

GUSTAVO MOREIRA RIBEIRO

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA DERIVA E DEPÓSITO EM FOLHA DE CAFEEIRO
SOB DIFERENTES TAXAS DE APLICAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, como parte das exigências para obtenção do título de “Mestre”.

Área de concentração: Informações geoespaciais e tecnologias aplicadas à produção agrícola

Orientador: Prof. Dr. Cleyton Batista de Alvarenga

MONTE CARMELO – MG

2024

GUSTAVO MOREIRA RIBEIRO

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA DERIVA E DEPÓSITO EM FOLHA DE CAFEEIRO
SOB DIFERENTES TAXAS DE APLICAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, como parte das exigências para obtenção do título de “Mestre”.

Área de concentração: Informações geoespaciais e tecnologias aplicadas à produção agrícola

Monte Carmelo, 08 de julho de 2024.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Cleyton Batista de Alvarenga (UFU)

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

Prof. Dr. Marconi Ribeiro Furtado Júnior (UFV)

MONTE CARMELO – MG

2024

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

R484
2024

Ribeiro, Gustavo Moreira, 1997-
Distribuição espacial da deriva e depósito em folha de
cafeeiro sob diferentes taxas de aplicação [recurso
eletrônico] / Gustavo Moreira Ribeiro. - 2024.

Orientador: Cleyton Batista de Alvarenga.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de
Uberlândia, Pós-graduação em Agricultura e Informações
Geoespaciais.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.455>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Agronomia. I. Alvarenga, Cleyton Batista de, 1981-,
(Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-
graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais.
III. Título.

CDU: 631

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações
 Geoespaciais
 Rodovia LMG 746, Km 01, s/nº, Bloco 1AMC, Sala 1A202, Monte Carmelo-MG, CEP 38.500-000
 Telefone: (34) 3810-1033 - ppgaig@iciag.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agricultura e Informações Geoespaciais				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico				
Data:	08/07/2024	Hora de início:	13:30	Hora de encerramento:	15:40
Matrícula do Discente:	32222AIG003				
Nome do Discente:	Gustavo Moreira Ribeiro				
Título do Trabalho:	Distribuição espacial da deriva e depósito em folha de cafeeiro sob diferentes taxas de aplicação				
Área de concentração:	Informações geoespaciais e tecnologias aplicadas à produção agrícola				
Linha de pesquisa:	Sistemas integrados de produção vegetal				

Reuniu-se na sala de reuniões virtual [<https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ay4nj8sVnyuVoCgcGTH7I-MaBmj-QsnCSNgkJCaNaGc1%40thread.tacv2/1717420795178?context=%7b%22Tid%22%3a%22cd5e6d23-cb99-4189-88ab-1a9021a0c451%22%2c%22Oid%22%3a%223a3c1498-b650-4d83-810a-46ac32cd74aa%22%7d>], banca examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais, assim composta: Prof. Dr. Cleyton Batista de Alvarenga (Presidente - Universidade Federal de Uberlândia), Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha (Universidade Federal de Uberlândia) e Prof. Dr. Marconi Ribeiro Furtado Júnior (Universidade Federal de Viçosa). Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Dr. Cleyton Batista de Alvarenga, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

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

Aprovado.

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

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

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



Documento assinado eletronicamente por **Cleyton Batista de Alvarenga, Presidente**, em 08/07/2024, às 15:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha, Professor(a) do Magistério Superior**, em 08/07/2024, às 15:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marconi Ribeiro Furtado Júnior, Usuário Externo**, em 09/07/2024, às 11:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5508618** e o código CRC **1BE052E3**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e São José por todas as bênçãos, proteção e saúde durante a caminhada até aqui.

Aos meus pais José Ribeiro e Beatriz, meu eterno obrigado pela vida e todo incentivo.

A minha companheira de vida Neiliane, pelo carinho, paciência, companheirismo e suporte para continuar.

Ao meu filho José Miguel, pelo carinho e motivo de força todos os dias.

Ao meu orientador Dr. Cleyton Batista Alvarenga pela paciência, empenho, incentivo e ensinamentos durante o planejamento e desenvolvimento deste trabalho.

Ao técnico Renan Zampiroli e a doutoranda Layanara Faria por toda disponibilidade e pelo auxílio para aplicação do experimento, coleta de dados e construção do trabalho.

Ao Programa de Pós Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais – PPGAIG, Universidade Federal de Uberlândia – UFU e todos os professores que contribuíram com a minha evolução pessoal e profissional durante este período.

A todos o meu muito obrigado e gratidão!

RESUMO

Na cafeicultura a pulverização é utilizada para aplicação de nutrientes e produtos fitossanitários, necessitando que a calda seja depositada de forma eficiente no alvo. Porém, durante a aplicação, parte da calda é perdida para o ambiente, sendo necessário conhecer o desempenho dos equipamentos de pulverização para minimizar perdas, garantir um controle eficaz dos problemas fitossanitários e promover maior segurança ambiental. O objetivo do trabalho foi avaliar o depósito nas folhas pulverizadas e as perdas acima da copa, no solo e nas folhas de ruas adjacentes à área aplicada com pulverizador hidropneumático, em diferentes taxas de aplicação. Foram utilizadas as pontas JA1 e MAG2 para as taxas de 200 e 400 L ha⁻¹, respectivamente. Para avaliação da deposição adicionou um marcador na calda para posterior detecção no espectrofotômetro. A avaliação foi realizada em quatro ruas adjacentes para cada lado do pulverizador. Foram utilizados a taxa, o lado de aplicação e a rua para o ajuste de um modelo linear misto e as médias comparadas pelo teste de Tukey, com ajuste de Sidak. Foi realizado uma interpolação por krigagem ordinária para avaliar a distribuição espacial das variáveis. No geral, observou-se maior depósito para o lado esquerdo em comparação ao direito para todas as variáveis, quando uma maior deposição foi observada para o lado direito ocorreu devido ao efeito da direção do vento. As perdas para o solo, acima da copa e nas folhas em ruas subsequentes ocorreram até a quarta rua avaliada, influenciadas pela taxa de aplicação, direção do vento e tamanho de gotas. A interpolação de mapas permitiu analisar a distribuição espacial das perdas de pulverização com variáveis apresentando forte dependência espacial. A taxa de 400 L ha⁻¹ depositou mais produto na área diretamente pulverizada, apresentou menor deriva acima da copa e na folha de ruas subsequentes, porém proporcionou maior perda para o solo no lado esquerdo.

Palavras-chave: Perdas de pulverização, depósito de calda, pulverizador de jato de ar, *Coffea arabica* L.

