

CIRCULAR TÉCNICA

165

Caracterização da pulverização por drone classe III com ponta 110-015 em dois sistemas de condução de videira

Bento Gonçalves, RS
Setembro, 2023

Fabio Rossi Cavalcanti
Lillian Espindola Müller



Caracterização da pulverização por drone classe III com ponta 110-015 em dois sistemas de condução de videira¹

Drones são cada vez mais utilizados para aplicar fungicida

O controle de doenças nos vinhedos é essencial para manter a qualidade da produção de uvas e garantir a viabilidade econômica. Os métodos tradicionais de controle de doenças, como pulverização manual ou por trator, são trabalhosos, demorados e demandam recursos (Sanchavat et al., 2017). Além disso, a distribuição desigual de produtos químicos e o potencial de poluição ambiental agravam ainda mais os desafios enfrentados pelos administradores de vinhedos. Nesse contexto, o uso de drones para pulverização de precisão surge como uma alternativa viável aos métodos tradicionais de controle de doenças.

Os drones, também conhecidos como Veículos Aéreos Não Tripulados (Vant) ou Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), têm sido empregados em várias aplicações agrícolas, incluindo monitoramento de culturas, estimativa de rendimento e pulverização de precisão com volumes bem mais baixos (pulverização em ‘baixo volume’) do que os adotados pela pulverização tratorizada (Herbst et al., 2020; Anken; Waldburger, 2020; Biglia et al., 2022). O advento do drone revolucionou várias indústrias, com a agricultura não sendo exceção. O uso de drones na agricultura têm sido cada vez mais adotado para aumentar a produtividade, reduzir custos de mão de obra e otimizar a alocação de recursos (Matese et al., 2016).

As videiras são altamente suscetíveis à várias doenças que, se não forem adequadamente controladas por aplicação de fungicida, podem levar à perdas econômicas significativas. Em termos gerais, a rotina de proteção de vinhedos não muda: o uso de drones de pulverização para controle de doenças em vinhedos, da mesma forma que os esquemas impulsionados por

¹ Fabio Rossi Cavalcanti, engenheiro-agronomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, RS; Lillian Espindola Müller, engenheira- agrônoma, mestre em Agronomia, gestora de operações aéreas da GPd Vetquímica, Passo Fundo, RS.

trator, envolvem a aplicação de produtos químicos necessários para combater patógenos e pragas (Cavalcanti, 2021). Paralelamente à aplicação, drones também são utilizados atualmente para levantamento de dados para uso em sistemas de racionalização e Agricultura de Precisão (AP). Por exemplo, drones equipados com sensores de imagem avançados podem ajudar na detecção precoce de doenças, capturando imagens de alta resolução de culturas e identificando mudanças sutis na saúde das plantas (Matese et al., 2016). Essas imagens, quando analisadas por meio de algoritmos sofisticados, podem ajudar os agricultores a detectar sinais precoces de infestação de doenças, permitindo que tomem medidas corretivas oportunas. A detecção precoce é crucial para reduzir a propagação de doenças e minimizar as perdas de colheitas, pois permite a pulverização direcionada e precisa das áreas afetadas evitando a aplicação desnecessária de produtos químicos em áreas não afetadas (Zarco-Tejada et al., 2018).

A calibração e validação de tecnologias de pulverização de fungicidas na agricultura são etapas essenciais para garantir a aplicação e o manejo eficazes desses produtos químicos. Da mesma forma que em pulverizadores tratorizados, a qualidade das pulverizações feitas por drones também pode (e deve) ser avaliada por algum método de quantificação de gotas. Uma abordagem confiável para medir a uniformidade e a precisão da aplicação de fungicidas envolve o uso de cartões hidrossensíveis, que são fabricados para mudar de cor ao entrar em contato com soluções à base de água (Matthews et al., 2014). Esses cartões são colocados na área-alvo e podem fornecer dados qualitativos e quantitativos sobre a deposição de pulverização, ajudando assim os agricultores a otimizar suas técnicas de pulverização e reduzir o risco de resistência à fungicidas em pragas-alvo (Nansen et al., 2015; Matthews et al., 2014; Brandoli et al., 2021). No estudo de Nansen et al. (2015), os pesquisadores distribuíram cartões hidrossensíveis em campos de cultivo experimental e compararam diferentes tipos de pontas de pulverização, pressões operacionais e volumes de pulverização. Os resultados mostraram uma variação significativa na deposição e cobertura da pulverização, destacando a importância de selecionar e calibrar cuidadosamente o equipamento de pulverização para eficiência e eficácia. Paralelamente, além da calibração e validação, os cartões hidrossensíveis também podem desempenhar um papel no treinamento de técnicos e trabalhadores agrícolas (Panneton, 2002).

