

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

ROGÉRIO MARCOS SOUSA MARTINS FILHO

**DEPOSIÇÃO DE CALDA NO CAFEIRO PROMOVIDA PELA
APLICAÇÃO AÉREA COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA
EMPREGANDO DIFERENTES PONTAS, ADJUVANTES E VOLUMES
DE CALDA**

**Uberlândia – MG
Abril – 2024**

ROGÉRIO MARCOS SOUSA MARTINS FILHO

**DEPOSIÇÃO DE CALDA NO CAFEIRO PROMOVIDA PELA
APLICAÇÃO AÉREA COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA
EMPREGANDO DIFERENTES PONTAS, ADJUVANTES E VOLUMES
DE CALDA**

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 Arantes Rodrigues da Cunha.

**Uberlândia – MG
Abril – 2024**

ROGÉRIO MARCOS SOUSA MARTINS FILHO

**DEPOSIÇÃO DE CALDA NO CAFEIEIRO PROMOVIDA PELA
APLICAÇÃO AÉREA COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA
EMPREGANDO DIFERENTES PONTAS, ADJUVANTES E VOLUMES
DE CALDA**

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
Arantes Rodrigues da Cunha.

Aprovado pela Banca Examinadora em 10 de Abril de 2024.

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha
Orientador

Luana de Lima Lopes
Membro da Banca

Vinícius Souza Santana
Membro da Banca

**Uberlândia – MG
Fevereiro – 2024**

RESUMO

O Brasil é um importante produtor mundial de café. Assim como em outras culturas importantes, a cafeicultura enfrenta grandes desafios para alcançar altas produtividades, especialmente no que diz respeito ao controle de pragas e doenças, que representam fatores limitantes para o aumento da produtividade. Atualmente, as novas tecnologias de aplicação estão cada vez mais focadas em resolver esses problemas e, nesse contexto, o uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPA, também conhecidas como drones) tem se tornado uma prática cada vez mais comum. O presente trabalho teve como o objetivo analisar a deposição de calda no cafeeiro promovida pela aplicação aérea com uma RPA empregando diferentes pontas, adjuvantes e volumes de calda. O trabalho foi realizado no Setor de Cafeicultura da Fazenda Experimental do Glória (Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia, MG). A RPA empregada foi um octocóptero AGRAS MG-1P (DJI, China), com depósito de calda de 10 L, 4 bicos de pulverização e 8 motores. Os estudos de deposição de calda foram feitos em uma área de café cultivar Topázio. O experimento constou de 8 tratamentos e 4 repetições. Empregou-se um delineamento inteiramente casualizados em esquema fatorial 2x2x2: duas composições de calda (calda com adjuvante espalhante e óleo mineral), duas pontas de pulverização (jato plano standard XR 11001 e jato plano com indução de ar Airmix 11001) e dois volumes de calda (10 e 20 L.ha⁻¹). Avaliou-se a deposição de traçador, cobertura, densidade de gotas, diâmetro da mediana volumétrica e amplitude relativa do espectro de gotas geradas na aplicação. Para análise de deposição, empregou-se um traçador no cafeeiro para ser detectado por espectrofotometria, considerando a deposição na parte superior e inferior. O estudo do espectro de gotas foi feito analisando-se papéis hidrossensíveis. As pontas de indução de ar mostraram-se mais adequadas à aplicação com a RPA do que as pontas de jato plano standard, ao proporcionarem maior deposição de calda no dossel do cafeeiro. O emprego do óleo mineral mostrou-se vantajoso ao melhorar a deposição de calda nas folhas do cafeeiro, embora o espalhante tenha maior capacidade de redução de tensão superficial da calda. O maior volume de calda (20 L.ha⁻¹) proporcionou maior densidade de gotas depositadas no alvo, bem como maior cobertura, resultado bastante relevante principalmente quando da utilização de fitossanitários de contato. A ponta Airmix produziu gotas de maior tamanho em relação às XR, o que se constitui numa importante estratégia para redução de deriva, principalmente em situações de campo onde haja presença de vento.

Palavras-chave: Cultura do café; drones; tecnologia de aplicação; pulverização.

