

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

GUSTAVO HENRIQUE HERVAL MATOS

**UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE CALDA APLICADA VIA AERONAVE
REMOTAMENTE PILOTADA**

UBERLÂNDIA, MG

2023

GUSTAVO HENRIQUE HERVAL MATOS

**UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE CALDA VIA AERONAVE
REMOTAMENTE PILOTADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. João Paulo A. R. da Cunha

UBERLÂNDIA, MG

2023

AGRADECIMENTOS

Venho, por meio deste breve texto, agradecer a todos que participaram efetivamente em minha vida pessoal e acadêmica e que, de alguma forma, me ajudaram chegar até este momento, o qual concede fim à um período da minha jornada e início de mais uma longa estrada.

Quero agradecer, de forma especial, meus pais que nunca mediram esforços para realizar meus sonhos e me ajudar na minha formação e educação. Agradeço, também, aos meus avós e minha namorada, pois foram fundamentais me dando confiança e apoio nessa etapa da minha vida.

RESUMO

MATOS, Gustavo Henrique Herval. **Uniformidade de distribuição de calda via aeronave remotamente pilotada**. 2023. 19 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

A tecnologia de aplicação de agroquímicos é um importante fator para garantir altas produtividades. Um dos grandes desafios enfrentados pelos produtores é a suscetibilidade das plantas a várias pragas e doenças, fazendo necessário com frequência o controle fitossanitário por meio da aplicação de defensivos agrícolas. No entanto, essa operação muitas vezes é complexa, pois algumas áreas estão em terrenos declivosos e irregulares, fato que dificulta os tratamentos mecanizados. Sendo assim, uma opção para os produtores é a utilização de aeronaves remotamente pilotadas. O presente trabalho teve como objetivo analisar a uniformidade de distribuição de calda pulverizada utilizando uma aeronave remotamente pilotada (“RPA”), empregando a altura de voo de 2,5 m e a ponta de pulverização de jato plano XR 11001. O trabalho foi conduzido em superfície plana pavimentada em área experimental da Universidade Federal de Uberlândia. A aeronave utilizada foi um octocóptero DJI AGRAS MG-1P. A calda foi composta por água com adição do traçador Azul Brillhante, à concentração de 50.000 mg L⁻¹, para ser detectado por espectrofotometria, após extração de Placas de Petri depositadas ao nível do solo. Foram realizados dois ensaios: um de medição da faixa ideal de trabalho, considerando uma única passada da aeronave, e outro de uniformidade da aplicação, considerando aplicação em área total, ambos com 3 repetições. De acordo com os resultados, a RPA deve operar com largura de trabalho inferior a 6,5m, de forma a propiciar uma distribuição homogênea. A uniformidade de distribuição volumétrica, tanto no sentido longitudinal como transversal ao voo, foi considerada satisfatória, mostrando a viabilidade técnica da pulverização com RPA, desde que respeitada às condições adequadas de voo.

Palavras-chave: RPA. aplicação de calda. drone. agricultura.

ABSTRACT

MATOS, Gustavo Henrique Herval. **Uniformity of spray distribution via remotely piloted aircraft**. 2023. 19 p. Course Completion Work (Graduation in Agronomy) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia, 2023.

Agrochemical application technology is an important factor in ensuring high productivity. One of the biggest challenges faced by producers is the susceptibility of plants to various pests and diseases, making phytosanitary control often necessary through the application of agricultural pesticides. However, this operation is often complex, as some areas are on steep and irregular terrain, which makes mechanized operations difficult. Therefore, one option for producers is the use of remotely piloted aircraft. The present work aimed to analyze the uniformity of distribution of sprayed solution using a remotely piloted aircraft (“drone”), using a flight height of 2,5m and the XR 11001 flat jet spray tip asphalted flat in an experimental area at the Federal University of Uberlândia. The aircraft used was a DJI AGRAS MG-1P octocopter. The mixture was composed of water with the addition of the tracer Brilliant Blue, at a concentration of 50,000 mg L⁻¹, to be detected by spectrophotometry, after extraction from Petri dishes deposited at ground level. Two tests were carried out: one to measure the ideal working range, considering a single pass of the aircraft and another to measure application uniformity, considering application over a total area, both with 3 repetitions. According to the results, the RPA must operate with a working width of less than 6,5m, in order to provide a homogeneous distribution. The uniformity of volumetric distribution, both longitudinally and transversally to the flight, was considered satisfactory, showing the technical feasibility of spraying with RPA, as long as adequate flight conditions are respected.