Nesse contexto, o presente trabalho teve por objetivo caracterizar a pulverização de um drone de uso agrícola Classe III, segundo a classificação da Agência Nacional de Aviação Civil (Anac), munido de ponta de pulverização modelo 110-015, por meio de ensaios de campo em vinhedos com sistemas de condução em espaldeira e latada.

Procedimentos experimentais nos vinhedos

Para os ensaios de aplicação, foram utilizados dois vinhedos, um vinhedo ‘Isabel’ (*Vitis labrusca*) implantado no sistema de condução espaldeira com espaçamento de 3,0 m entre filas e 2,0 m entre plantas. A disposição das linhas do vinhedo foi no sentido norte-sul, com inclinação entre 20° e 30° norte (GPS: -29.162108, -51.528658). O outro vinhedo avaliado foi da variedade Niágara Rosada (*Vitis labrusca*), também localizado na Embrapa Uva e Vinho, em Bento Gonçalves, RS (GPS: -29.163615, -51.528286). O vinhedo ‘Niágara Rosada’ foi implantado no mesmo espaçamento do ‘Isabel’, só que com o sistema de condução latada.

O equipamento utilizado para pulverização foi um drone de uso agrícola Classe III, segundo a classificação da Anac, com oito rotores e munido de ponta de pulverização modelo 110-015. A pulverização terrestre foi feita por pulverizador (500 L) com ponta para ângulo de spray de 40 graus e uma vazão de 0,95 L min⁻¹ a 40 PSI (‘lilás’) puxado em marcha 2^a simples (2S) por trator (50 cv).

Foram realizados três ensaios de aplicação de água (simulando uma calda fungicida) dentro do tanque do drone, em diferentes dias e com diferentes volumes. Os ensaios foram realizados ao final da safra 2022/2023, com a copa das plantas ainda cheia, nos dias 3/11/2022 e 6/2/2023, com volumes de 20 L ha⁻¹ e 30 L ha⁻¹ (baixo volume), e no dia 27/2/2023, excepcionalmente com um volume de 90 L ha⁻¹ (carga máxima programável pelo software do drone). Nesses dias, ambos os vinhedos foram ensaiados com a aplicação aérea entre 10h e 12h da manhã, enquanto a pulverização terrestre foi feita após às 13h30. Pulverização tratorizada (terrestre) também foi avaliada como um grupo controle, com a taxa de aplicação regulada para 500 L ha⁻¹, seguindo condições climáticas similares às da aplicação aérea. Para a detecção e marcação dos padrões de gotas expelidas pelas tecnologias de aplicação avaliadas (drone e trator, como um ‘grupo controle’) foram

utilizados cartões sensíveis à água (*water sensitive paper*) de 26 mm x 76 mm, sem haver mistura de marcas em ensaios discretos. Os cartões foram dispostos no dossel vegetativo superior (os cachos já haviam sido coletados na vindima da safra 2022/2023) em posição média com relação à altura nas copas e distância do caule, cada cartão exposto para um sentido da rosa dos ventos: norte, sul, leste e oeste.

A escolha dos dias acima especificados foi por recomendação de melhor janela climática para aplicações por pulverização aérea, com informações de segurança geradas pelos principais centros de previsões meteorológicas e de ventos, além do acompanhamento quanto à previsão do clima espacial, no que tange ao fator de ocorrência de tempestades geomagnéticas, indicado pelo índice K planetário (plataforma do *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOAA), 2023 e *UAV Forecast*, 2023). Esses procedimentos são fundamentais para a estabilidade e orientação de equipamentos guiados por comunicação via satélite.

O delineamento para os ensaios experimentais seguiu o esquema fatorial, com bordaduras de 25 m x 40 m. Os fatores considerados para a construção dos tratamentos foram:

- Quatro tecnologias: drone 20 L ha⁻¹, drone 30 L ha⁻¹, drone 90 L ha⁻¹ e trator 500 L ha⁻¹.
- Dois vinhedos: espaldeira e latada.
- Quatro orientações: norte, sul, leste e oeste, totalizando 32 tratamentos a cada passagem do drone/trator. Não foi possível desdobrar a tecnologia da dose porque as doses utilizadas pelo drone não poderiam ser replicadas pelo pulverizador tratorizado e vice-versa.