ABSTRACT

Brazil is a major global producer of coffee. Like in other important crops, coffee farming faces significant challenges in achieving high yields, especially concerning pest and disease control, which are limiting factors for productivity growth. Currently, new application technologies are increasingly focused on addressing these issues, and in this context, the use of Remotely Piloted Aircraft (RPA), also known as drones, has become increasingly common. This study aimed to analyze the spray deposition on coffee plants promoted by aerial application using an RPA employing different nozzles, adjuvants, and spray volumes. The research was conducted in the Coffee Sector of the Experimental Farm of Glória (Federal University of Uberlândia – UFU, Uberlândia, MG). The RPA employed was an octocopter AGRAS MG-1P (DJI, China), with a 10 L spray tank, 4 spray nozzles, and 8 motors. Spray deposition studies were carried out in an area of Topázio coffee cultivar. The experiment consisted of 8 treatments and 4 repetitions. A completely randomized design was used in a 2x2x2 factorial scheme: two spray compositions (spray with spreading adjuvant and mineral oil), two spray nozzles (standard flat jet XR 11001 and flat jet with air induction Airmix 11001), and two spray volumes (10 and 20 L.ha⁻¹). Deposition of tracer, coverage, droplet density, median volumetric diameter, and relative amplitude of the spectrum of drops generated during application were evaluated. For deposition analysis, a tracer was applied to the coffee plant to be detected by spectrophotometry, considering deposition on the upper and lower parts. The study of the droplet spectrum was performed by analyzing water-sensitive papers. Air induction nozzles were found to be more suitable for RPA application than standard flat jet nozzles, as they provided higher spray deposition on the coffee canopy. The use of mineral oil proved advantageous in improving spray deposition on coffee leaves, although the adjuvant had a greater capacity to reduce the surface tension of the spray. The higher spray volume (20 L.ha⁻¹) provided greater density of droplets deposited on the target, as well as greater coverage, which is particularly relevant when using contact agricultural pesticides. The Airmix nozzle produced larger droplets compared to XR, which is an important strategy for drift reduction, especially in field situations with wind presence.

Keywords: Coffee cultivation; drones; application technology; spraying.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1 A cultura do café	9
2.2 Agricultura 4.0.....	9
2.3 Aeronaves remotamente pilotadas (RPAs)	10
2.4 Tecnologia de aplicação	11
3 MATERIAL E MÉTODOS	12
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
5 CONCLUSÕES	20
REFERÊNCIAS	21

1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem sido o principal produtor mundial de café desde 1850. De acordo com estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), na safra 2023/2024, a produção pode atingir 66 milhões de sacas beneficiadas, incluindo as variedades arábica e conilon. Este número representa um aumento de 7,5% em relação a 2022 (PRESSINOTT, 2023).

A produção de café no Brasil desempenha um papel crucial na geração de empregos diretos e indiretos, além de contribuir significativamente para a economia do país, ocupando o 4º lugar no ranking do Valor Bruto de Produção (VBP) de produtos agrícolas. Com participação de R\$ 42,598 bilhões no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, conforme relatórios da Companhia Nacional de Abastecimento, a área dedicada à cafeicultura no Brasil alcançou 2,510 milhões de hectares em 2023/2024 (FERREIRA, 2022).

Assim, a cultura do café, como outras culturas importantes, enfrenta grandes desafios para alcançar altas produtividades, especialmente no que diz respeito ao controle de pragas e doenças, que representam fatores limitantes para o aumento da produtividade.

Atualmente, as novas tecnologias de aplicação estão cada vez mais focadas em resolver esses problemas. Nesse contexto, o uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPA), também conhecidas por drones, tem se tornado uma prática cada vez mais comum, prevendo-se um mercado de US\$ 4,8 bilhões até 2024 (DUARTE, 2024).

Dentre os benefícios da pulverização com RPAs estão a economia de água e produtos químicos, precisão na aplicação de produtos em áreas específicas, diminuição da necessidade de mão de obra, não ocorrência de compactação de solo e amassamento, possibilita aplicação em terrenos acidentados e com alta umidade de solo. Esses fatores podem justificar a escolha por esse tipo de tecnologia de aplicação (MENDES, 2019).

No entanto, em alguns casos, um bom manejo fitossanitário pode requerer um volume adequado de calda, determinado em função do produto utilizado e do alvo biológico da aplicação, o que pode limitar a utilização da pulverização com RPAs .

Apesar das vantagens, a eficiência da pulverização via RPA em cafezais pode ser questionável. Segundo o agrônomo e pesquisador de cafeicultura, José Braz

Matiello, é necessário examinar mais profundamente a aplicação de pesticidas via drone em cafezais. Isso se deve à grande massa foliar das plantas de café, que em alguns casos pode chegar a 20 m², e ao baixo volume de calda utilizado nas aplicações, o que poderia reduzir a eficácia de alguns produtos e, conseqüentemente, o controle de doenças e insetos no cafezal (REVISTA CAFEICULTURA, 2024).