Key words: RPA. application of spray solution. drone. agriculture.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	MATERIAL E MÉTODOS	9
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4	CONCLUSÕES	17
	REFERÊNCIAS	18

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPAs), também conhecidas como drones, tem se tornado cada vez mais comum em diversas áreas, desde a indústria cinematográfica até a agricultura. Essas aeronaves não tripuladas, inicialmente desenvolvidas para fins militares, têm encontrado aplicação em uma variedade de setores, graças ao seu potencial para coletar dados de forma eficiente, realizar inspeções detalhadas e automatizar tarefas que seriam demoradas ou perigosas para os seres humanos. A agricultura é uma das áreas que mais tem se beneficiado das tecnologias de RPAs. Com o uso dessas aeronaves, é possível coletar informações sobre o estado das lavouras, identificar problemas de forma precoce, otimizar a aplicação de insumos agrícolas e, conseqüentemente, melhorar a eficiência da produção agrícola.

O Brasil é um país que se encontra como um dos maiores produtores mundiais na agricultura. No entanto, toda essa produção está ameaçada por fatores como insetos e doenças. Nesse contexto, a tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários assume um papel muito importante, devido à necessidade de controle desses fatores bióticos. Entre os principais componentes da tecnologia de aplicação estão as pontas de pulverização, que são responsáveis por quebrar o líquido em gotas, distribuir as gotas e controlar o fluxo (NEGRISOLI, 2018).

A pulverização agrícola é um método eficaz para controle de pragas e doenças, nas mais variadas áreas de uma cultura. Essa técnica realiza a proteção em escala, permitindo assim, o aumento da produtividade e a segurança da matéria-prima. A pulverização serve para eliminar e controlar plantas invasoras e prevenir doenças que possam interferir na qualidade da colheita.

A uniformidade da cobertura e a penetração da calda no dossel estão intimamente relacionadas à qualidade da pulverização e são um dos principais fatores que interferem no controle eficaz dos problemas de pragas e doenças. Existe um modelo de ponta de pulverização para cada situação específica no campo dependendo do destino da aplicação e da necessidade de cobertura na área, levando também em consideração o tamanho e a densidade das gotas bem como a classe e modo de atuação do produto fitossanitário, perdas por deriva e volume de calda utilizado (BOLLER; RAETANO, 2011).

A taxa de aplicação ou volume de calda é outro fator referente à tecnologia de aplicação ainda muito discutido, e depende do produto fitossanitário a ser utilizado e do alvo biológico da aplicação. Representa a quantidade em volume que será pulverizada por unidade de área.

Nesse contexto, o setor agropecuário está em constante evolução e, atualmente, na era da agricultura 4.0, tem-se desenvolvido uma maior automatização de ferramentas e o uso de tecnologias digitais para aumentar a produtividade (SILVA NETO; SASAKI; ALVARENGA, 2021). Essas ferramentas e tecnologias incluem o uso de RPA para pulverização de produtos fitossanitários (MARTIN; WOLDT; LATHEEF, 2019).

Ferramentas importantes na pulverização e no monitoramento das lavouras, as RPAs garantem rapidez e precisão nas operações agrícolas. Há também uma grande economia de água para a cobertura da área. Uma das principais características desse tipo de aplicação é a redução da taxa de aplicação, o que aumenta a autonomia e capacidade operacional do equipamento, sendo assim, a tecnologia de aplicação usada no campo precisa ser melhorada. Chen *et al.* (2020) discutem a necessidade de mais pesquisas sobre proteção de plantas com RPA, principalmente devido ao declínio nas taxas de aplicação incluindo outras questões. As dificuldades estão principalmente relacionadas à boa cobertura de alvos. Além disso, o orifício da ponta é reduzido para obter uma taxa de aplicação menor, ao mesmo tempo em que se aumenta a cobertura, aumentando assim o risco de deriva, reduzindo o tamanho das gotas produzidas. Em geral, gotas menores são biologicamente mais ativas, mas pouco seguras na questão ambiental (CHEN *et al.*, 2018).

