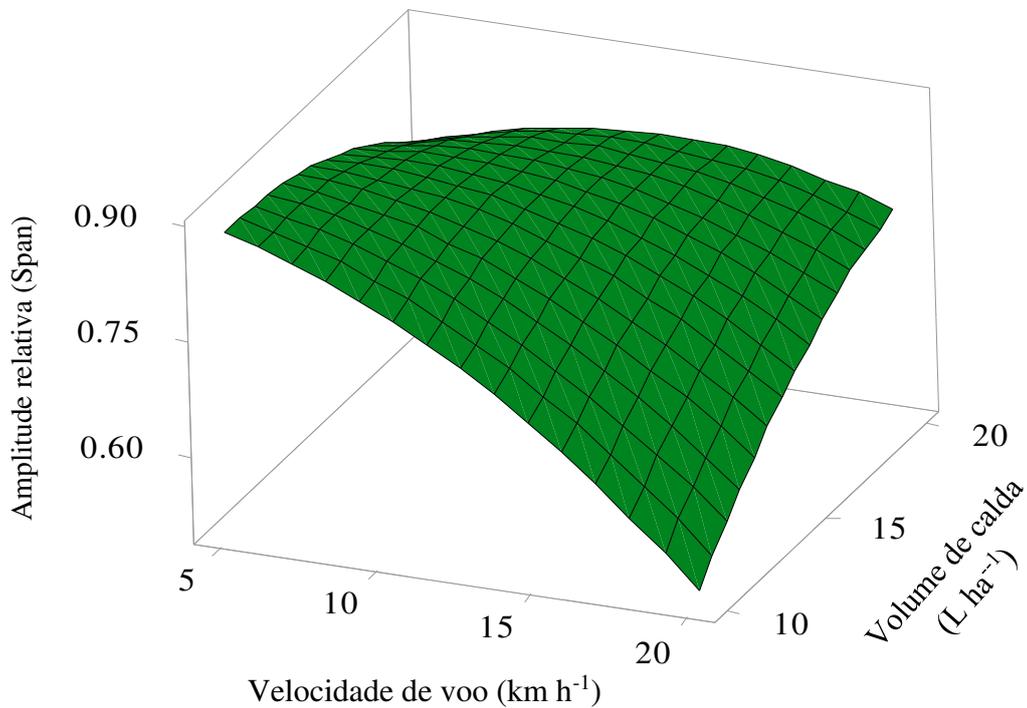


Figura 3. Amplitude relativa (Span) das gotas depositadas no alvo em função da velocidade de voo (*Vel*) e do volume de calda (*V*). **significativo a 1% pelo teste de “t”. * significativo a 5% pelo teste de “t”. ns: não significativo a 5% pelo teste “t”.

3.3 Densidade e deposição

A velocidade de voo e o volume de calda não influenciaram significativamente a densidade de gotas (Figura 4) nem a deposição. Os valores médios de densidade de gotas e de deposição foram 14,6 gotas cm^{-2} e 0,1894 $\mu\text{L cm}^{-2}$, respectivamente. Devido às características técnicas do equipamento utilizado e mantendo os demais parâmetros da aplicação constantes, não foi possível estudar uma velocidade inferior a 5 km h^{-1} nem volume de calda superior a 20 L ha^{-1} . É possível que ao se alterar os parâmetros ou as características da pulverização diferenças significativas possam surgir no estudo dessas variáveis.