Desse modo, o objetivo do trabalho foi analisar a deposição de calda no cafeeiro promovida pela aplicação aérea com aeronave remotamente pilotada empregando diferentes pontas, adjuvantes e volumes de calda.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do café

A história da cultura do café no Brasil remonta ao século XVIII e início do XIX, quando as primeiras mudas foram introduzidas por volta de 1720, na província do Pará. Francisco de Melo Palheta foi responsável por trazer as primeiras sementes do café para o país, após uma viagem à Guiana Francesa. O cultivo em grande escala teve início com o surgimento de grandes lavouras na Baixada Fluminense e no Vale do rio Paraíba, nas províncias do Rio de Janeiro e de São Paulo (BERGO, 2000).

As condições favoráveis de solo e clima nessa região possibilitaram uma produção abundante de café, destinada principalmente aos mercados consumidores da Europa e dos Estados Unidos. Por volta de 1837, o café já havia se tornado o principal produto de exportação do Brasil Império, proporcionando grandes lucros que enriqueceram os fazendeiros, conhecidos como "Barões do café", e sustentaram financeiramente o Império brasileiro (BERGO, 2000).

Atualmente, o plantio de café desempenha um papel crucial no agronegócio brasileiro, com o Brasil destacando-se como o maior produtor e exportador, além de ser o segundo maior consumidor de café no mundo. Cerca de 80% das espécies mais comercializadas correspondem à *Coffea arabica*. Na safra de 2020, a área cultivada com essa espécie atingiu 1,76 milhões de hectares no Brasil, representando aproximadamente 81% da área total destinada ao cultivo de café (MARTINS et al., 2022; SENAR, 2017).

2.2 Agricultura 4.0

Diante do contexto de aumento da demanda por alimentos, houve uma expansão da produção em áreas previamente ocupadas pela agricultura e agropecuária. Com o crescimento da produtividade, a tecnologia torna-se fundamental para aprimorar, otimizar e rentabilizar as atividades agrícolas, visando a maximização da utilização dos recursos naturais, como a redução do consumo de água na irrigação e de insumos na produção (RIBEIRO et al., 2019).

A tecnologia permeia todos os sistemas de uma cadeia produtiva. Na agricultura, a Agricultura 4.0, também conhecida como agricultura digital e derivada

dos princípios da Indústria 4.0, vai além da simples mecanização do campo. Suas operações e decisões são guiadas pelo clima, características do solo e do cultivo, baseadas em dados coletados em tempo real por meio de tecnologias digitais (SILVA; CAVICHIOLI, 2020). Dentre essas ferramentas e tecnologias, destaca-se o uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) para a pulverização de agroquímicos (MARTIN et al., 2019).

2.3 Aeronaves remotamente pilotadas (RPAs)

Segundo definição da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), uma aeronave remotamente pilotada é aquela em que a pilotagem é realizada remotamente, sem finalidade recreativa, sendo comumente conhecida como drone (Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC, 2017; CUNHA, 2021).

A ANAC esclarece que o acrônimo ARP (Aeronaves Remotamente Pilotadas), em português, não é utilizado, pois se refere ao ponto de referência do aeródromo. Outro termo amplamente adotado nas áreas de engenharia e computação, que também se refere a veículos totalmente autônomos, é veículo aéreo não tripulado (UAV) (ANAC, 2017; CUNHA, 2021).

Os drones estão ganhando popularidade e estão sendo regulamentados no Brasil. Por meio da Portaria Nº 298, de 22 de setembro de 2021, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabeleceu regras para a operação de aeronaves remotamente pilotadas destinadas à aplicação de fitossanitários e produtos afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, 2021).

Tais regulamentações exigem que os operadores estejam registrados junto ao MAPA e tenham certificação de conclusão do Curso para Aplicação Aeroagrícola Remota (CAAR). Além disso, é necessário que as aeronaves remotamente pilotadas estejam em situação regular na ANAC. Para garantir a segurança operacional, a aplicação aeroagrícola com RPA é limitada à área-alvo da intervenção, sendo de suma importância o registro dos dados relativos a cada aplicação de fitossanitário e produtos afins (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, 2021).

2.4 Tecnologia de aplicação

Nos últimos anos, a agricultura nacional tem testemunhado avanços significativos na tecnologia aplicada ao setor. Contudo, apesar desses avanços, persistem situações de desperdício de energia e produtos químicos, juntamente com resultados ineficientes no campo. O aumento contínuo nos custos dos fitossanitários, mão de obra e energia, juntamente com crescente preocupação ambiental, sublinha a urgência de aprimorar não apenas a tecnologia utilizada, mas também os procedimentos e equipamentos para garantir a segurança dos operadores e a eficiência das aplicações (ADEGAS; GRAZZIERO, 2020).