Sendo assim, faz-se necessários estudos que aliem novas tecnologias de aplicação e uma deposição de calda com qualidade, a fim de fornecer dados e auxiliar na utilização de RPAs, comprovando sua eficácia e praticidade. Atendendo as melhores condições operacionais nas aplicações de produtos fitossanitários.

Um aspecto crucial nesse contexto é a determinação da faixa ideal de trabalho, que corresponde à largura em que a aplicação de insumos é mais homogênea e, portanto, eficaz e econômica. Neste trabalho, abordou-se a utilização de RPAs como uma ferramenta fundamental na agricultura, estudando-se a qualidade de aplicação de calda. Desta forma, este experimento objetivou analisar a uniformidade de distribuição de calda pulverizada utilizando uma aeronave remotamente pilotada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na fazenda experimental do Campus Glória, pertencente a Universidade Federal de Uberlândia, com coordenadas geográficas 18°57'45,0"S de latitude e 48°12'18,8"W de longitude, e altitude aproximada de 863 m. O clima da região foi classificado como Aw, pelo Sistema de Köppen (KÖPPEN, 1948), podendo ser definido como tropical úmido com inverno seco.

Os ensaios foram realizados em uma área pavimentada de topografia plana. Foram utilizadas Placas de Petri (Figura 1), com a área previamente conhecida, como coletores da calda pulverizada.



Figura 1: Placas de Petri, usada como coletores.

Fonte: Autoria própria, Gustavo Henrique Herval Matos (2023).

Foram realizados dois ensaios: um de medição da faixa ideal de trabalho e outro de uniformidade da aplicação, ambos com 3 repetições. O primeiro ensaio contou com dez Placas de Petri com espaçamento de 1 m entre elas, formando uma fileira com 10 m, perpendicular ao sentido de deslocamento do voo (Figura 2). A RPA fez uma única passada entre os coletores cinco e seis, de forma centralizada, onde cinco coletores ficaram a direita e cinco coletores ficaram para esquerda da linha de voo da RPA. Já o segundo ensaio contou com Placas de Petri distribuídas com espaçamento de 1 m de largura e 3 m de comprimento (Figura 3). A RPA fez três passadas com largura entre elas de 4 m, sendo a área avaliada referente apenas à passada central.

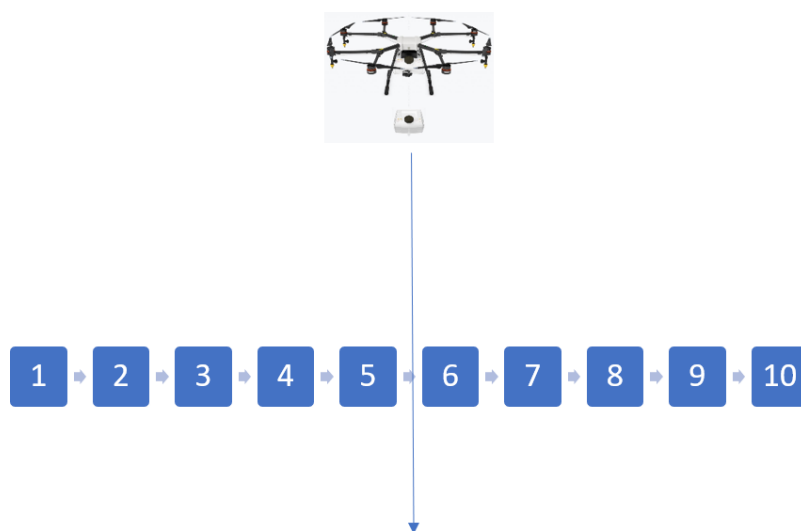


Figura 2: Distribuição das Placas de Petri no Ensaio 1.
 Fonte: Autoria própria, Gustavo Henrique Herval Matos (2023).