Para cada tratamento foram adotadas seis repetições (parcelas). A parcela experimental adotada foi de uma planta com um cartão hidrossensível afixado no ponto médio do dossel com relação à referências horizontais e verticais (orientação do solo). Assim, para as passagens, duas fileiras de cada vinhedo com 3 plantas por fileira (2 x 3 = 6 repetições) foram submetidas ao sobrevoo do drone sobre as linhas e às passagens do trator nas fileiras laterais contíguas às linhas. Após as pulverizações e secagem das gotas nos cartões hidrossensíveis, os mesmos foram coletados, acondicionados em papel alumínio e identificados.

Para a digitalização, imagens dos cartões foram captadas por câmera 8.165 pixels x 6.124 pixels, com distância focal de 12 cm e enquadramento padronizado por suporte físico da câmera e dos cartões. O recorte das fotografias garantiu arquivos .png de trabalho com resolução fixa em 2 mil pixels x 690 pixels. Os arquivos .png foram então submetidos a softwares de leitura de cartões, onde as variáveis de estudo foram levantadas: a) número gotas; b) número diâmetros; c) dispersão; d) volume ($L\ ha^{-1}$); e) densidade (gotas/ cm^2); f) cobertura (%); g) D10% (μm); h) D50% (μm) e i) D90% (μm). Estatísticas descritivas e análises não paramétricas foram conduzidas mediante métodos escritos em R com os pacotes Tidyverse (Wickham et al., 2019), multcompView (Graves et al., 2023), rstatix (Kassambara, 2023), ggplot2 (egg e ggpibr) (Wickham, 2016) e fmsb (Nakazawa, 2022) para o radar.

As condições climáticas gerais para permissão de voo e aplicações fitossanitárias foram seguidas nos dias de ensaios, dentro da faixa de parâmetros de voo recomendados (Tabela 1).

Tabela 1. Faixa de condições climáticas ocorridas durante as avaliações.

Parâmetro	Condição climática
Temperatura	16 °C–28 °C
Umidade relativa	43%–84%
Velocidade do vento	2 km h^{-1} –10 km h^{-1}

Qualidade da pulverização pelo drone Classe III

Comparativamente às aplicações feitas por pulverizador com ponta ‘lilás’ e marcha 2^a simples (2S), a única variável medida e analisada que apresentou um dado de desempenho equivalente entre a pulverização tratorizada e a realizada pelo drone testado foi a de ‘fator de dispersão’ do tamanho de gotas (Figura 1).