Em termos gerais, um pulverizador pode ser dividido em três sistemas principais: depósito, bombeamento e pontas. É comum que técnicos e, sobretudo, agricultores, priorizem os sistemas de depósito e bombeamento, responsáveis pela potência e capacidade de trabalho do equipamento, em detrimento das pontas, que desempenham um papel crucial na qualidade da aplicação, produzindo as gotas necessárias para cobrir os alvos selecionados (ADEGAS; GRAZZIERO, 2020).

Na tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários, a dose correta e o volume adequado de calda durante a aplicação são aspectos fundamentais para o sucesso do manejo fitossanitário. Além disso, é crucial respeitar os intervalos de aplicação de cada produto, garantindo a segurança alimentar, a dos aplicadores e minimizando a contaminação ambiental (GONÇALVES, 2022). Antuniassi (2005) ressalta que o volume de calda é um parâmetro crítico para o sucesso da aplicação, sendo determinado pelo tipo de alvo, tamanho das gotas, cobertura necessária, modo de ação do produto químico e técnica de aplicação, entre outros fatores.

Outros fatores também contribuem para uma aplicação eficiente, incluindo o *timing* adequado e o uso de adjuvantes na calda de pulverização (CUNHA et al., 2017). No entanto, o emprego de adjuvantes requer esclarecimentos sobre suas funcionalidades, podendo ser adicionados à formulação dos produtos fitossanitários ou à calda, influenciando na formação das gotas, interação biológica do ingrediente ativo com o alvo e dinâmica no ambiente (RAETANO; CHECHETTO, 2019).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Setor de Cafeicultura da Fazenda Experimental do Glória (Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia, MG). A área agrícola possui uma altitude de 912 metros, com coordenadas geográficas 18°58'52"S de latitude e 48°12'24"O de longitude. O solo apresenta uma topografia levemente ondulada. O clima é do tipo Aw (Tropical úmido com inverno seco).

A aeronave remotamente pilotada empregada foi um octocóptero AGRAS MG-1P (DJI, China), com depósito de calda de 10 L, 4 bicos de pulverização e 8 motores. A faixa de deposição recomendada pelo fabricante é de 4,0 a 6,0 m. Inicialmente foi checada a calibração da aeronave e foi determinada o coeficiente de variação (CV) da deposição em função da largura da faixa de deposição. Em todos os tratamentos optou-se por trabalhar com largura de trabalho de 4 m, que proporciona CV inferior a 10%, altura de trabalho de 1,5 m em relação à copa do cafeeiro e velocidade de avance de 10,2 km.h⁻¹.

Os estudos de deposição de calda foram feitos em uma área de café cultivar Topázio, com espaçamento entre linhas de 3,8 m, 0,6 m entre plantas, altura média de 2,7 m e projeção da copa com diâmetro de 1,8 m.

As parcelas experimentais foram constituídas de 40 m de comprimento e 16 m de largura, com parcela útil de 30 m de comprimento e 8 m de largura, sendo o restante considerado bordadura. Foi avaliada a deposição de calda, por meio da detecção de um traçador nas folhas do dossel do café, considerando as partes inferior e superior da planta de forma separadas, e também empregando papéis hidrossensíveis.

O experimento constou de 8 tratamentos (Tabela 1) e 4 repetições. Empregou-se um delineamento inteiramente casualizados em esquema fatorial 2x2x2: duas composições de calda (calda com adjuvante espalhante e óleo mineral), duas pontas de pulverização (XR e Airmix) e dois volumes de calda (10 e 20 L.ha⁻¹).

Tabela 1. Descrição dos tratamentos empregados.

Tratamento	Adjuvante	Ponta de pulverização	Volume de calda (L/ha)
1	Espalhante	XR 11001	10
2	Espalhante	Airmix 11001	10
3	Óleo Mineral	XR 11001	10
4	Óleo Mineral	Airmix 11001	10
5	Espalhante	XR 11001	20
6	Espalhante	Airmix 11001	20
7	Óleo Mineral	XR 11001	20
8	Óleo Mineral	Airmix 11001	20

Foram empregadas pontas de pulverização de jato plano XR 11001 (Teejet, EUA), com espectro de gotas muito finas a finas dependendo da pressão de trabalho (essas são as pontas que vêm originalmente de fábrica com o equipamento) e pontas de jato plano com indução de ar Airmix 11001 (Agrotop, Alemanha), com espectro de gotas de finas a grossas, dependendo da pressão (Figura 1). Todos os espectros de gotas informados pelos fabricantes.