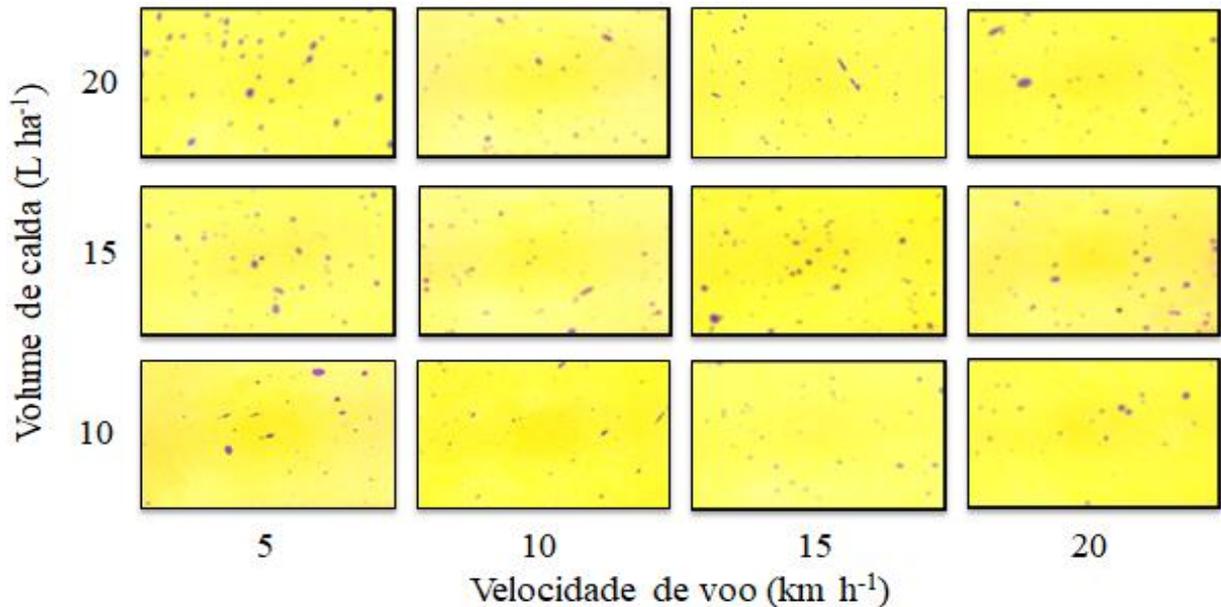


Figura 4: Amostras de papéis hidrossensíveis do experimento em função do volume de calda ($L\ ha^{-1}$) e da velocidade de voo ($km\ h^{-1}$).

3.4 Deriva potencial na pulverização com VANT

Neste experimento, para um volume de calda de $10\ L\ ha^{-1}$ maior porcentagem da deriva foi encontrada para a velocidade de voo de $20\ km\ h^{-1}$ (Figura 5). Por outro lado, para esse mesmo volume de calda e uma velocidade de voo de $5\ km\ h^{-1}$, 85% da deriva gerada esteve presente dentro de uma distância até 10 m da área de pulverização. Vale ressaltar que o estudo em si considerou distâncias até 30 m a favor do vento e é possível que ainda tenha ocorrido deriva para fora dessa faixa.

Para o volume de calda de $15\ L\ ha^{-1}$ menor valor médio de deriva foi encontrado quando se utilizou a velocidade de voo de $10\ km\ h^{-1}$, enquanto, $20\ km\ h^{-1}$ resultou em maior deriva. Quando se aplicou um volume de calda de $20\ L\ ha^{-1}$ as porcentagens de deriva encontrada para as velocidade de voo de 15 e $20\ km\ h^{-1}$, à distância de 30 m a favor do vento, foram respectivamente 4,5 e 5,9%, indicando haver valores consideráveis de deriva nessas condições de aplicação. De uma forma geral, a velocidade de voo de $20\ km\ h^{-1}$ resultou em maiores porcentagens de deriva, condicionando assim, o aumento de velocidade de voo a um maior risco de deriva nas aplicações utilizando VANTs.