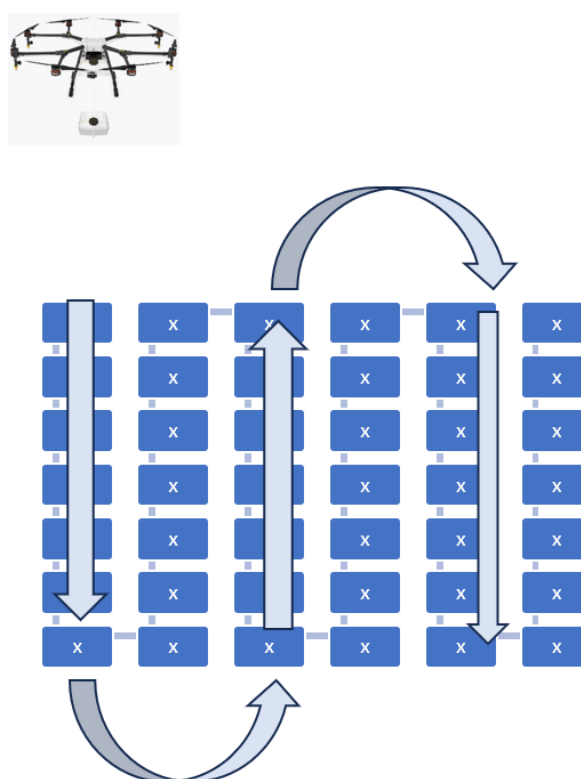


Figura 3: Distribuição das Placas de Petri no Ensaio 2.
 Nota: As setas representam as linhas e sentido de voo. As marcações com "x" se referem aos locais onde os coletores foram dispostos.
 Fonte: Autoria própria, Gustavo Henrique Herval Matos (2023).

Para as aplicações foi utilizada uma aeronave remotamente pilotada DJI AGRAS MG-1P (dji.com/br/mg-1p), com depósito de calda de 10 L, 4 pontas de pulverização e 8 motores (130 rpm/volts) (Figura 4). A altura das pontas de pulverização foi de 2,5 m em relação ao solo. A taxa de aplicação e a velocidade de deslocamento foram de 10 L ha⁻¹ e 13,5 km h⁻¹, respectivamente. Foi utilizada na pesquisa a ponta de jato plano padrão XR 11001 (Teejet, EUA) (Figura 5), com espectro de gotas finas a muito finas dependendo da pressão de trabalho (essas são as pontas que vêm originalmente de fábrica com o equipamento), espectro de gota informados pelo catálogo do fabricante.



Figura 4: Aeronave remotamente pilotada DJI AGRAS MG-1P.
Fonte: Autoria própria, Gustavo Henrique Herval Matos (2023).



Figura 5: Ponta de pulverização utilizada (XR 11001).
Fonte: Autoria própria, Gustavo Henrique Herval Matos (2023).

Durante as aplicações, foram monitoradas as condições de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, utilizando um termo-higro-anemômetro digital (Akron, São Leopoldo, RS, Brasil) (Figura 6). A temperatura variou de 29 a 30°C, a umidade relativa de 49% a 52% e a velocidade do vento de 2,6 a 4,8 km h⁻¹.



Figura 6: Termo-higro-anemômetro digital.
Fonte: Aatoria própria, Gustavo Henrique Herval Matos (2023).

Para o preparo da calda de pulverização, adicionou-se em água um traçador composto do corante alimentício Azul Brilhante, catalogado internacionalmente pela “Food, Drug & Cosmetic” como FD&C Blue n.1, à concentração de 50.000 mg L^{-1} , para ser detectado por absorvância em espectrofotometria.

Após a aplicação, foram coletadas as placas e foram, então, acondicionadas em recipientes providos de isolamento térmico e luminoso para o transporte até o Laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Federal de Uberlândia (Uberlândia, Minas Gerais, Brasil), local onde foram realizadas as análises de deposição.