**Figura 1.** Pontas de pulverização utilizadas: Teejet XR 11001 e Agrotop Airmix 11001.

Para composição das caldas foram empregados os adjuvantes Break Thru (espalhante) e Assist (Óleo Mineral). O primeiro é um surfactante não iônico que pertence à classe química dos trisiloxanos organomodificados empregado na concentração de 0,1%. O segundo é um adjuvante a base de óleo mineral (hidrocarbonetos alifáticos) empregado na concentração de 0,5%.

Durante as aplicações, foram monitoradas as condições de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento. A temperatura variou de 27 a 29°C, a umidade relativa de 48% a 51% e a velocidade do vento média de 4,1 a 9,6 km h⁻¹.

Para a avaliação da deposição, adicionou-se à calda de aplicação um traçador composto do corante alimentício Azul Brillhante, catalogado internacionalmente pela “Food, Drug & Cosmetic” como FD&C Blue n.1, na dose fixa de 500 g ha⁻¹ para ser detectado por absorvância em espectrofotometria.

Utilizou-se um espectrofotômetro com cubetas de vidro de 3,5 mL e caminho óptico de 10 mm, com lâmpada de tungstênio-halogênio para realizar as leituras. A detecção foi feita por absorvância em 630 nm.

Após a pulverização, foram marcadas 10 plantas ao acaso em cada repetição e, em cada planta, foram coletadas uma folha na parte superior e uma folha na parte inferior. As folhas, separadas por posição, foram, então, colocados em sacos plásticos e acondicionadas em recipientes providos de isolamento térmico e luminoso para o transporte até o laboratório.

Em laboratório, adicionaram-se 100 mL de água destilada em cada saco plástico contendo as folhas. Eles foram fechados e agitados por 15 min em agitador pendular TE-240 (Tecnal, Brasil) a 120 rpm para a extração do traçador presente nas amostras. Em seguida, o líquido foi retirado e transferido para copos plásticos, os quais foram acondicionados em local refrigerado provido de isolamento luminoso por 24 horas para posterior leitura de absorvância no espectrofotômetro. A área das folhas foi medida com um medidor de área foliar Licor LI 3100C (Lincoln, USA).

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

Também foram avaliados a cobertura e o espectro de gotas proporcionado pelos diferentes tratamentos. Para isto foram empregadas etiquetas de papel hidrossensível (76 x 26 mm) (Syngenta, Suíça), posicionadas na parte superior e inferior da cultura. Logo após a aplicação em cada parcela, as etiquetas foram coletadas e alocadas dentro de envelopes de papel, devidamente identificados, sendo

então levadas ao laboratório, onde foram digitalizadas e analisadas empregando-se o sistema DropScope® da SprayX (São Carlos, Brasil). Foram analisados a cobertura (%), a densidade de gotas (gotas/cm²), o diâmetro da mediana volumétrica (DMV, µm) e a amplitude relativa (AR).

Para análise estatística, foi realizado um estudo de análise de variância para delineamento inteiramente ao acaso (DIC).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado para análise de deposição empregando o traçador no cafeeiro promovida pela aplicação aérea com a RPA pode ser observado na Tabela 2. As interações entre os fatores ponta, adjuvante e volume de calda não foram significativas para as variáveis estudadas ($p>0,05$), assim analisou-se cada fator de forma isolada. Considerando a deposição na parte superior e inferior, o volume de calda foi um parâmetro que não proporcionou diferença estatística. Em contrapartida, tomando por base as pontas e os adjuvantes, tanto na parte superior quanto na parte inferior, houve diferença estatística, com a ponta Airmix 11001 e o adjuvante Assist proporcionando as maiores médias.

Tabela 2. Deposição ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) de traçador no cafeeiro promovida pela aplicação aérea com aeronave remotamente pilotada empregando diferentes pontas, adjuvantes e volumes de calda.

Tratamento	Deposição na parte superior	Deposição na parte inferior
Ponta		
XR 11001	1,61 b ¹	1,25 b
Airmix 11001	2,29 a	1,82 a
Adjuvante		
Break Thru	1,79 b	1,38 b
Assist	2,11 a	1,69 a
Volume de calda (L/ha)		
10	1,80 a	1,42 a
20	2,09 a	1,65 a
CV ² (%)	22,3	27,3

¹Médias seguidas por letras distintas minúsculas nas colunas, para cada fator, se diferem entre si pelo teste F, ao nível de 0,05 de significância. ²CV: coeficiente de variação.