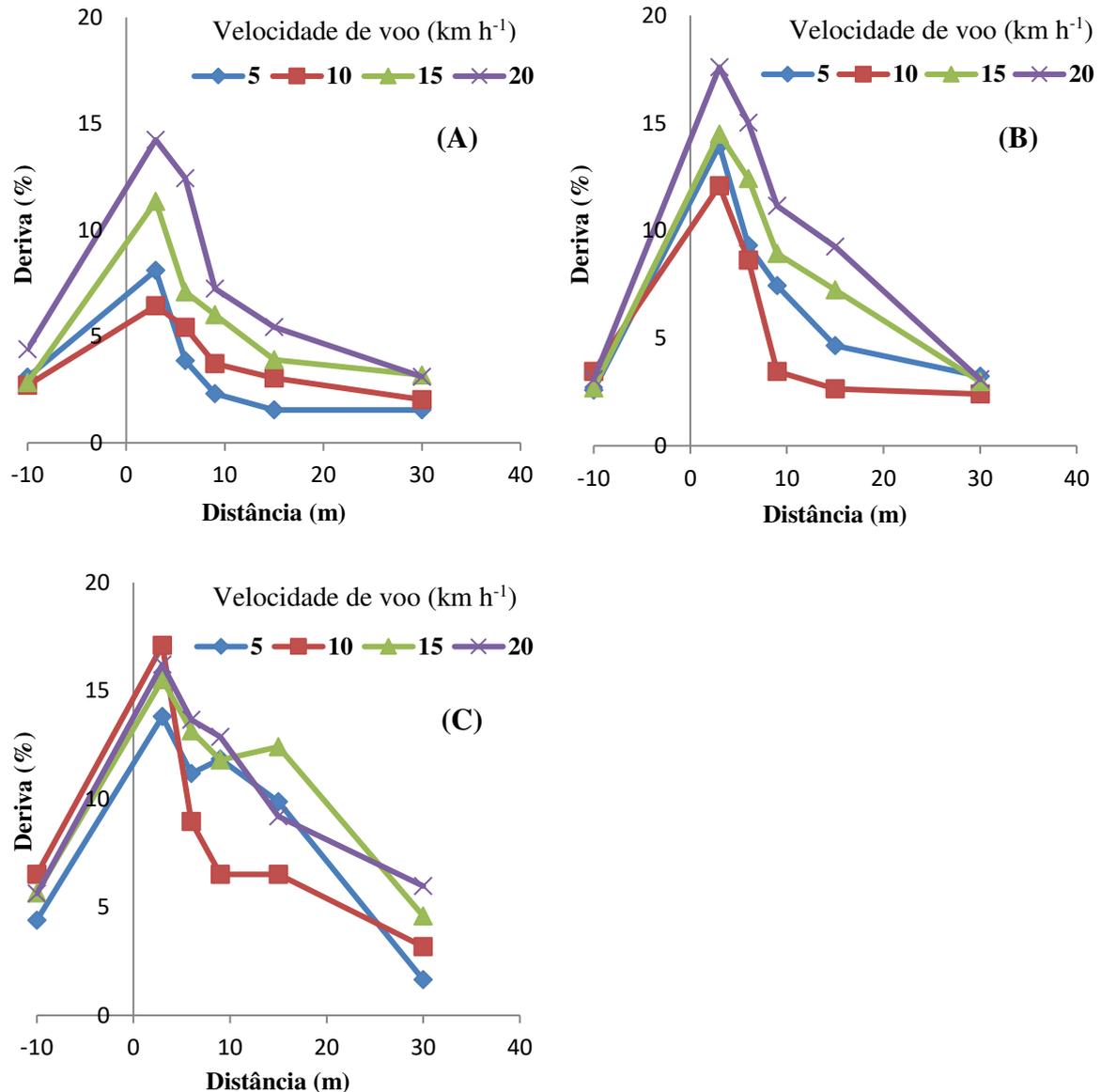


Figura 5. Deriva gerada nas pulverizações para os volumes de calda de 10 L ha⁻¹ (A); 15 L ha⁻¹ (B) e 20 L ha⁻¹ (C).