ABSTRACT

In coffee farming, spraying is used to apply nutrients and phytosanitary products, requiring the syrup to be deposited efficiently on the target. However, during application, part of the spray is lost to the environment, making it necessary to know the performance of spraying equipment to minimize losses, ensure effective control of phytosanitary problems and promote greater environmental safety. The objective of the work was to evaluate the deposition on the sprayed leaves and the losses above the canopy, on the ground and on the leaves of streets adjacent to the area applied with a hydropneumatic sprayer, at different application rates. The JA1 and MAG2 tips were used for rates of 200 and 400 L ha⁻¹, respectively. To evaluate deposition, a marker was added to the mixture for subsequent detection in the spectrophotometer. The assessment was carried out on four adjacent streets on each side of the sprayer. The rate, application side and street were used to adjust a linear mixed model and the means were compared using the Tukey test, with Sidak adjustment. An interpolation using ordinary kriging was performed to evaluate the spatial distribution of the variables. In general, greater deposition was observed on the left side compared to the right for all variables, when greater deposition was observed on the right side, it was due to the effect of wind direction. Losses to the soil, above the canopy and on leaves in subsequent streets occurred up to the fourth street evaluated, influenced by the application rate, wind direction and droplet size. Map interpolation allowed analyzing the spatial distribution of spray losses with variables showing strong spatial dependence. The rate of 400 L ha⁻¹ deposited more product in the directly sprayed area, showed less drift above the canopy and in the leaf of subsequent streets, but caused greater loss to the soil on the left side.

Keywords: Spraying losses, spray deposition, airblast Sprayer, *Coffea arabica* L.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	MATERIAL E MÉTODOS	2
2.1	Área experimental.....	2
2.2	Conjunto trator e pulverizador.....	3
2.3	Taxa de aplicação.....	3
2.4	Avaliação do espectro de gotas.....	3
2.5	Calibração do pulverizador.....	4
2.6	Preparo da calda.....	5
2.7	Condições meteorológicas	5
2.8	Avaliação e coleta de depósito e perdas de pulverização	5
2.9	Análise laboratorial e quantificação do marcador	9
2.10	Análises estatística.....	9
2.10.1	Análise de variância e teste de médias	9
2.10.2	Geoestatística.....	10
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
4	CONCLUSÕES.....	24
	REFERÊNCIAS	24

1 INTRODUÇÃO

A produção de café (*Coffea arabica* L.) representa uma atividade agrícola importante, sendo o Brasil o maior produtor e exportador do grão (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB 2023). A cultura está sujeita ao ataque de pragas e doenças, necessitando muitas vezes de controle químico (Alves et al. 2014). Segundo Palma et al. (2021), a aplicação de produtos fitossanitários via pulverização é uma das formas mais utilizadas para proteção das culturas contra pragas, doenças e plantas daninhas.

Na cafeicultura, a pulverização pode ser utilizada para aplicação de nutrientes e produtos fitossanitários, onde o objetivo principal é que a calda seja depositada de forma homogênea na planta, garantindo que a dose correta de produto proporcione o controle eficaz do alvo desejado com o mínimo de perdas para o ambiente. Porém, durante a aplicação parte da calda pode não atingir o alvo, sendo depositada diretamente no solo, por escorrimento da vegetação ou arrastada por correntes de ar, configurando a deriva (Grella et al. 2017). Nesse sentido, torna-se necessário conhecer o desempenho dos equipamentos de pulverização, para uma correta aplicação no sentido de obter um controle eficaz e maior segurança ambiental (Alves & Cunha 2014).

Os pulverizadores hidropneumáticos são mais utilizados para aplicação de produtos em culturas verticais, como citros, vinhedos e arbóreas, pulverizando lateralmente e para cima das copas por meio de um fluxo de ar (Salas et al. 2022). Estes pulverizadores comumente utilizam pontas de jato cônico que produzem gotas finas e, associado ao fluxo de ar, apresentam alto potencial de deriva (Onler et al. 2020). Para um ajuste correto do pulverizador deve ser levado em consideração a velocidade, volume de ar, taxa de aplicação, ponta e orientação das pontas dependendo da vegetação a ser pulverizada (Garcera et al. 2022).

Estudo conduzido por Palma et al. (2021) com diferentes classes de gotas (fina e grossa), taxas de aplicação (250 e 400 L ha⁻¹) e dois adjuvantes mostrou que a classe de gotas foi o fator mais importante a se considerar no planejamento da aplicação do café, o segundo fator mais importante para a deposição de calda foi o uso de adjuvantes e a interação entre adjuvantes e taxa de aplicação. Já para cobertura e densidade de gotas, a taxa de aplicação obteve forte influência. Garcera et al. (2022), avaliando o perfil de distribuição vertical de três pulverizadores hidropneumáticos com variação do ajuste de pontas em função do volume de copa, pontas (gota fina e média), taxa de aplicação e velocidade do ar da turbina, verificaram que a taxa de aplicação em todos os casos apresentou efeito significativo no volume coletado no perfil avaliado. No geral, observou-se que quanto maior o volume de aplicação maior foi a

deriva acima do dossel.

Alves et al. (2020), avaliando a deposição de calda nas folhas e em placas de Petri distribuídas no solo, em função de diferentes taxas de aplicação, volumes de copa e estádios fenológicos do cafeeiro, observaram que a deposição nas placas, independente do estágio fenológico e da copa, foi maior à medida que aumentou a taxa de aplicação. As taxas de 200 e 300 L ha⁻¹, em geral, apresentaram menor perda para o solo e maior deposição na copa.

Crause et al. (2020) verificaram que a deriva em café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) diminuiu ao longo da maior distância da área alvo e a maior deriva se concentrou até 15 m da área aplicada com pulverizador hidropneumático na taxa de 600 L ha⁻¹. Kasner et al. (2018) observaram deriva com o pulverizador hidropneumático em pomar até 52 m na direção do vento.

Diante disso, este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar a deposição na área diretamente pulverizada e a deriva acima da copa, no solo e nas folhas em ruas subsequentes com pulverizador hidropneumático no cafeeiro *Coffea arabica* L. em função de diferentes taxas de aplicação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área experimental

O ensaio foi realizado na fazenda Jataí, localizada no município de Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil, em maio de 2023. Situada nas coordenadas 18°49'21,4" S, 47°22'45,4" O e altitude média de 1.000 m (Figura 1).