Conforme Derksen e Sanderson (1996) observaram, o aumento na uniformidade da deposição está diretamente relacionado ao aumento do volume de calda aplicado. No entanto, é importante considerar que a área foliar possui uma capacidade de retenção limitada. Assim, o aumento no volume de calda aplicado, além de certo limite, resulta em um aumento nos custos operacionais e na contaminação ambiental. Ademais, a inclusão de adjuvantes pode afetar o desempenho das aplicações. Portanto, é crucial entender o funcionamento desses

produtos e as implicações de seu uso antes de adquiri-los e empregá-los (LAN et al., 2007).

Além disso, corroborando com Junqueira (2023), constatou-se que a deposição na parte inferior das plantas foi ligeiramente menor em comparação com a parte superior. Esse fenômeno é atribuído à maior distância em relação ao ponto de lançamento das gotas. Em aplicações terrestres, geralmente, o ponto mais distante é a ponta das árvores, enquanto em aplicações aéreas, o desafio principal de deposição costuma estar na parte inferior da cultura.

Foi realizado também análise da cobertura (%) e da densidade de gotas (gotas/cm²) geradas na aplicação no cafeeiro, utilizando papéis hidrossensíveis (Tabela 3). Neste contexto, é crucial exercer cautela na interpretação dos resultados. Devido à sensibilidade do papel à água, existe uma propensão a superestimar os tratamentos com maiores taxas de aplicação, sem levar em consideração a concentração da calda.

Tabela 3. Cobertura (%) e densidade de gotas (gotas/cm²) geradas na aplicação aérea com aeronave remotamente pilotada empregando diferentes pontas, adjuvantes e volumes de calda.

Tratamento	Cobertura		Densidade	
	Parte superior	Parte inferior	Parte superior	Parte inferior
Ponta				
XR 11001	1,48 a ¹	1,06 a	14,86 a	14,56 a
Airmix 11001	1,77 a	1,30 a	18,12 a	17,81 a
Adjuvante				
Break Thru	1,30 b	1,02 a	14,26 b	14,21 b
Assist	1,95 a	1,34 a	18,73 a	18,15 a
Volume de calda (L/ha)				
10	1,32 b	0,83 b	14,00 b	11,46 b
20	1,94 a	1,54 a	18,98 a	20,91 a
CV ² (%)	38,97	38,90	27,59	27,79

¹Médias seguidas por letras distintas minúsculas nas colunas, para cada fator, se diferem entre si pelo teste F, ao nível de 0,05 de significância. ²CV: coeficiente de variação.

Para as pontas, considerando a parte superior e inferior da planta, em cobertura (%) e densidade de gotas (gotas/cm²), não houve diferença entre os tratamentos. Por outro lado, as composições de calda (adjuvante) e os volumes de calda diferiram entre si, exceto para cobertura, na parte inferior, com os adjuvantes Break Thru e Assist, que permaneceram iguais. Na parte superior, as maiores

coberturas foram obtidas com o óleo mineral e o volume de calda de 20 L.ha⁻¹. Na parte inferior, apenas o maior volume de calda se diferenciou do menor volume. Em relação à densidade de gotas, houve o mesmo comportamento, com destaque para o óleo mineral e 20 L.ha⁻¹.

Conforme destacado por Lucini (2022), a porcentagem de cobertura das gotas durante as pulverizações é um parâmetro de extrema importância para avaliar a eficácia da aplicação. De acordo com as observações de Chen et al. (2021) em aplicações utilizando veículos aéreos não tripulados, constatou-se que a porcentagem de cobertura aumentou proporcionalmente ao aumento do volume de calda.

A densidade de gotas (gotas/cm²) é um indicador que oferece informações sobre quantas gotas atingiram uma área de um centímetro quadrado, sendo um parâmetro internacionalmente reconhecido para a calibração da deposição. Nas operações de pulverização, a densidade de gotas a ser depositada no alvo varia de acordo com o produto a ser aplicado e o alvo a ser alcançado, conforme ressaltado por Lucini (2022).

A partir das análises dos papéis hidrossensíveis, verificou-se que o diâmetro da mediana volumétrica (DMV) (Tabela 4), considerando as pontas e as partes superior e inferior da planta, na primeira variou de 204,46 a 308,13 µm, enquanto na segunda variou de 225,54 a 355,42 µm, com maiores diâmetros para a ponta de indução de ar. Não houve diferença quanto ao DMV em relação aos adjuvantes e volume de calda. A amplitude relativa (AR) do espectro de gotas geradas variou de 0,83 a 1,01, não havendo diferença entre os tratamentos.