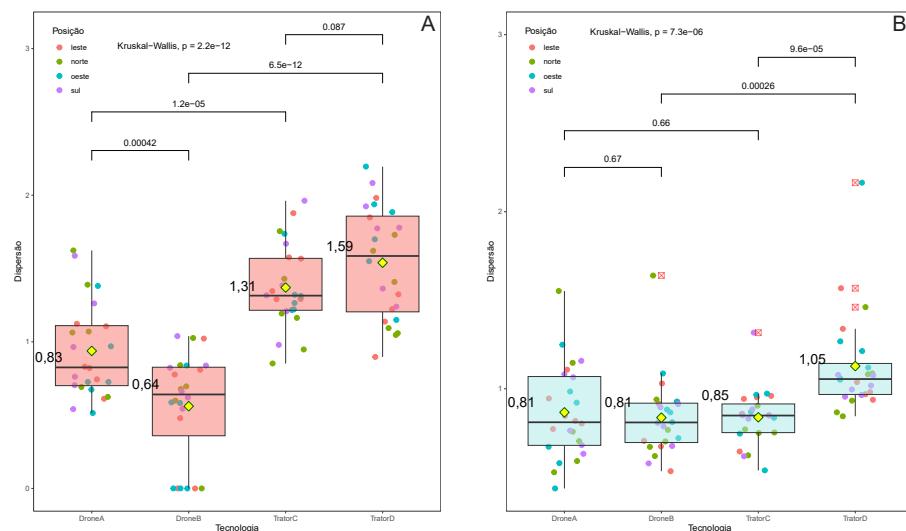


Figura 1. Boxplots com valores das medianas por tratamento. (A) Testes feitos no dia 6/2/2023 envolvendo drone classe III com ponta 110-015 (taxa de 30 L ha⁻¹) e pulverizador tratorizado com ponta 'lilás' e marcha 2^a simples (2S) (taxa 500 L ha⁻¹). (B) Testes do dia 27/2/2023 envolvendo os mesmos equipamentos, mas taxa de aplicação do drone em 90 L ha⁻¹. 'Drone A' e 'Trator C' correspondem ao uso dos equipamentos no vinhedo 'Isabel' (espaldeira). 'Drone B' e 'Trator D' no vinhedo 'Niágara Rosada' (latada). Pontos nos boxplot em diferentes cores referem-se a uma orientação. Valores 'p' sobre os colchetes foram obtidos pelo teste de Wilcoxon comparando sistemas de condução e tecnologias. Valor 'p' de Kruskal-Wallis indicou diferença entre ao menos um tratamento. Losango amarelo indica o valor da média.

Esse parâmetro oferece informações das dispersões dos tamanhos das gotas dentro de uma amostra. As pontas são conhecidas por produzirem gotas de tamanhos diferentes, mas dentro de parâmetros estabelecidos pelo fabricante. Por exemplo, nas pontas hidráulicas desgastadas a dispersão é maior, ou quando a pressão de trabalho é muito diferente daquela recomendada pelo fabricante das pontas (Chaim et al., 2002; Porras-Soriano et al., 2005).

As demais variáveis relativas à qualidade da pulverização marcados nos cartões hidrossensíveis estão resumidos na Tabela 2. Por todas as respostas, desde as visuais marcadas nos cartões (Figura 2) até as análises estatísticas provenientes disso, foi verificado um padrão geral de pulverização do drone classe III abaixo dos níveis ideais de aplicação de fungicidas

para o controle de doenças (Nansen et al., 2015; Matthews et al., 2014). Chaim (2009) recomenda que a densidade de gotas para aplicação de fungicidas deva ser entre 50 gotas e 70 gotas por cm². Outros autores recomendam um pouco mais (Mangado et al., 2013). Mesmo não tendo sido encontrado um trabalho específico sobre míldio, considera-se que também vale a recomendação geral para essa doença modelo na cultura da videira. Os perfis quantitativos de aplicação do drone, trator e o ideal (aferidos de padrões indicados na literatura) em função das variáveis estudadas estão resumidos na Figura 3.

Tabela 2. Indicadores de qualidade de pulverização em ensaios de campo envolvendo drone classe III e pulverizador terrestre, expressos por medianas obtidas das estatísticas descritivas sobre dados extraídos de cartões hidrossensíveis.

Variável ⁽⁴⁾	Drone ⁽¹⁾				Trator			
	20 L ha ⁻¹ ⁽³⁾		30 L ha ⁻¹		90 L ha ⁻¹		500 L ha ⁻¹	
	Linha ⁽²⁾	Latada	Linha	Latada	Linha	Latada	Linha	Latada
Ngotas (nº total)	29,0	32,7	<u>15,5</u>	<u>21,5</u>	<u>187,5</u>	<u>89,5</u>	<u>1.447,0</u>	<u>3.039,5</u>
Ndiâmetros (nº)	15,5	14,9	35,5	12,0	51,5	40,5	<u>228,0</u>	<u>430,5</u>
Dispersão (nº)	0,73	0,76	0,8	0,6	0,8	0,80	1,3	1,6
Volume (L ha ⁻¹)	0,43	0,61	<u>1,32</u>	<u>0,18</u>	<u>2,41</u>	<u>1,34</u>	136,3	87,9
Densidade (gotas/cm ²)	0,06	0,06	0,03	0,04	0,12	0,19	<u>2,50</u>	<u>4,11</u>
Cobertura (%)	0,046	0,080	0,23	0,18	0,31	0,41	59,7	57,4
D50% (VMD)	<u>571,8</u>	<u>682,8</u>	<u>737,8</u>	<u>575,6</u>	891,3	999,8	2.467,3	2.315,0

⁽¹⁾ Houve diferença significativa ($p < 0,01$) entre tecnologias de aplicação drone x trator de acordo com o teste de Kruskal-Wallis.

⁽²⁾ Valores sublinhados são significativamente diferentes ($p < 0,05$) dentro da mesma tecnologia e entre sistemas de condução de acordo com o teste de Wilcoxon.