4 Discussão

Os resultados mostraram que a deposição da pulverização no alvo foi não significativa em relação à velocidade de voo e ao volume de calda empregado. Nesse caso, o menor volume de calda, poderia aumentar a capacidade operacional da aplicação. Chen et al. (2020) avaliando diferentes pontas e adjuvantes utilizando um VANT encontraram valores de deposição que variaram de 0,08 a 0,41 $\mu\text{L cm}^{-2}$ na cultura do arroz. A deposição média encontrada neste estudo de 0,1894 $\mu\text{L cm}^{-2}$, pode estar associada a arquitetura do feijão que é mais complexa, devida sua densidade foliar.

A densidade de gotas também não foi influenciada pelos fatores estudados, apresentando um valor médio de 14,6 gotas cm^{-2} . Tal valor também se enquadra dentro de

uma faixa de resultados observada em outras pesquisas como 2,0 a 11,3 gotas cm^{-2} na cultura do algodão, 7,3 a 35,4 gotas cm^{-2} na cultura do arroz e média de 13,9 gotas cm^{-2} em citros (CHEN et al., 2020; LOU et al., 2018; MARTINEZ-GUANter et al., 2020). Wang et al., 2017 estudando o desempenho de quatro diferentes tipos de VANTs na cultura do trigo encontraram valores que variaram de 1,9 a 109,5 gotas cm^{-2} . Essa alta variabilidade dos valores para densidade de gotas, sempre esteve presente nos estudos que abrangem a avaliação da pulverização. Wang et al., 2020 estudando o efeito do volume de calda sobre a deposição e o controle de pragas e doenças no trigo encontraram, em média, 22,8 e 4,0 gotas cm^{-2} depositadas, respectivamente, no terços superior e médio do dossel. Segundo esses mesmos autores, esses resultados foram satisfatórios para o controle quando foi utilizado produto sistêmico.

Ao se analisar os valores de Span, resultados mais próximos de zero puderam ser observados quando foram empregados o volume de calda de 10 L ha^{-1} e velocidade de voo de 20 km h^{-1} . Os valores compreendidos entre 0,51 a 0,92 são similares a faixa de valores de Span de 0,70 a 1,03 obtidos por Ahmad et al. (2020) e de 0,32 a 0,97 verificados por Cao et al. (2021). No entanto, as observações relacionadas ao Span quando realizadas isoladamente podem gerar a equivocada ideia de que as escolhas desses níveis para os respectivos fatores resultariam em uma aplicação com qualidade superior. Por isso, faz-se necessário ressaltar a importância de se considerar também a deposição da pulverização no alvo e a deriva gerada nas aplicações de acordo com cada tratamento, para finalmente pensar em se adotar aqueles parâmetros mais adequados para o processo de tratamento das lavouras.

Em relação à cobertura do alvo, efeito significativo da velocidade de voo e do volume de calda foi observado. O aumento da velocidade implicou em redução da cobertura enquanto o volume de calda teve efeito quadrático, observando-se melhores valores quando foi utilizado 15 L ha^{-1} . Ou seja, o aumento do volume de calda de 10 para 15 L ha^{-1} resultou em maior cobertura do alvo, enquanto a alteração do volume de 15 para 20 L ha^{-1} gerou redução da cobertura. Esse comportamento pode ter ocorrido devido às características técnicas do equipamento e pelos parâmetros empregados durante os testes, já que a aplicação de 20 L ha^{-1} só foi possível quando todos os 4 bicos de pulverização estavam operando. Esses resultados indicam que os parâmetros utilizados na aplicação com VANTs podem influenciar a cobertura de diferentes formas. Em geral, o volume de calda tende a causar efeito significativo sobre a cobertura do alvo (CHEN et al., 2021; XIAO et al., 2020), no entanto, dada as características dos diversos modelos de VANTs disponíveis no mercado, os resultados podem não seguir o mesmo padrão.