Tabela 4. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV, μm) e amplitude relativa (AR) do espectro de gotas geradas na aplicação aérea com aeronave não tripulada empregando diferentes pontas, adjuvantes e volumes de calda.

Tratamento	DMV		AR	
	Parte superior	Parte inferior	Parte superior	Parte inferior
Ponta				
XR 11001	204,46 b ¹	225,54 b	0,86 a	0,94 a
Airmix 11001	308,13 a	355,42 a	0,91 a	0,93 a
Adjuvante				
Break Thru	249,79 a	297,11 a	0,83 a	0,87 a
Assist	262,80 a	283,85 a	0,94 a	1,00 a
Volume de calda (L/ha)				
10	261,79 a	299,28 a	0,92 a	0,86 a
20	250,80 a	281,69 a	0,84 a	1,01 a
² CV (%)	17,23	25,76	34,08	47,79

¹Médias seguidas por letras distintas minúsculas nas colunas, para cada fator, se diferem entre si pelo teste F, ao nível de 0,05 de significância. ²CV: coeficiente de variação.

Conforme mencionado por Richardson, Rolando e Kimberley (2020), a pulverização utilizando RPAs tem sido conduzida com uma variedade ampla de tamanhos de gotas, abrangendo desde as mais finas até as mais grossas, sendo essa escolha influenciada pelas condições meteorológicas e pelo fluxo de ar gerado pelas pás dos rotores. No entanto, é fundamental compreender a relação entre a cobertura do alvo e os diversos fatores de interferência envolvidos nesse processo.

Adicionalmente, o estudo conduzido por Cross et al. (2001) investigou o impacto da variação no tamanho das gotas (com diâmetro mediano volumétrico variando de 156 a 237 μm) na deposição de calda em alvos naturais. Os pesquisadores também constataram uma cobertura semelhante do alvo ao utilizar gotas dentro desse intervalo de diâmetro, atribuindo isso às perdas de gotas menores devido à deriva e evaporação.

5 CONCLUSÕES

As pontas de indução de ar Airmix, sob condições de campo, mostraram-se mais adequadas à aplicação com a RPA do que as pontas de jato plano standard XR, ao proporcionarem maior deposição de calda no dossel do cafeeiro.

O emprego do óleo mineral mostrou-se vantajoso ao melhorar a deposição de calda nas folhas do cafeeiro, embora o espalhante tenha maior capacidade de redução de tensão superficial da calda.

O maior volume de calda (20 L/ha) proporcionou maior densidade de gotas depositadas no alvo, bem como maior cobertura, resultado bastante relevante principalmente quando da utilização de fitossanitários de contato.

A ponta Airmix produziu gotas de maior tamanho em relação à XR, o que se constitui numa importante estratégia para redução de deriva, principalmente em situações de campo onde haja presença de vento.

REFERÊNCIAS

ADEGAS, F. S.; GAZZIERO, D. L. P. **Tecnologia de aplicação de agrotóxicos**. 2020.

Agência Nacional de Aviação Civil-ANAC. **Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil**. ANAC, 2017. 26 p. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94>. Acesso em: 31 de jan. 2024.

ANTUNIASSI, U.R. Qualidade em tecnologia de aplicação de defensivos. Congresso Brasileiro de Algodão, 5., 2005, Salvador. **Anais eletrônicos...** Campina Grande. Embrapa Algodão, 2005.

BERGO, C. L.; MENDES, A. N. G. Propagação Vegetativa do Cafeeiro (*Coffea arabica* L.) Por Meio de Enraizamento de Estacas. **Ciênc. agrotec.**, v.24, n.2, p.392-398, abr./jun., 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento- MAPA /Gabinete da Ministra. **Portaria MAPA Nº 298, de 22 de setembro de 2021**. Estabelece regras para operação de aeronaves remotamente pilotadas destinadas à aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes. Diário Oficial da União: Edição 182, Seção 1, n. 298, p. 14, 2021.

CHEN, P. et al. Droplet distributions in cotton harvest aid applications vary with the interactions among the unmanned aerial vehicle spraying parameters. **Industrial Crops and Products**, v. 163, p. 113324, 2021. ISSN 09266690. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926669021000881>. Acesso em: 31 jan. 2024.

CROSS, J.V.; WALKLATE, P.J.; MURRAY, R.A.; RICHARDSON, G.M. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 2. Effects of spray quality. **Crop Protection**, London, v.20, p.333-343, 2001.