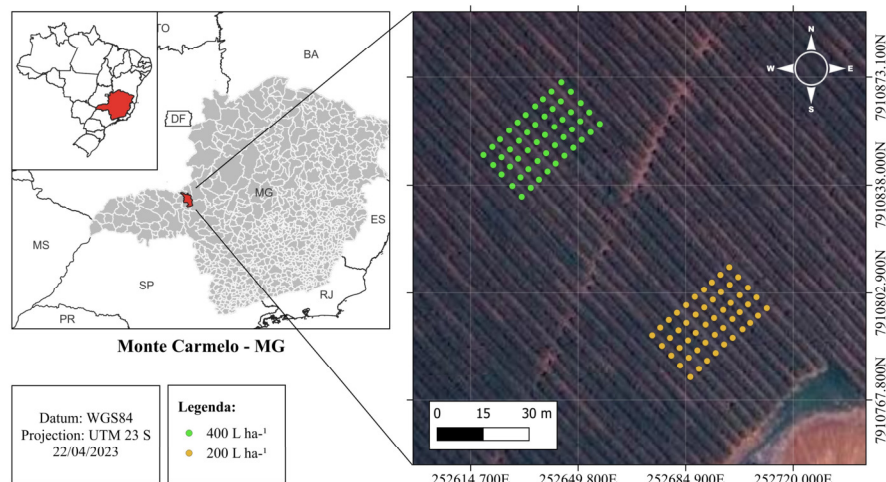


FIGURA 1 – Localização da área experimental e distribuição dos pontos de avaliação.

O experimento foi conduzido em uma área de café com a cultivar Mundo Novo no período de maturação dos frutos, com 5 anos de idade, espaçamento 3,8 x 0,60 m. O talhão apresentou 2,75 m de altura e 1,54 de largura média, totalizando um índice de volume - TRV (Tree Row Volume) de 11.144,73 m³ ha⁻¹ (Byers et al. 1971).

2.2 Conjunto trator e pulverizador

Foi utilizado um pulverizador hidropneumático, modelo Arbus 2000 TF 2P (Jacto, Pompeia, São Paulo, Brasil) com doze bicos em cada barra (totalizando 24 bicos), controle de sessões manual, ventilador de nove pás com ângulo fixo e 850 mm de diâmetro, velocidade do ar de 26 m s⁻¹ e volume do ar de 11,2 m³ s⁻¹, descritas no manual do equipamento.

O acionamento foi realizado por um trator modelo 275 (Massey Ferguson, Itu, São Paulo, Brasil), com potência nominal de 55 kW, tração do tipo 4x2 TDA e velocidade de trabalho de 6,85 km h⁻¹.

2.3 Taxa de aplicação

Para configurar as taxas de aplicação foram utilizadas duas pontas de pulverização de jato cônico vazio com ângulo de 80° confeccionadas em cerâmica e polietileno. A ponta JA1 com pressão ajustável de 413,68 a 2068,43 kPa e vazão de 0,32 a 0,71 L min⁻¹ (Jacto, Pompeia, São Paulo, Brasil) foi utilizada para configurar a taxa de 200 L ha⁻¹. A ponta MAG2 com pressão ajustável de 413,68 a 1034,21 kPa e vazão de 0,64 a 1,0 L min⁻¹ (Magnojet, Ibaiti, Paraná, Brasil) utilizada para obter a taxas de 400 L ha⁻¹.

Utilizou-se os filtros de bico de malha 50 e as pressões de trabalho foram de 482 kPa e 585 kPa, respectivamente, para JA1 e MAG2. As duas pontas segundo o fabricante produziam tamanho de gotas finas para essa pressão de trabalho.

2.4 Avaliação do espectro de gotas

A análise do espectro de gotas das caldas foi feito por um analisador de partículas em tempo real à laser VisiSize Portable P15 (Oxford Lasers, Didcot, Oxfordshire, Reino Unido), que mede partículas entre 10 e 1800 µm. O equipamento utiliza uma câmera de captura com

sistema de lâmpadas led por difração, emitindo pulsos de luz, lendo frames das imagens simultaneamente.

Foi utilizado as pontas nas respectivas pressões de trabalho JA1 a 482 kPa com vazão 0,36 L min⁻¹ e MAG2 a 585 kPa om vazão 0,72 L min⁻¹, com cinco repetições. A temperatura do ar estava entre 22,4 e 22,8°C e a umidade relativa do ar entre 51 e 53%.

Verificou-se o alinhamento do feixe óptico, corrigindo contaminações das lentes por outras partículas, seguindo-se à calibração do equipamento. A medição foi realizada no modo estático com a ponta posicionada a 35 cm do feixe de luz num ângulo de 45°.

Uma amostra de água foi inserida em um reservatório de aço inox com capacidade de 10,0 L, cuja pressurização foi feita por um compressor de ar. Os experimentos foram feitos em câmara de pulverização TE900 (Tecnal, Piracicaba, São Paulo, Brasil).

Foram avaliados os seguintes itens: diâmetro da mediana volumétrica (DMV), amplitude relativa (AR) e o percentual volumétrico de gotas pulverizadas com diâmetro inferior a 100 µm (V100%). A amplitude relativa (AR) foi calculada pela Equação 1, referenciada por Cunha, Bueno e Ferreira (2010):

$$AR = (DV90 - DV10)/(DV50)$$

Onde:

AR = amplitude relativa;

DV10 = diâmetro de gota tal que 10% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor;

DV50 = diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor, também conhecido como diâmetro da mediana volumétrica (DMV);

DV90 = diâmetro de gota tal que 90% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor.

2.5 Calibração do pulverizador

A calibração foi realizada determinando a vazão em todas as pontas do pulverizador de acordo com a vazão exigida para a taxa de aplicação de acordo com a velocidade de trabalho. Após a coleta do volume foi calculado o coeficiente de variação (CV) das pontas sendo 4,06% para JA1 e 2,52% para MAG2.

Para minimizar a perda acima da copa e diretamente no solo foi realizado o alinhamento do ângulo de bicos ao dossel das plantas em uma altura de 2,75 m.

2.6 Preparo da calda

Para determinar a deposição foi utilizado o corante azul brilhante (Food, Drug & Cosmetic Blue n.1), adicionado à calda na dose de 1,0 kg ha⁻¹, para quantificação por espectrofotometria. Foi preparado um volume de 200 L de calda para cada taxa de aplicação e adicionando 1,0 kg e 0,5 kg de corante para as taxas de 200 e 400 L ha⁻¹, respectivamente. O pulverizador foi lavado com água para limpeza do corante entre as pulverizações.

2.7 Condições meteorológicas

Foi utilizada uma estação meteorológica ITWH1080 (Instrutemp, Belenzinho, São Paulo, Brasil) posicionada a uma altura de 2,75 m do solo próximo ao talhão de café para monitorar as condições meteorológicas no momento da aplicação (Tabela 1).