Embora a determinação da deriva da pulverização usando pulverizadores terrestres tenha sido extensivamente estudada em vários testes de campo, a literatura técnica sobre o desempenho das aplicações aéreas em relação à deriva ainda é limitada (WANG et al., 2018b). No presente estudo, o aumento da velocidade de voo apresentou resultados equivalentes ou maiores para deriva quando comparados a velocidades inferiores. De acordo com Richardson et al. (2020), as velocidades críticas variam com a configuração do VANT e está relacionada com o efeito *outwash* do rotor que pode arrastar a pulverização para cima, aumentando a deriva além da faixa pretendida. No modelo de VANT utilizado, as velocidade de voo de 5 e 10 km h⁻¹ permitiram realizar pulverizações mais seguras quanto ao risco de deriva. Xue et al. (2014), estudando a deriva e a deposição gerada em aplicações de baixo e ultra baixo volume por um veículo aéreo não tripulado na cultura do arroz relataram que 90% da deriva gerada foi depositada dentro de um intervalo de até 8 m da área alvo. Por outro lado, estudos utilizando VANTs na pulverização, apontaram valores de deriva variando entre 20 a 26% do total aplicado (WANG et al., 2018a; 2018b). Vale ressaltar que a deriva gerada nas pulverizações com VANTs ainda carecem de mais estudos, principalmente no Brasil.

Hoje em dia, é necessário pensar em um equilíbrio entre pulverizações altamente eficientes, mas que tenha ao mesmo tempo risco reduzido de deriva (XIAO et al., 2019). Em muitos casos, a falta de conhecimento técnico sobre a tecnologia de aplicação resulta no uso indiscriminado de produtos, causando problemas de fitotoxicidade e contaminação ambiental, principalmente devido à deriva da pulverização (BUENO; CUNHA; DE SANTANA, 2017). Áreas de segurança (*Buffer zones*) podem ser definidas como a distância mínima necessária entre a última faixa de aplicação e as áreas ou organismos não alvos como florestas, animais, organismos aquáticos, abelhas e etc. A determinação dessas áreas de segurança são cada vez mais necessárias, porém essas dependem de vários fatores como o tamanho de gota empregada na aplicação, as condições ambientais, os métodos de pulverização e produtos utilizados (YARPUZ-BOZDOGAN, 2016; YARPUZ-BOZDOGAN; BOZDOGAN, 2009), bem como os parâmetros da pulverização como velocidade de voo e volume de calda. Wang et al. (2018) citam outros fatores que também podem ocasionar a deriva numa pulverização, dentre eles incluem o nível de habilidade do operador e seu senso de responsabilidade. Essa informação fortalece a importância do conhecimento e realça a necessidade de treinamento contínuo dos operadores, pois estes também são responsáveis pelas qualidades da aplicação no campo. Além disso, novos estudos ainda são necessários para melhor compreensão dos potenciais riscos de deriva na pulverização com VANTs.

5 Conclusão

Os resultados deste estudo descrevem os efeitos da velocidade de voo e do volume de calda nas características da deposição da pulverização e da deriva gerada por um veículo aéreo não tripulado na cultura do feijão. Tanto a velocidade de voo quanto o volume de calda influenciaram significativamente a cobertura do alvo e o Span das gotas. Por outro lado, esses mesmos fatores não apresentaram efeito significativo sobre a densidade de gotas nem sobre a deposição. Maiores velocidades de voo resultaram em maior deriva.