Em laboratório, para a extração do traçador, adicionou-se 30 mL de água destilada em cada Placa de Petri. Em seguida, após a homogeneização, a solução foi transferida para copos plásticos, os quais foram separados e identificados de acordo com a posição da amostra em campo, para posterior leitura de absorvância no espectrofotômetro.

Através da curva de calibração, originada por meio de soluções-padrão do traçador e dos dados de absorvância, obtidos no espectrofotômetro (Figura 7), os dados foram transformados em concentração ($\mu\text{g L}^{-1}$). De posse da concentração inicial da calda e do volume de diluição das amostras, determinou-se o volume de calda retido por unidade de área (cm^3).



Figura 7: Espectrofotômetro empregado para determinação da deposição de calda.
Fonte: Autoria própria, Gustavo Henrique Herval Matos (2023).

No ensaio 1, os dados coletados foram submetidos ao cálculo de média, e estes foram avaliados usando a plataforma Adulança 3.0, desenvolvido pela Esalq-SP em 2009 (COELHO *et al.*, 2009). Por meio do software, foram simuladas as sobreposições da pulverização para cálculo do coeficiente de variação de deposição em função da largura da faixa de deposição, considerando voo alternado direito e esquerdo. Foi considerado o coeficiente de variação máximo admitido de 20% para determinação da largura máxima de trabalho, de modo a ter uma faixa de deposição com qualidade (CARVALHO; CUNHA, 2019).

No ensaio 2, para efeito do cálculo do coeficiente de variação da deposição de calda ao longo da área aplicada, foi considerada uma largura de 2,0 m e 15 m de comprimento no centro da área. O restante foi considerado bordadura. Após elaboração do gráfico de superfície de resposta, foi calculado o coeficiente de variação, tanto no sentido longitudinal quanto transversal, utilizado o software Excel[®].

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro ensaio, analisando-se a deposição de calda, nota-se que houve um menor volume nas extremidades da faixa total (Figura 8). Na altura de 2,5 m, somente a faixa central de aplicação teve uma efetiva taxa de deposição de calda. Isso mostra que a faixa ideal de trabalho é menor do que faixa total de deposição e localizada ao centro da passada da aeronave.

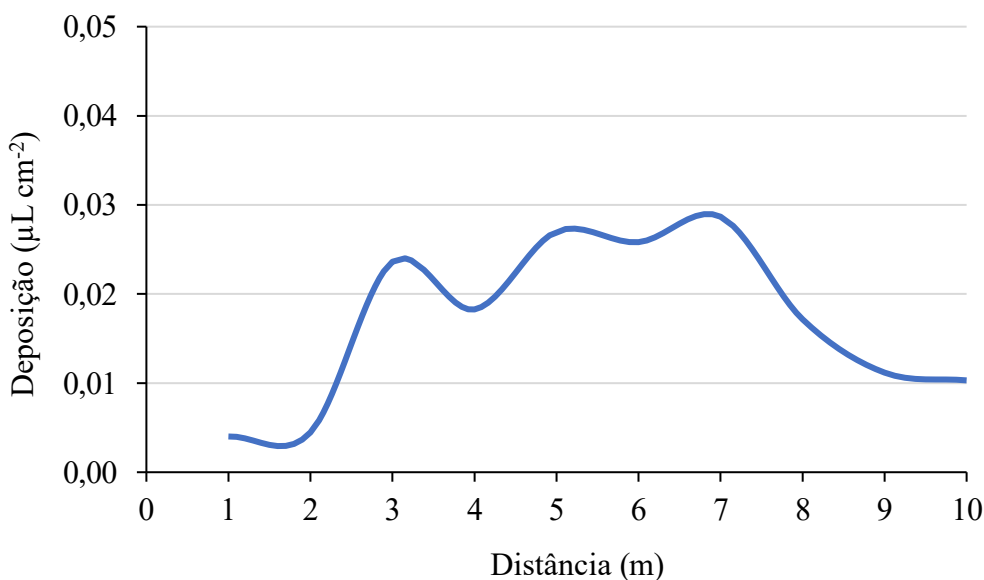


Figura 8: Faixa de deposição total após aplicação com RPA, voando a 2,5 m de altura.
Fonte: Autoria própria, Gustavo Henrique Herval Matos (2023).