TABELA 1 - Condições meteorológicas médias durante o ensaio

Taxa (L ha ⁻¹)	Temperatura (°C)	Umidade relativa do ar (%)	Velocidade do vento (m s ⁻¹)	Direção do vento
200	21,7	77,25	1,73	E/SE*
400	21,1	78,75	2,88	SE**

* E/SE – leste e sudeste. ** SE – sudeste.

2.8 Avaliação e coleta de depósito e perdas de pulverização

As áreas de avaliação foram constituídas por 38 m de largura e 27 m de comprimento, espaçadas por cinquenta metros. A avaliação de perdas acima da copa, no solo e nas folhas em ruas subsequentes a área pulverizada foi realizada em esquema fatorial hierárquico 2x2x4, sendo duas taxas de aplicação (200 e 400 L ha⁻¹), dois lados do pulverizador (esquerdo - E e direito - D) e quatro ruas subsequentes à área diretamente pulverizada (Esquerda, E1, E2, E3, E4 e Direita, D1, D2, D3 e D4), com cinco repetições (Figura 2).

O depósito na área diretamente pulverizada foi em esquema fatorial hierárquico 2x2x3, duas taxas (200 e 400 L ha⁻¹), dois lados (esquerdo e direito) do pulverizador e três terços da planta (superior, médio e inferior), com cinco repetições. Dentro de cada área de avaliação

realizou-se a coleta de forma hierárquica (lado e rua).

Para avaliação das perdas acima da copa, foi colocado uma fita de polietileno de 1 m de comprimento e 0,016 m de largura, totalizando uma área de 160 cm², em suporte de PVC fixado no ramo ortotrópico, de modo que a fita ficou 0,01 m acima da copa do cafeeiro, no sentido perpendicular ao sentido do pulverizador nas ruas adjacentes à área diretamente pulverizada (Figura 3A).

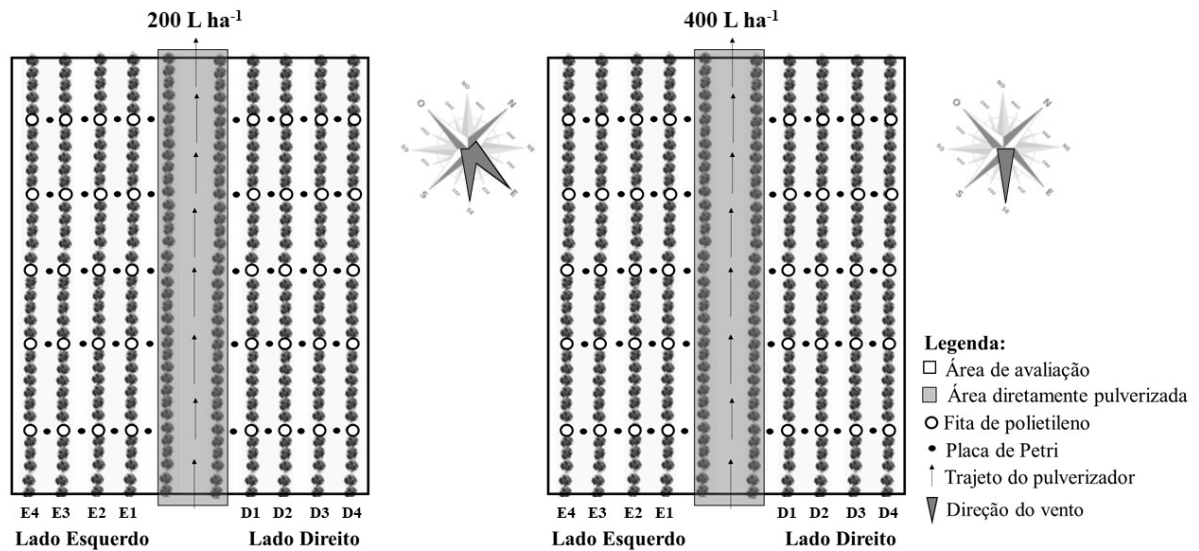


FIGURA 2 - Disposição dos coletores de perdas acima da copa e para o solo na área avaliada e direção do vento no momento da aplicação.

A perda para o solo foi avaliada utilizando placa de Petri, com 0,14 m de diâmetro, totalizando uma área de 153 cm², posicionada na entrelinha no mesmo sentido nas ruas adjacentes (Figura 3B).