Referências

- AHMAD, F. et al. 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, n. December 2019, p. 105350, 2020.
- BUENO, M. R.; CUNHA, J. P. A. R. D.; DE SANTANA, D. G. Assessment of spray drift from pesticide applications in soybean crops. **Biosystems Engineering**, v. 154, p. 35–45, 2017.
- CAO, Y. et al. Effects of plant protection UAV-based spraying on the vertical distribution of droplet deposition on japonica rice plants in Northeast China. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 14, n. 5, p. 27–34, 2021.
- CHEN, P. et al. Droplet deposition and control of planthoppers of different nozzles in two-stage rice with a quadrotor unmanned aerial vehicle. **Agronomy**, v. 10, n. 2, 2020.
- CHEN, P. et al. Industrial Crops & Products Droplet distributions in cotton harvest aid applications vary with the interactions among the unmanned aerial vehicle spraying parameters. **Industrial Crops & Products**, v. 163, n. January, p. 113324, 2021.
- DE OLIVEIRA, S. et al. Kneading during crop management: Effect on yield and quality of soybean seeds [Amassamento durante o manejo do cultivo: Efeito no rendimento e na qualidade de sementes de soja]. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 4, p. 1059–1069, 2014.
- FILHO, F. H. I. et al. Drones: Innovative technology for use in precision pest management. **Journal of Economic Entomology**, v. 113, n. 1, p. 1–25, 2020.
- GARCERÁ, C. et al. Comparison between standard and drift reducing nozzles for pesticide application in citrus: Part II. Effects on canopy spray distribution, control efficacy of *Aonidiella aurantii* (Maskell), beneficial parasitoids and pesticide residues on fruit. **Crop**

Protection, v. 94, p. 83–96, 2017.

GONG, J.; FAN, W.; PENG, J. Application analysis of hydraulic nozzle and rotary atomization sprayer on plant protection UAV. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 2, n. 1, p. 26–30, 2019.

KIM, S. K. et al. Nozzle with a feedback channel for agricultural drones. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 11, n. 5, p. 1–14, 2021.

LI, X. et al. Best management practices for unmanned aerial vehicles (UAVs) application of insecticide products on rice. **2019 ASABE Annual International Meeting**, p. 1–8, 2019.

LIMA, G. R. et al. Photosynthetic Potential and Productivity of Common Beans under Herbicide Effect. **Planta Daninha**, v. 36, n. 0, p. 1–10, 2018.

LOU, Z. et al. Effect of unmanned aerial vehicle flight height on droplet distribution, drift and control of cotton aphids and spider mites. **Agronomy**, v. 8, n. 9, 2018.

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. 1–21, 2019.

MARTINEZ-GUANTER, J. et al. 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.

MESSINA, V. Nutritional and health benefits of dried beans. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 100, n. SUPPL. 1, 2014.

MORAES, H. M. F. E et al. Influence of Time of Glyphosate Application in the Control of Brachiaria. **Revista Engenharia Na Agricultura - Reveng**, v. 28, p. 405–414, 2020.

OTTO, S. et al. Spray drift reduction techniques for vineyards in fragmented landscapes. **Journal of Environmental Management**, v. 162, p. 290 298-298, 2015.

PALLADINI, L. A.; RAETANO, C. G.; VELINI, E. D. Choice of tracers for the evaluation of spray deposits. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 5, p. 440–445, 2005.

PORTUGAL, J.; ALVES, P. L. C. A.; LEMOS, L. B. Comparação entre métodos para determinar o período anterior à interferência de plantas daninhas em feijoeiros com distintos

tipos de hábitos de crescimento. **Planta Daninha**, v. 32, n. 4, p. 719–726, 2014.

RICHARDSON, B. et al. Swath pattern analysis from a multi-rotor unmanned aerial vehicle configured for pesticide application. **Pest Management Science**, v. 76, n. 4, p. 1282–1290, 2020.

TEIXEIRA, P. H. et al. Management of white mold in common bean using partial resistance and fungicide applications. **Crop Protection**, v. 124, n. June, 2019.

VIEGA DE ANDRADE, E. K. et al. Identification, biochemical characterization and biological role of defense proteins from common bean genotypes seeds in response to *Callosobruchus maculatus* infestation. **Journal of Stored Products Research**, v. 87, 2020.

VIEIRA, L. C. et al. Interações Entre Adjuvante E Pontas Hidráulicas No Controle Da Deriva De Glifosato. **Energia Na Agricultura**, v. 34, n. 3, p. 331–340, 2019.