⁽³⁾ Aplicação de 20 L ha⁻¹ no ensaio do dia 3/11/2022, 30 L ha⁻¹ e 500 L ha⁻¹ em 6/2/2023 e 90 L ha⁻¹ no dia 27/2/2023.

⁽⁴⁾ Variáveis levantadas pelo software de leitura de cartões.

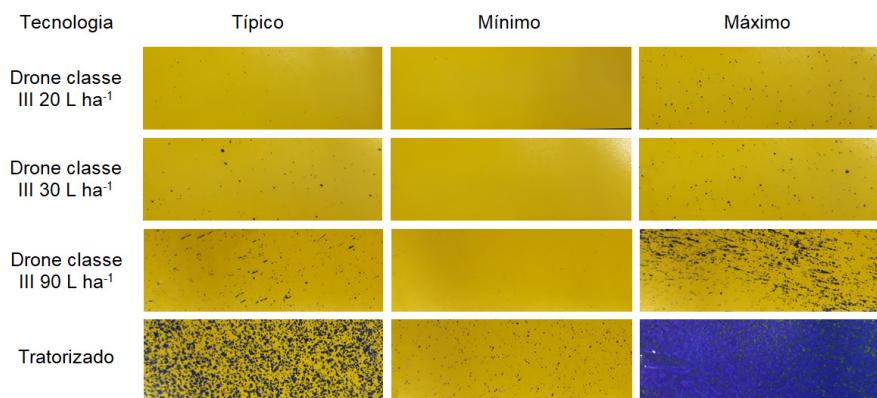


Figura 2. Aspecto visual dos estados típico, mínimo e máximo de exemplares de cartões hidrossensíveis usados nos ensaios aéreo (drone) e terrestre (pulverização tratorizada).

De maneira geral, os indicadores das pulverizações entregues pelo drone classe III ficaram bem abaixo dos valores apresentados pelo sistema tratorizado (Tabela 2) nos cartões hidrossensíveis (Figura 2), e abaixo dos níveis ideais teóricos para uma pulverização efetiva para controle de doenças (Figura 3).

Com a taxa de aplicação máxima (90 L ha⁻¹) o Vant conseguiu um leve incremento de desempenho considerando as variáveis avaliadas mesmo permanecendo abaixo do limiar de controle de doença. No entanto, o volume líquido de carga no tanque para uma pulverização nessa configuração se torna inviável para adoção comercial, pelo rápido consumo das baterias e baixo rendimento operacional (comunicação pessoal, empresa GPd Vetquímica).

Com relação aos sistemas de condução, enquanto que a aplicação terrestre com pulverizador tratorizado pôde entregar um desempenho equivalente no sistema latada ('Niágara Rosada') e em espaldeira (linha), a aplicação por drone teve um impacto um pouco maior no sistema em linha, principalmente nas passagens com 30 L ha⁻¹ e 90 L ha⁻¹, como demonstram os valores de Ngotas, Ndiâmetros e volume de calda lidos nos cartões (Tabela 2).

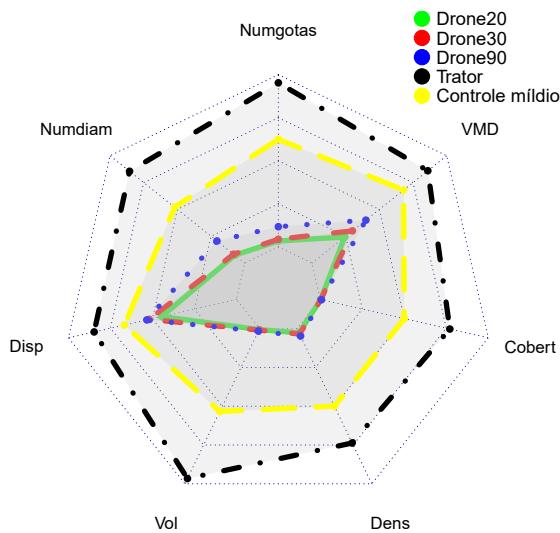


Figura 3. Perfis de variáveis descritoras da qualidade em pulverizações feitas por drone classe III (ponta 110-015) em 20 L ha⁻¹, 30 L ha⁻¹ e 90 L ha⁻¹, e terrestre por pulverizador com ponta 'lilás' puxado em marcha 2^a simples (2S) por trator. Traço amarelo indica a recomendação de maior eficiência na pulverização para o controle de doença.