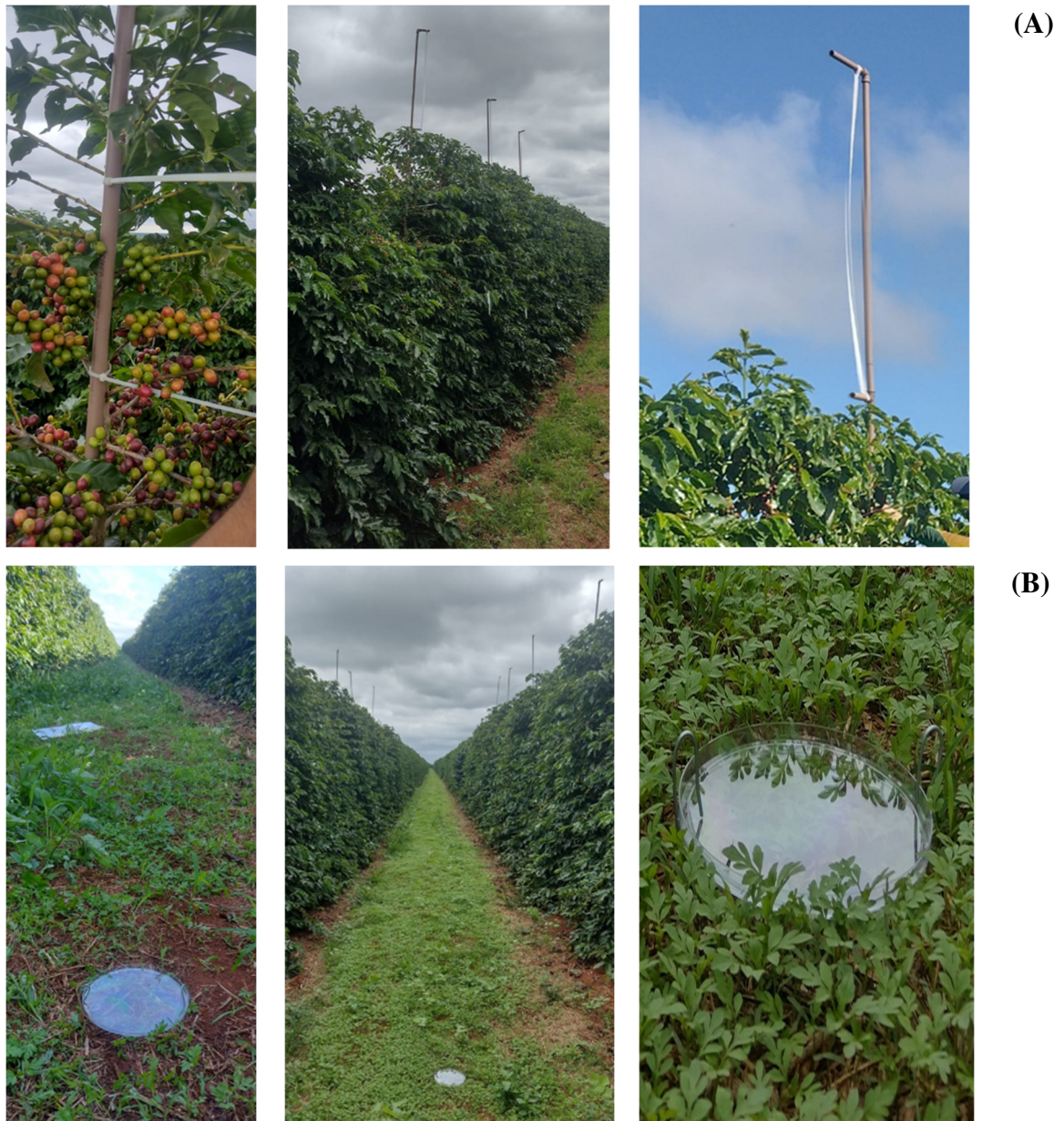
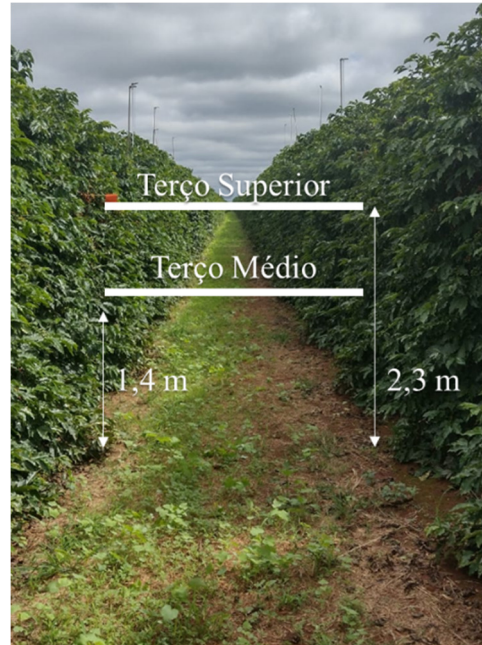


FIGURA 3 – Coletores de perdas acima da copa em suporte de cano PVC (A) e coletores de perdas para o solo na entrelinha do cafeeiro (B).

Nas mesmas plantas que foram instalados o suporte de PVC, realizou-se a coleta do 3^o ou 4^o par de folhas a partir da extremidade dos ramos nos terços médio e superior que se encontravam a 1,4 m e 2,3 m acima do solo, respectivamente, para avaliação da perda nas folhas das ruas adjacentes (Figura 4).



FFIGURA 4 – Esquema de regiões avaliadas para perdas na folha de linhas adjacentes.

Para a depósito na área diretamente pulverizada, foi coletado um par de folha na posição externa (3° ou 4° par de folha a partir da extremidade) e interna a planta (2° ou 3° par de folha a partir do ramo ortotrópico) para cada lado do pulverizador nos diferentes terços, pois esse par de folhas é utilizado para avaliação fitossanitária do cafeeiro (Mundim et al. 2023). Os tratamentos foram casualizados e dentro de cada área de avaliação realizou-se a coleta dos demais tratamentos de forma hierárquica para lado e terço (Figura 5).



FIGURA 5 – Esquema de regiões avaliadas na área diretamente pulverizada

Todas as amostras foram coletadas separadamente em saco plástico devidamente identificados e acondicionadas em caixas de isopor para manutenção da temperatura e abrigo de luz, para evitar a degradação do corante até serem levadas ao laboratório.

2.9 Análise laboratorial e quantificação do marcador

As avaliações em laboratório foram desenvolvidas no Centro de Excelência em Mecanização Agrícola – CEMA, do Instituto de Ciências Agrárias – ICIAG, da Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Campus Monte Carmelo.

Foi adicionado um volume de 20 mL de água destilada por amostra, agitado por trinta segundos para recuperação do corante. Posteriormente, o líquido foi transferido para copos plásticos de 20 mL e colocadas em repouso por 24 horas em refrigerador (Alvarenga et al., 2022).

Posteriormente, uma alíquota de três mililitros proveniente dos copos foi adicionada em cubetas de vidro para leitura no espectrofotômetro digital ESPEC-V-5000 (Tecnal, Piracicaba, São Paulo, Brasil) em comprimento de onda de 630 nm. Foi determinado o depósito de traçador por unidade de área, por meio de curva de calibração, volume de diluição da amostra e área conhecida dos coletores (Palma et al. 2023). A área foliar foi determinada por um medidor de bancada Leaf Area Meter LI-3100C (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EUA).

2.10 Análises estatística

2.10.1 Análise de variância e teste de médias

A análise das variáveis foi realizada utilizando o software R (versão 4.3.1) (R Core Team, 2023). Foi verificado a presença de dados extremos e outliers pelo teste de boxplot e retirados da análise. Foi ajustado um modelo linear misto (LMM) por meio do pacote lme4 (Bates et al. 2015), onde a estimativa dos parâmetros do modelo foi realizada por meio da máxima verossimilhança restrita (REML). As pressuposições de homocedasticidade, normalidade dos dados, linearidade e independência foram checadas por meio da análise dos QQ-plots, todas as variáveis atenderam os pressupostos para geração do modelo (Zuur et al. 2009).

Para o modelo foram considerados como fatores fixos as taxas de aplicação, as ruas, os lados, suas interações e seus efeitos isolados. Para os fatores aleatórios foi considerada a estrutura hierárquica da coleta, composta por rua, dentro de lado e bloco para perdas acima da copa e no solo. Para perda na folha foi considerado terço, dentro de rua, de lado e bloco. Para a deposição na área diretamente pulverizada foram fatores fixos, as taxas, os lados e os terços; o fator aleatório foi utilizada a posição, dentro de terço, de lado e bloco (Kasner et al. 2018).

Para encontrar o melhor ajuste dos dados, inicialmente foi construído um modelo misto incorporando todos os fatores fixos e aleatórios da parcela. Caso não houvesse convergência do modelo, explicada principalmente por sua alta complexidade para o banco de dados analisado, um novo modelo foi testado reduzindo-se a complexidade entre a interação dos fatores fixos e a estrutura do modelo aleatório. Quando diferenças significativas foram encontradas no modelo, as médias estimadas dos fatores foram comparadas pelo teste de Tukey, com ajuste de Sidak, por meio do pacote emmeans (Lenth et al. 2018).