WACHENHEIM, C.; FAN, L.; ZHENG, S. Adoption of unmanned aerial vehicles for pesticide application: Role of social network, resource endowment, and perceptions. **Technology in Society**, v. 64, n. August 2020, p. 101470, 2021.

WANG, G. et al. Field evaluation of spray drift and environmental impact using an agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer. **Science of the Total Environment**, v. 737, p. 139793, 2020.

WANG, J. et al. Drift and deposition of pesticide applied by UAV on pineapple plants under different meteorological conditions. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 11, n. 6, p. 5–12, 2018a.

WANG, S. L. et al. Performances evaluation of four typical unmanned aerial vehicles used for pesticide application in China. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 4, p. 22–31, 2017.

WANG, X. et al. Drift potential of UAV with adjuvants in aerial applications. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 11, n. 5, p. 54–58, 2018b.

XIAO, Q. et al. Effect of aviation spray adjuvants on defoliant droplet deposition and cotton defoliation efficacy sprayed by unmanned aerial vehicles. **Agronomy**, v. 9, n. 5, 2019.

XIAO, Q. et al. 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, 2020.

XUE, X. Y. et al. Drift and deposition of ultra-low altitude and low volume application in paddy field. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 7, n. 4, p. 23–28, 2014.

YANG, X. et al. Farmer and retailer knowledge and awareness of the risks from pesticide use: A case study in the Wei River catchment, China. **Science of the Total Environment**, v. 497–498, p. 172–179, 2014.

YARPUZ-BOZDOGAN, N. Assessment of buffer zone for aquatic organisms in pesticide application. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 9, n. 5, p. 227–234, 2016.

YARPUZ-BOZDOGAN, N.; BOZDOGAN, A. M. Assessment of dermal bystander exposure in pesticide applications using different types of nozzles. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 7, n. 2, p. 678–682, 2009.

ZHOU, L. P.; HE, Y. Simulation and optimization of multi spray factors in UAV. **2016 American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting, ASABE 2016**, v. 7004, p. 1–8, 2016.

Considerações Finais

Os resultados obtidos nessa pesquisa permitiram compreender as transformações das aplicabilidades do VANTs nos últimos anos nos setores da agricultura, pecuária e silvicultura. Dentro desse tema, EUA e China foram responsáveis por mais de 38% das publicações encontradas na plataforma Scopus entre os anos 2000-2020, sendo este resultado um alerta para a necessidade de maior difusão desta tecnologia. Foi possível perceber também que os estudos com VANTs na agricultura e na silvicultura são mais comuns que na pecuária.

Com o intuito de se conhecer melhor o potencial de utilização de VANTs na pulverização agrícola, foram realizados experimentos na cultura de citros, café e feijão. O enfoque holístico conduzido nesse trabalho abordou diferentes parâmetros operacionais como a altura de voo, volume de calda, velocidade de voo e diferentes pontas de pulverização. Foram verificadas a densidade de gotas, cobertura do alvo, dados de penetração no dossel das plantas, deposição, deriva e a capacidade operacional, a fim de fornecer informações importantes e aplicáveis na prática com o intuito de favorecer a tomada de decisão no campo pelos agricultores e operadores de VANT.

Pontas com indução de ar apresentaram melhores resultados de cobertura e densidade de gotas comparadas às pontas sem essa tecnologia. O VANT pulverizador apresentou maior capacidade operacional em relação ao hidropneumático tratorizado e ao pneumático costal na cultura do citros. Na cultura do café e na cultura do citros, não houve diferença significativa para densidade de gotas nos três terços da planta para pulverizações com pelo menos 15 L ha⁻¹. A velocidade de voo e volume de calda influenciaram significativamente a cobertura do alvo na cultura do feijão, enquanto maiores velocidades de voo proporcionaram maior deriva.