A partir dos dados fornecidos pela plataforma Adulção, tem-se os valores de coeficiente de variação, cpodem ser visualizadas na Figura 9. Os dados consideram uma possível manobra para o lado direito ou lado esquerdo após a finalização de uma linha de trabalho.

Valores de coeficiente de variação acima de 20% considera-se que a deposição apresentará heterogeneidade na distribuição de calda na área aplicada, e nesse caso, a qualidade da aplicação ficaria comprometida.

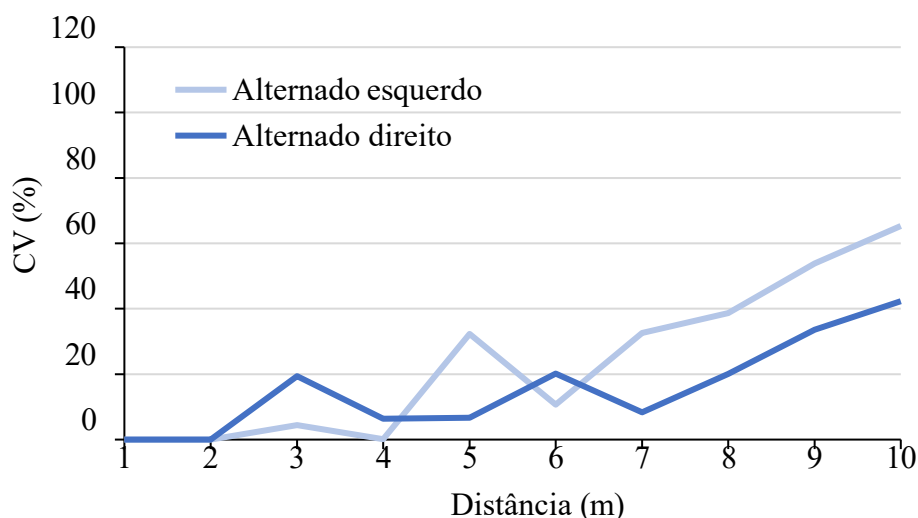


Figura 9: Coeficiente de variação de deposição em função da largura da faixa de deposição, considerando voo alternado direito e esquerdo, após aplicação com RPA, voando a 2,5 m de altura.

Fonte: Autoria própria, Gustavo Henrique Herval Matos (2023).

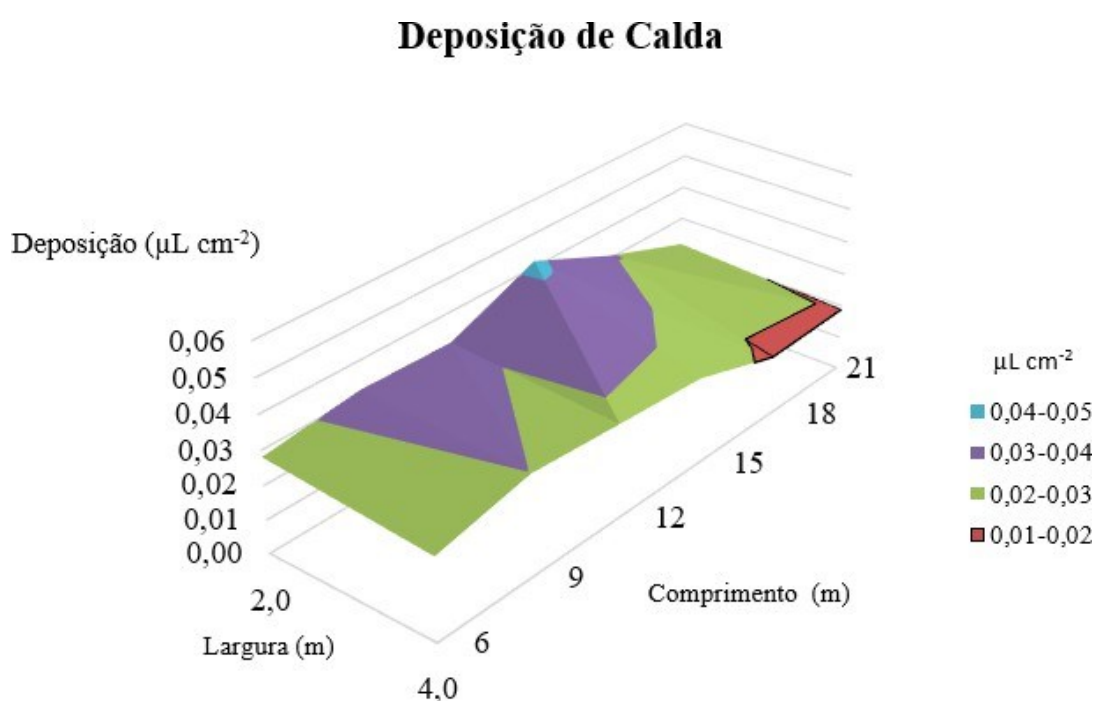
Seguindo-se a recomendação para trabalhar com um limite de CV de 20% ou menos, nota-se que a faixa ideal de trabalho é 6,5 m ou 8,0 m, considerando alternado esquerdo e alterando direito, respectivamente. Desta forma, indica-se que a faixa ideal de aplicação para esta altura de voo, independente da manobra para esquerda ou direita, é de 6,5 m, considerando as condições apresentadas no momento do presente experimento.