2.10.2 Geoestatística

Foi realizado uma análise geoestatística dos dados para cada variável resposta, deposição na rua diretamente pulverizada e as perdas para o solo, acima da copa e nas folhas. Realizada por meio do plugin Smart-map no software QGIS, através da interpolação dos dados pelo método da krigagem ordinária, o modelo de semivariograma com menor erro médio quadrático (RMSE) e maior coeficiente de determinação (R^2) do conjunto de teste foi escolhido (Pereira et al. 2022; QGIS Development Team, 2024).

A validação cruzada foi utilizada para medir o desempenho dos métodos para cada variável analisada, por meio do cálculo do R^2 e RMSE entre os valores preditos e observados dos modelos utilizados para cada variável e taxa de aplicação (Pereira et al. 2022).

O índice de dependência espacial (IDE) do modelo ajustado aos dados ou a razão percentual do efeito pepita (C_0) em relação ao patamar (C_0+C) foi calculado conforme a equação (Silva et al. 2019):

$$IDE = [(C_0)/(C_0 + C)] * 100$$

Segundo Cambardella et al. (1994), quando o IDE é inferior a 25%, indica uma dependência espacial forte. Se o IDE estiver entre 25 e 75%, a dependência espacial é moderada e acima de 75%, a dependência espacial é fraca.

Através dos valores preditos pelo modelo utilizado na interpolação foi realizado uma análise da porcentagem de ocorrência de cada variável repostada dentro de cada intervalo de classificação do mapa para cada taxa de aplicação para verificar a distribuição em área total de cada variável interpolada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um menor diâmetro de gotas nas respectivas pressões de trabalho foi observado para a ponta JA1 comparado a ponta MAG2 para Dv10, Dv50 e Dv90 (Tabela 2). Observou-se um menor Dv50 para a ponta JA1, apesar de apresentarem a mesma classe de gotas de acordo com a norma ASABE S572.3 (ASABE 2020) gotas muito finas (Dv50 100 - 150 μm). A porcentagem do volume de gotas abaixo de 100 μm foi maior para JA1 e essa ponta apresentou menor amplitude relativa do tamanho de gotas (AR). O menor Dv50 e maior V100% para a ponta JA1 é um indicativo de maior potencial de deriva para essa ponta que configurou a taxa de 200 L ha⁻¹, como mostrado em outros estudos (Gregorio et al. 2019, Miranda-Fuentes et al. 2018). Além disso, uma menor amplitude relativa do tamanho de gotas para a ponta JA1 mostra que a população de gotas de menor tamanho foi mais homogênea comparado a ponta MAG2.

TABELA 2 – Diâmetro volumétrico das gotas nas pressões de trabalho

Diâmetro volumétrico (μm)	Ponta e Pressão de Trabalho	
	JA1	MAG2
	482 kPa	585 kPa
Dv10	97,64	100,06
Dv50	117,26	132,46
Dv90	169,88	237,18
V100 (%)	12,82	9,04
AR	0,61	1,03

AR = amplitude relativa

De acordo com a análise geoestatística houve uma variação entre os atributos de depósito na área diretamente pulverizada, perda acima da copa, para o solo e na folha em cada taxa de aplicação. Para todas as variáveis o melhor modelo ajustado foi o linear.

O depósito na área diretamente pulverizada para as duas taxas apresentou IDE > 75% indicando uma dependência espacial fraca. Os modelos para essa variável apresentaram menor R² e maior RMSE que pode ser explicado devido ao baixo número de pontos amostrais. Pereira et al. (2022) observaram que menor número de pontos amostrais obteve menor coeficiente de determinação para krigagem ordinária. O alcance foi de 4,47 e 4,54 m para as taxas de 200 e

400 L ha⁻¹, respectivamente, que indica a distância até onde os pontos apresentam correlação espacial (Tabela 3).

Para as perdas acima da copa, na folha e para o solo em todas as taxas de acordo com o IDE < 25%, apresentaram uma dependência espacial forte apresentando uma variação de perdas na área, apenas para perda para o solo na taxa de 200 L ha⁻¹ observou-se uma dependência espacial moderada com IDE entre 25-75%, devido uma maior homogeneidade de perdas para o solo nessa taxa (Tabela 3). Valores de coeficiente de determinação R² esteve entre 0,081 e 0,723, e o RMSE variou de 0,040 e 0,097 µg cm⁻². As perdas acima da copa apresentaram alcance de 15,73 e 16,04 m, para perdas na folha foi de 15,63 e 16,07 m e perdas para o solo de 13,77 e 14,683 m, para taxas de 200 e 400 L ha⁻¹, respectivamente.

TABELA 3 – Parâmetros e coeficientes do semivariograma em função da taxa de aplicação para deposição na área diretamente pulverizada e perdas acima da copa, na folha de linhas adjacentes e para o solo

Variável	Taxa (L ha ⁻¹)	Modelo	A (m)	Co	Co+C	IDE (%)	RMSE	R ²
Deposição na área pulverizada	200	Linear	4,472	0,033	0,04	82,5	0,217	0,000
	400	Linear	4,545	0,132	0,17	77,6	0,451	0,000
Perdas acima da copa	200	Linear	15,734	0,000	0,036	0,00	0,097	0,723
	400	Linear	16,038	0,000	0,026	0,00	0,092	0,690
Perdas na folha de linhas adjacentes	200	Linear	15,632	0,000	0,003	0,00	0,040	0,556
	400	Linear	16,070	0,000	0,014	0,00	0,073	0,582
Perdas para o solo	200	Linear	13,773	0,003	0,004	75,0	0,064	0,081
	400	Linear	14,683	0,000	0,015	0,00	0,081	0,594

A = alcance. Co = efeito pepita. Co+C = patamar. IDE = índice de dependência espacial. RMSE = erro médio quadrático. R² = coeficiente de determinação.

A deposição nas plantas da área diretamente pulverizada apresentou interação entre os fatores taxas de aplicação e lado da pulverização (Tabela 4).

A deposição na taxa de aplicação de 400 L ha⁻¹, para o lado esquerdo, foi 40,4% superior ao depósito obtido com a taxa de 200 L ha⁻¹. O efeito da direção do vento pode explicar a maior deposição para o lado esquerdo na taxa de 400 L ha⁻¹, pois na taxa de 200 L ha⁻¹ favoreceu o arraste das gotas para o lado direito da pulverização. Outro fator, é que a maior taxa de aplicação pode ter provocado maior cobertura de gotas nas folhas e conseqüentemente maior deposição de corante (Palma et al. 2021, Zampiroli et al. 2020). Para o lado direito não houve diferença entre as taxas de aplicação.