Por outro lado, nas aplicações entre sistemas de condução não foram verificadas diferenças, considerando essas aplicações, com relação à variáveis importantes como dispersão, densidade de gotas e cobertura percentual (Tabela 2). Com relação às orientações (norte, sul, leste e oeste) dos cartões, embora os dados de cada variável estudada de cada tecnologia de aplicação (área e terrestre) não tenham gerado dados normais, não foram observadas deposições diferenciais de gotas em uma determinada orientação do cartão aplicando Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). A visualização destes dados está disponível na plotagem da dispersão dos dados no *boxplot* por cores, mas sem os valores de *p* referentes ao teste estatístico mencionado (Figura 1). Cartões hidrossensíveis estão apresentados em amostra composta entre os dois tipos de sistemas de condução testados, e cartões 'típicos' foram contabilizados

dentro da classe de maior frequência que reproduzisse valores medidos acima de metade (50%) das variáveis estudadas (Figura 2).

As aplicações seguiram as normas de operação de drones estabelecidas pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (Decea) da Anac e pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), de acordo com o disposto no Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial (RBAC-E nº 94/2017), que define os requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil.

Além dos cuidados quanto ao mapa de voo, a linha de visada, a largura de faixa da aplicação, a altura e velocidade do voo, também são necessários alguns cuidados como:

- Velocidade do vento variando entre 3 Km/h e 10 km/h para redução de deriva.
- Adoção de temperaturas abaixo de 30 °C para minimizar evaporação e eficácia do ingrediente ativo.
- Umidade relativa ideal entre 55% e 85% (Giles; Billing, 2015).

Testes para validação de tecnologia de aplicação aérea por drones (Vants) são trabalhos recentes em vitivinicultura e, aos poucos, informações têm sido disponibilizadas para as cadeias produtivas e o público técnico. Em um estudo, o uso de drones/Vants foi avaliado em um contexto de monitoramento e controle de doenças em vinhedos. Pesquisadores discorreram sobre o potencial dos sistemas de pulverização baseados em drones para fornecer fungicidas e outros produtos químicos com precisão, reduzindo o risco de doenças nos vinhedos e minimizando o impacto ambiental (Depuelch et al., 2022).

Em recente trabalho, Biglia et al. (2022) avaliaram a eficiência de dois modos de pulverização aérea impulsionadas por drone de seis rotores para controle de doenças em vinhedos. Os autores descobriram que as aplicações ortogonais (*broadcast*) (sobrevoo perpendicular às linhas das plantas) com pontas de cone oco, direcionam a pulverização para abaixo do dossel, enquanto que as aplicações em faixa (sobrevoo acima das linhas de plantas) com pontas de leque plano, aumentam a eficiência da pulverização, tanto no modo convencional como por indução de ar, maximizando assim a deposição e minimizando as perdas ao solo. Os autores também descobriram que

pontas convencionais provaram ser a melhor solução para o aumento da deposição no dossel, ao contrário das pontas com indução de ar, bem como o uso de velocidade de cruzeiro acima de 10 km/h para aumento da deposição no dossel. Mesmo assim, Biglia et al. (2022) confirmaram também que a taxa de 53 L ha⁻¹ utilizada nos ensaios foi muito baixa, sendo insuficiente para garantir depósitos adequados. Segundo os autores, em termos de densidade (número de gotas por cm²), já que, segundo eles, mais de 90% dos cartões hidrossensíveis utilizados apresentaram deposições abaixo do ideal.

É provável que parte das conclusões encontradas por Biglia et al. (2022) possa justificar o baixo desempenho das aplicações aéreas vistas no presente trabalho, quando comparadas com aplicações terrestres. No entanto, pelas evidências encontradas, é imprescindível a continuidade na busca para caracterizar o desempenho potencial presente em outros modelos de drones de pulverização. Já se sabe que os volumes da aplicação com drones devem ser maiores, principalmente em vinhedos inclinados. Por exemplo, na Suíça, a motivação para usar Vants visa mitigar a percepção negativa do helicóptero nas aplicações em vinhedos íngremes, que estão ligadas às queixas de ruído e deriva de pulverização. Assim, recomenda-se que a aplicação de produtos em vinhedos íngremes deva mesmo ser realizada com drones de pulverização, veículos de esteira, por pulverizador costal ou por helicóptero. Nesse caso, as taxas de demanda para o volume do tanque transportador se aproximaram de uma aplicação em taxas entre 80 L ha⁻¹ a 100 L ha⁻¹ (Herbst et al., 2020).