Cunha e Silva (2023) realizaram um trabalho para determinação da uniformidade de distribuição transversal do volume pulverizado por uma RPA, e encontraram uma faixa de deposição efetiva de 5,7 m e 7,6 m para alturas de voo de 1,5 m e 3,0 m, respectivamente, considerando um CV de 20%. Neste trabalho, as aplicações na cultura do milho foram realizadas com largura de trabalho de 5,0 m, sob justificativa de ser uma largura muito empregada do ponto de vista prático para o modelo de aeronave testada (AGRAS MG 1P) (CUNHA; SILVA, 2023).

Nesse experimento de Cunha e Silva (2023), citado anteriormente, a RPA e as pontas de aplicação adotada foi o mesmo modelo utilizadas nesta pesquisa. Dessa forma, de acordo com os dados obtidos, nota-se que os resultados se correlacionam para uma faixa ideal de trabalho diretamente proporcional à altura de voo da aeronave, mas é importante ressaltar que as condições meteorológicas podem influenciar nos resultados obtidos. Com a elevação na altura de voo, o equipamento aumenta a faixa de deposição, mas também fica mais sujeito a perdas por deriva na aplicação.

Em trabalhos conduzidos por Carlesso e Bariviera (2022) com uma RPA, foram demonstrados diferentes resultados de faixa ideal de trabalho, nas repetições realizadas com condições meteorológicas diferentes. Segundo o autor, diante da grande variação encontrada entre as repetições no experimento, é necessário que novos estudos com maior número de repetições e controle das condições ambientais sejam realizados para demonstrar a efetividade do uso de RPAs nas pulverizações de produtos fitossanitários nos sistemas de produção agrícola.

Em relação ao Ensaio 2, a uniformidade de deposição de calda ao longo da área aplicada foi analisada por meio dos valores de volume de calda coletados nas diferentes por unidade da



área (Figura 10).

Figura 10: Distribuição do volume de calda distribuído ao longo de uma área empregando uma RPA, à 2,5 m de altura de voo (largura da faixa de deposição de 4 m).

Fonte: Autoria própria, Gustavo Henrique Herval Matos (2023).

O coeficiente de variação no sentido do deslocamento da RPA foi de 20,8%, e no sentido transversal ao deslocamento foi de 16,9%. Estes valores somados à análise do gráfico de deposição de calda, demonstram que houve distribuição homogênea, o que sugere que o equipamento permite uma aplicação uniforme.

Esse resultado está em linha com os apresentados por Andrade *et al.* (2018). O autor demonstrou que o uso de RPAs para pulverização é viável, pois a partir da existência de plantas invasoras, essas podem ser controladas, graças a sua boa uniformidade em condições indicadas para aplicação.