TABELA 4 - Deposição na área diretamente pulverizada do cafeeiro sob interação de taxas de aplicação e lados de pulverização, e efeito dos terços da planta

Taxa de aplicação (L ha ⁻¹)	Deposição (µg cm ⁻²)	
	Esquerdo	Direito
200	1,09 bA	1,36 aA
400	1,83 aA	1,25 aB

Terço	Deposição (µg cm ⁻²)
Inferior	1,38 a
Médio	1,57 a
Superior	1,20 a

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando o mapa de deposição observa-se que na taxa de 200 L ha⁻¹ no lado esquerdo o depósito esteve na classe de 1,3 µg cm⁻² e para taxa de 400 L ha⁻¹ esteve entre 1,6 a 1,7 µg cm⁻², com a maior porcentagem de área na classe de 1,7 µg cm⁻² indicando maior depósito do marcador. Para o lado direito o depósito foi de 1,3 a 1,5 µg cm⁻² para as duas taxas de aplicação (Figura 6).

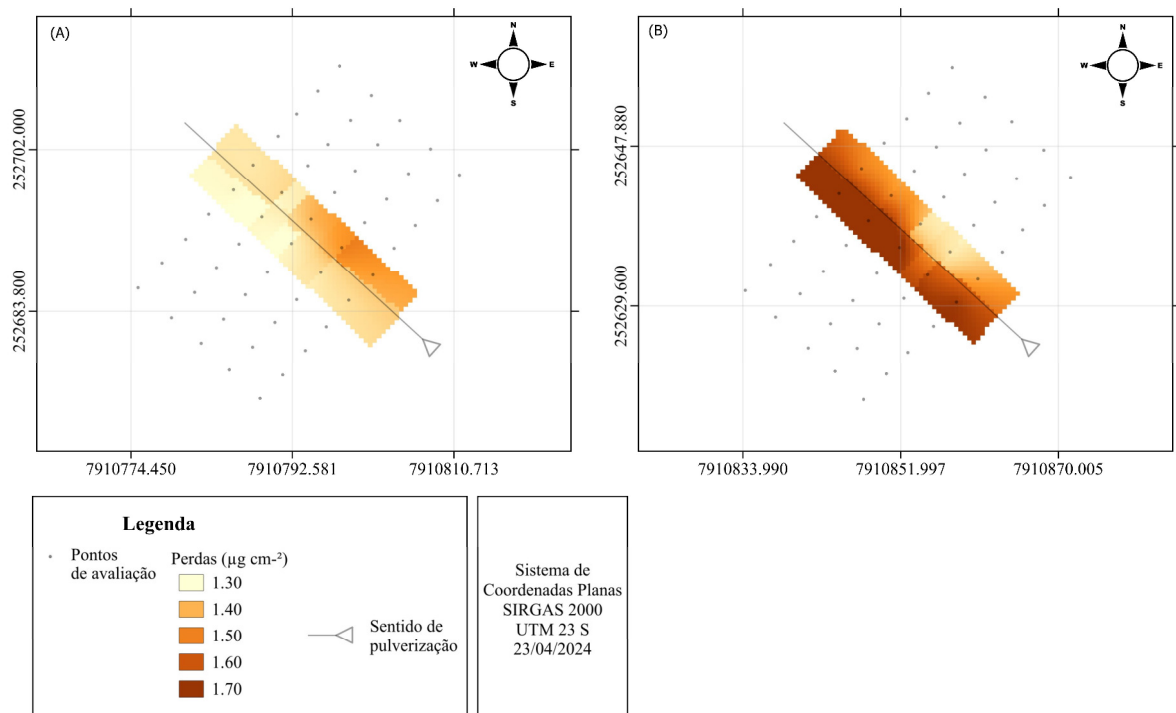


FIGURA 6 – Distribuição espacial da deposição na área diretamente pulverizada em função da taxa de aplicação 200 L ha⁻¹ (A) e 400 L ha⁻¹ (B)

Avaliando o efeito do lado da pulverização para a taxa de 200 L ha⁻¹ não houve diferença. Já para taxa de 400 L ha⁻¹, o depósito no lado esquerdo foi 32,2 % maior que no direito. Esse resultado pode ser explicado pelo sentido de rotação do ventilador (Salas et al. 2022, Dekeyser et al. 2013, Salcedo et al. 2019) e também pela direção do vento. O Arbus 2000 apresenta sentido horário da turbina, o que configura um efeito de maior deposição no lado esquerdo para a taxa de 400 L ha⁻¹. Esse efeito não foi observado na taxa de 200 L ha⁻¹, devido ao sentido predominante do vento, leste/sudeste, no momento da aplicação que favorecia o arraste da nuvem de gotas para o lado direito, ao contrário da taxa de 400 L ha⁻¹, que o vento para sudeste favorecia o arraste da nuvem ao sentido contrário da pulverização em um ângulo de 180° em relação a linha de pulverização.

Efeito da diferença entre os lados da pulverização é evidenciado no mapa de deposição na área diretamente pulverizada onde maior depósito foi observado para o lado direito da pulverização na ordem de 1,3 a 1,5 µg cm⁻² na taxa de 200 L ha⁻¹, comparado ao lado esquerdo que apresentou uma deposição homogênea dentro da classe de 1,3 µg cm⁻² (Figura 6A). Na taxa de 400 L ha⁻¹ um maior depósito foi observado no lado esquerdo da pulverização com maior porcentagem de área com depósito de 1,7 µg cm⁻², comparado ao lado direito que esteve na ordem de 1,3 e 1,5 µg cm⁻² de deposição (Figura 6B).

A deposição entre os terços não apresentou diferença o que mostra que houve uma uniformidade de aplicação entre os terços para as duas taxas de aplicação. A uniformidade entre os terços pode ser explicada devido ao ajuste de ângulos das pontas em relação a copa do cafeeiro, um correto ajuste do ângulo das pontas interfere na distribuição de calda no dossel (Dekeyser et al. 2013). Alves et al. (2020) observaram maior deposição no terço médio.

As perdas a um metro acima da copa do cafeeiro e nas folhas do terço médio e superior de linhas adjacentes foram influenciadas pela interação entre a rua, taxa de aplicação e o lado da aplicação (Tabela 5 e 6).