Paralelamente, essa busca deve continuar considerando os diferentes sistemas de condução adotados, para garantia de eficiência no controle de doenças na vitivinicultura por meio aéreo de modo específico para cada tipo de vinhedo. Outro potencial inegável (e irrefreável) para a aplicação de drones e/ou robôs na proteção de cultivos reside no fato da crescente adoção da Agricultura 4.0 e 5.0, com as possibilidades de automatização e até mesmo autonomia que elas trazem (Cavalcanti, 2021).

Referências

- ANKEN, T.; WALDBURGER, T. Working quality, drift potential and homologation of spraying drones in Switzerland. In: GANDORFER, T. M.; et al.: **Digitalisierung für mensch, Umwelt and Tier, Lecture Notes in Informatics (LNI)**. Bonn, Alemanha: Gesellschaft für Informatik, 2020.

Caracterização da pulverização por drone classe III com ponta 110-015 em dois sistemas de condução de videira

BIGLIA, A.; GRELLA, M.; BLOISE, N.; COMBA, L.; MOZZANINI, E.; SOPEGNO, A.; PIRRARELLO, M.; DICEMBRINI, E.; ALCATRÃO, L. E.; GUGLIERI, G.; BALSARI, P.; AIMONINO, D. R.; GAY, P. UAV-spray application in vineyards: flight modes and spray system adjustment effects on canopy deposit, coverage and off-target losses. **Science of the Total Environment**, v. 845, n. 157292, p. 1-17, Nov. 2022. DOI 10.1016/j.scitotenv.2022.157292.

BRANDOLI, B.; SPADON, G.; ESAU, T.; HENNESSY, P.; CARVALHO, A. C. P. L.; AMERYAHIA, S.; RODRIGUES-JR, J.F. DropLeaf: a precision farming smartphone tool for real-time quantification of pesticide application coverage. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 180, n. 105906, Jan. 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105906>.

CAVALCANTI, F. R. **Algoritmo (MAHM) para alerta georreferenciado de doença em redes de sensoriamento IoT de microclima: calibração e teste de um método para mísio, em dois vinhedos**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, agosto de 2021. 25 p. (Embrapa Uva e Vinho. Circular Técnica, 124). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1134000>. Acesso em: 21 jun. 2023.

CHAIM, A.; PESSOA, M. C. P. Y.; CAMARGO NETO, J.; HERMES, L. C. Comparison of microscopic method and computational program for pesticide deposition evaluation of spraying. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 4, p. 493-496, Apr. 2002. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000400010>.

CHAIM, A. **Manual de tecnologia de aplicação de agrotóxicos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 78 p.

DEPUELCH, X.; GORIOUX, H.; POUXVIEL, G. Quality assessment of drone spraying in steeply sloping vineyards. **IVES Technical Reviews**, 24 Feb. 2022. DOI <https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2022.5402>.

GILES, D.; BILLING, R. Deployment and performance of a UAV for crop spraying. **Chemical Engineering Transactions**, v. 44, p. 307-312, 2015. DOI 10.3303/CET1544052.

GRAVES, S.; PIEPHO, H.-P.; SELZER, L. Package 'multcompView': Visualizations of Paired Comparisons. Version 0.1-9. Repository CRAN, April 2023. Package. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/multcompView/multcompView.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2023.

HERBST, A.; BONDS, J.; WANG, Z.; ZENG, A.; HE, X.; GOFF, P. The influence of unmanned agricultural aircraft system design on spray drift. **Journal fur Kulturplanzen**, v. 72, n. 1, p. 1-11, 2020. DOI 10.5073/JfK.2020.01.01.

KASSAMBARA, A. Package 'rstatix': Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests. Version 0.7.2. Repository CRAN, Feb. 2023. Package. Disponível em: <https://rpkgs.datanovia.com/rstatix/>. Acesso em: 31 ago. 2023.

MANGADO, J.; ARAZURI, S.; ARNAL, P.; JARÉN, C.; LÓPEZ, A. Measuring the accuracy of a pesticide treatment by an image analyzer. **Procedia Technology**, v. 8, p. 498–502, 2013. DOI <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.11.066>.

MATESE, A.; DI GENNARO, S.F.; BERTON, A. Assessment of a canopy height model (CHM) in a vineyard using UAV-based multispectral imaging. **International Journal of Remote Sensing**, v. 38, n. 8-10, p. 2150-2160, Sept. 2016. DOI <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1226002>.