4 CONCLUSÕES

Considerando uma altura de voo de 2,5 m, a RPA DJI AGRAS MG-1P trabalhando com pontas de pulverização XR 11001 deve operar com largura de trabalho igual ou inferior a 6,5 m, de forma a propiciar uma distribuição homogênea. A uniformidade de distribuição volumétrica, tanto no sentido longitudinal como transversal ao voo, foi considerada satisfatória, mostrando a viabilidade técnica da pulverização com RPA, desde que respeitada às condições adequadas de voo.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. M. de A ., PRETTO, R. D ., CARVALHO, E ., COLONHEZI, D. Avaliação de RPAs para pulverização em diferentes culturas. **Revista Ingeniería y Región**. [S.L.], v. 20, p. 72-77, dez. 2018.

BOLLER, W.; RAETANO, C. G. Bicos e pontas de pulverização de energia hidráulica, regulagens e calibração de pulverizadores de barras. *In*: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (Org.). **Tecnologia de Aplicação para Culturas Anuais**. 1. ed. Passo Fundo: Fepaf/Aldeia Norte, 2011, p. 51-65.

CARVALHO, F. C.; CUNHA, J. P. A. R. Estudos das faixas de deposição nas aplicações aéreas. *In*: ANTUNIASSI, U.R.; BOLLER, W. (org.). **Tecnologia de Aplicação para Culturas Anuais**. Botucatu: Fepaf/Aldeia Norte, 2019, p. 213-222.

CARLESSO, A. J.; BARIVIERA, R; Avaliação da qualidade de pulverização com drone, utilizando diferentes vazões, velocidades e faixa de aplicação. **Instituto Federal de Santa Catarina**, São Miguel do Oeste.v.1, p.4, fev, 2022.

CHEN, P.; LAN, Y.; HUANG, X.; QI, H.; WANG, G.; WANG, J.; WANG, L.; XIAO, H. Droplet deposition and control of planthoppers of different nozzles in two-stage rice with a quadrotor unmanned aerial vehicle. **Agronomy**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 303, fev. 2020.

COELHO, J. L. D.; GONÇALVES, A. O.; MENEGATTI, L. A. A.; ROZESTRATEN, H.; SILVA, G. F.; SOLLERO, G. C.; SPEKKEN, M.; VASARHELYI, A. Adulção 3.0. **USP/ESALQ**, Piracicaba, maio, 2009.

CUNHA, J. P. A. R.; SILVA, M. R. A. Spray deposition from a remotely piloted aircraft on the corn crop. **Revista Ciência Agrônômica**, [S.L.], v. 54, e20217862, 2023.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M. ; FERNANDES, H. C. Avaliação do espectro de gotas de pontas de pulverização hidráulicas utilizando a técnica da difração do raio laser. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 27, p. 10-15, jan. 2007.

DERKSEN, R. C.; ZHU, H.; FOX, R. D.; BRAZEE, R. D.; KRAUSE, C. R. Coverage and drift produced by air induction and conventional hydraulic nozzles used for orchards applications. **Transaction of the ASABE**, Setor Joseph (USA), v. 50, n. 5, p.1493-1501, 2007.

FRITZ, B. K.; HOFFMANN, W. C.; CZACZYK, Z.; BAGLEY, W.; KRUGER, G.; HENRY, R. Measurement and classification methods using the ASAE S572.1 reference nozzles. **Journal of Plant Protection Research**, Poznan (Polonia), v. 52, n. 4, p. 447- 457, 2012.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. 1. ed. México: Fundo de Cultura Econômica, 1948. 478 p.

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**, [S.L.], v. 3, n. 4, p. 83, dez. 2019.

NEGRISOLI, M. M. **Otimização da pulverização e controle de *Phakopsora pachyrhizi* na cultura da soja**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2018

SILVA NETO, J. O.; SASAKI, R. S.; ALVARENGA, C. B. Remotely Piloted Aircraft (RPA) for pesticides application. **Research, Society and Development**, [S. L.], v. 10, n. 12, 2021.