CUNHA, J. P. A. R.; ALVARENGA, C. B.; RINALDI, P. C. N.; MARQUES, M. G.; ZAMPIROLI, R. Use of remotely piloted aircrafts for the application of plant protection products. **Engenharia Agrícola**, v. 41, p. 245-254, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v41n2p245-254/2021>.

CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S.; MARQUES, R. S. Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciência Agronômica**, Apr-Jun 2017, v. 48, n. 2, p. 261- 270. Disponível em <https://www.scielo.br/>. Acesso em: 27 fev. 2024.

DERKSEN, R.C.; SANDERSON, J.P. Volume, speed and distribution technique effects on poinsettia foliar deposit. **Transactions of the ASAE**, v.39, n.1, p.5-9, 1996.

DUARTE, D. A. **Mercado global de drones agrícolas deve quadruplicar até 2024**. Disponível em: <https://agevolution.canalrural.com.br/mercado-global-de-drones-agricolas-deve-quadruplicar-ate->

2024/#:~:text=O%20mercado%20global%20de%20drones>. Acesso em: 10 fev. 2024.

FERREIRA, L. T. **Receita bruta dos Cafés do Brasil foi estimada em R\$ 67 bilhões e ocupa o quarto lugar no ranking das lavouras.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/71119916/receita-bruta-dos-cafes-do-brasil-foi-estimada-em-r-67-bilhoes-e-ocupa-o-quarto-lugar-no-ranking-das-lavouras>>. Acesso em: 11 fev. 2024.

GONÇALVES, P. A. S. **Inventário de dados de tecnologia de aplicação em bulas de produtos fitossanitários registrados para a cultura do café.** 2022. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

JUNQUEIRA, A. R. **Deposição de calda aplicada com aeronave remotamente pilotada na cultura do café.** 2023. 17 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

LAN, Y.; HOFFMANN, W. C.; FRITZ, B. K.; MARTINS, D. E.; LOPEZ, L. E. **Drift reduction with drift control adjuvants.** St. Joseph: ASABE - Annual International Meeting, 2007. 14 p. (Paper, 07-1060).

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

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

MARTINS, J. J.; PACETTI, M. de C.; CARVALHO, L. A. Enraizamento na cultura de café com aplicação de hormônio. **Anais do Encontro Científico-Acadêmico UNIFEOB 2022**, p. 121, 2022.

MENDES, L. G. **Drone para pulverização: quando a tecnologia vale a pena?** Disponível em: <<https://blog.aegro.com.br/drone-para-pulverizacao/>>. Acesso em: 10 fev. 2024.

PRESSINOTT, F. **Café: USDA reduz estimativa de produção no Brasil em 2023/24.** Disponível em: <<https://globo rural.globo.com/agricultura/cafe/noticia/2023/11/cafe-usda-reduz-estimativa-de-producao-no-brasil-em-202324.ghtml>>. Acesso em: 10 fev. 2024.

RAETANO, C. G.; CHECHETTO, R.G. **Adjuvantes e Formulações.** Tecnologia de aplicação para culturas anuais. 2. ed. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu (SP): FEPAF, 2019. Cap. 2. p. 29-47.

REVISTA CAFEICULTURA. **Mais uniformidade na formação do cafezal Por José Braz Matiello**. Disponível em: <<https://revistacafeicultura.com.br/mais-uniformidade-na-formacao-do-cafezal-por-jose-braz-matiello/>>. Acesso em: 27 fev. 2024.

RIBEIRO, J. G; MARINHO, D. Y; ESPINOSA, J. W. M. **Agricultura 4.0: Desafios À Produção De Alimentos E Inovações Tecnológicas**. Catalão, p. 1-7, ago. Acesso em: 31 de jan. de 2024.

RICHARDSON, B.; ROLANDO, C. A.; KIMBERLEY, M. O. Quantifying spray deposition from a UAV configured for spot spray applications to individual plants. **Transactions of the ASABE**, v. 63, n. 4, p. 1049–1058, 2020. ISSN 2151-0040. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?AID=51706&t=3&dabs=Y&redir=&redirType=>. Acesso em: 06 nov. 2022.

SENAR – Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Café: construção de viveiros e produção de mudas / Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR)**. — 1. ed. Brasília: SENAR, 2017. 72 p. il. ; 21 cm ISBN 978-85-7664-163-6

SILVA, J. M. P. .; CAVICHIOLI , F. A. . O USO DA AGRICULTURA 4.0 COMO PERSPECTIVA DO AUMENTO DA PRODUTIVIDADE NO CAMPO. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 616–629, 2020. DOI: 10.31510/infa.v17i2.1068. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1068>. Acesso em: 20 fev. 2024.