MATTHEWS, G. A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. **Pesticide application methods**. 4th ed. Wiley, 2014. 517p

NAKAZAWA, M. Package ‘fmsb’: Functions for Medical Statistics Book with some Demographic Data. Version 0.7.5. Repository CRAN, 25 Dez. 2022. Package. Disponível em: <https://minato.sip21c.org/msb/>. Acesso em: 31 ago. 2023.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. Disponível em: <https://www.noaa.gov>. Acesso em: 30 ago. 2023.

NANSEN, C.; FERGUSON, J. C.; MOORE, J.; GROVES, L.; EMERY, R.; GAREL, N.; HEWITT, A. Optimizing pesticide spray coverage using a novel web and smartphone tool, SnapCard. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, p. 1075-1085, May 2015. DOI 10.1007/s13593-015-0309-y.

PANNETON, B. Image analysis of water-sensitive cards for spray coverage experiments. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 18, n. 2, p. 179-182, 2002. DOI 10.13031/2013.7783.

PORRAS-SORIANO, A.; PORRAS-PIEDRA, A.; SORIANO-MARTÍN, M. L. Quality of fungicide application on trellised grapevines by a sprayer prototype. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 25, n. 2, p. 201-204, April-June 2005. DOI <https://doi.org/10.1051/agro:2005013>.

SANCHAVAT, H. B.; CHAUDHARY, H. S.; BHAUTIK, G.; SINGH, S. N. Field evaluation of a tractor mounted boom sprayer. **Agricultural Engineering Today**, v. 41, n. 4, p. 67-71, 2017.

UAV FORECAST. Disponível em: <https://www.uavforecast.com/>. Acesso em: 31 ago. 2023.

ZARCO-TEJADA, P. J.; CAMINO, C.; BECK, P. S. A.; CALDERON, R.; HORNERO, A.; HERNÁNDEZ-CLEMENTE, R.; KATTENBORN, T.; MONTES-BORREGO, M.; SUSCA, L.; MORELLI, M.; GONZALEZ-DUGO, V.; NORTH, P. R. J.; LANDA, B. B.; BOSCIA, D.; SAPONARI, M.; NAVAS-CORTES, J. A. Previsual symptoms of *Xylella fastidiosa* infection revealed in spectral plant-trait alterations. **Nature Plants (Letters)**, v. 4, p. 432-439, June 2018. DOI <https://doi.org/10.1038/s41477-018-0189-7>.

WICKHAM, H.; AVERICK, M.; BRYAN, J.; CHANG, W.; MCGOWAN, L. D.; FRANÇOIS, R.; GROLEMUND, G.; HAYES, A.; HENRY, L.; HESTER, J.; KUHN, M.; PEDERSEN, T. L.; MILLER, E.; BACHE, S. M.; MÜLLER, K.; OOMS, J.; ROBINSON, D.; SEIDEL, D. P.; SPINU, V.; TAKAHASHI, K.; VAUGHAN, D.; WILKE, C.; WOO, K.; YUTANI, H. Welcome to the tidyverse. **Journal of Open Source Software**, v. 4, n. 43, e-1686, 2019. DOI: 10.21105/joss.01686.

WICKHAM, H. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2016. ISBN 978-3-319-24277-4. Disponível em: <https://ggplot2.tidyverse.org>. Acesso em: 31 ago. 2023.

Caracterização da pulverização por drone classe III com ponta 110-015 em dois sistemas de 15 condução de videira

Embrapa Uva e Vinho

Rua Livramento, 515 - Caixa Postal 130
95701-008 Bento Gonçalves, RS

Fone: (0xx) 54 3455-8000
www.embrapa.br/uva-e-vinho
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição
Publicação digital: PDF



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

Comitê Local de Publicações

Presidente

João Caetano Fioravanço

Secretária-executiva

Renata Gava

Membros

*Edgardo Aquiles Prado Perez, Fernando
José Hawerroth, Henrique Pessoa dos
Santos, Joelsio José Lazzarotto, Jorge
Tonietto, Rochelle Martins Alvorcem, Thor
Vinícius Martins Fajardo*

Revisão de texto

Renata Gava

Normalização bibliográfica

Rochelle Martins Alvorcem (CRB10/1810)

Projeto gráfico da coleção

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração Eletrônica

Renata Gava

Foto da capa

Fábio Ribeiro dos Santos

CGPE 018195