Avaliando a perda, acima da copa e entre as ruas, para a taxa de 200 L ha⁻¹ houve diferença apenas para o lado direito com maior perda nas ruas 1, 2, 4 e 3, sucessivamente. Esse resultado, semelhante ao obtido por Garcerá et al. (2017), é explicado pelo padrão de gotas mais finas produzidas nessa taxa e a direção do vento que favoreceu o arraste da pulverização para o lado direito. A direção do vento e a trajetória parabólica das gotas proporcionaram menor deposição na rua 3, efeito que favoreceu maior deposição acima da copa a 15,2 metros da área diretamente pulverizada (rua 4) comparada a deposição a 11,4 m (rua 3).

TABELA 5 - Perda acima da copa em ruas subsequentes à área diretamente pulverizada em função da taxa de aplicação e lado da aplicação

Rua	Taxa de aplicação (L ha ⁻¹)	Deposição (µg cm ⁻²)	
		Esquerdo	Direito
1	200	0,529 bB α	0,258 bA γ
	400	0,355 aB αβ	0,092 aA α
2	200	0,425 aB α	0,227 bA βγ
	400	0,399 aB β	0,046 aA α
3	200	0,488 bB α	0,069 aA α
	400	0,371 aB αβ	0,123 aA α
4	200	0,412 bB α	0,100 aA αβ
	400	0,248 aB α	0,016 aA α

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, maiúsculas na linha e letra grega entre ruas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA 6 - Perda na folha em ruas subsequentes à área diretamente pulverizada em função da taxa de aplicação e lado da aplicação

Rua	Taxas de aplicação (L ha ⁻¹)	Deposição (µg cm ⁻²)	
		Esquerdo	Direito
1	200	0,244 aA α	0,224 bA β
	400	0,290 bB γ	0,104 aA α
2	200	0,292 bB α	0,187 bA αβ
	400	0,228 aB αβ	0,057 aA α
3	200	0,261 aB α	0,166 bA α
	400	0,255 aB βγ	0,052 aA α
4	200	0,266 bB α	0,146 bA α
	400	0,199 aB α	0,093 aA α

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, maiúsculas na linha e letra grega entre ruas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Esse resultado é evidenciado no mapa de perdas acima da copa, com perda homogênea na rua 1 e 2 para o lado direito dentro da classe intermediária de 0,230 µg cm⁻². Na rua rua 3 para esse lado da pulverização observa-se uma perda dentro da classe inferior de 0,03 µg cm⁻² e para rua 2 pontos dentro da classe 0,03 e 0,13 µg cm⁻² (Figura 7A).

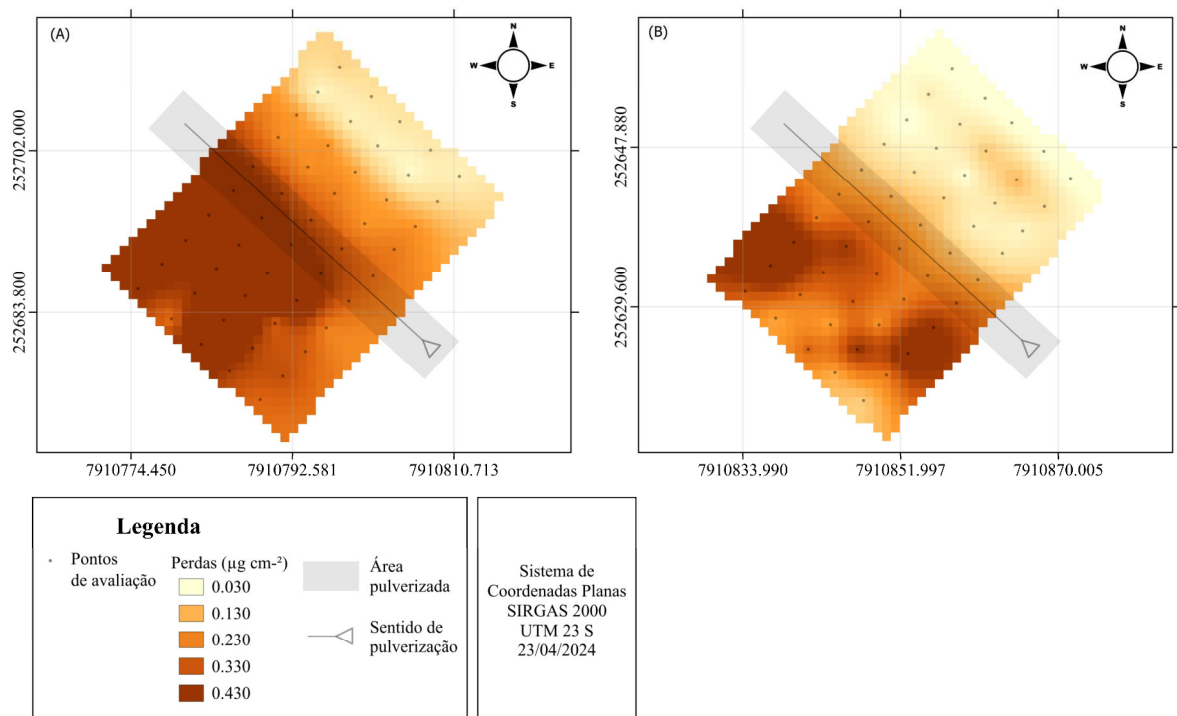


FIGURA 7 – Distribuição espacial da perda acima da copa em função da taxa de aplicação 200 L ha⁻¹ (A) e 400 L ha⁻¹ (B)

Para perdas nas folhas, esse efeito de diferença entre ruas para o lado direito na taxa de 200 L ha⁻¹ também foi observado com maior perda de corante na rua 1 seguido da rua 2 e menor perda nas ruas 3 e 4 que não foram diferentes entre si. Garcerá et al. (2017) observaram que a direção do vento influenciou na deriva aérea entre os lados do pulverizador, porém não inverteu a variação provocada pelo fluxo de ar do ventilador.

Analisando os mapas de perda, o maior incremento de perda na folha foi observado para o lado direito na taxa de 200 L ha⁻¹ na rua 1 dentro da classe de 0,23 $\mu\text{g cm}^{-2}$. Nas ruas 2, 3 e 4 segue uma diminuição da intensidade de coloração indicando decréscimo de perda na folha entre o intervalo de 0,23 e 0,13 $\mu\text{g cm}^{-2}$ (Figura 8A).

Para a taxa de 400 L ha⁻¹, a diferença entre ruas subsequentes foi observada apenas no lado esquerdo, com maior perda acima da copa observada na rua 2, seguido da rua 1 e 3, e menor perda na rua 4. As perdas nas folhas nessa taxa apresentaram diferença apenas para lado esquerdo com maior perda na rua 1 seguido da rua 3, rua 2 e menor deposição na rua 4. Para o lado direito não foi observada diferença entre as ruas.

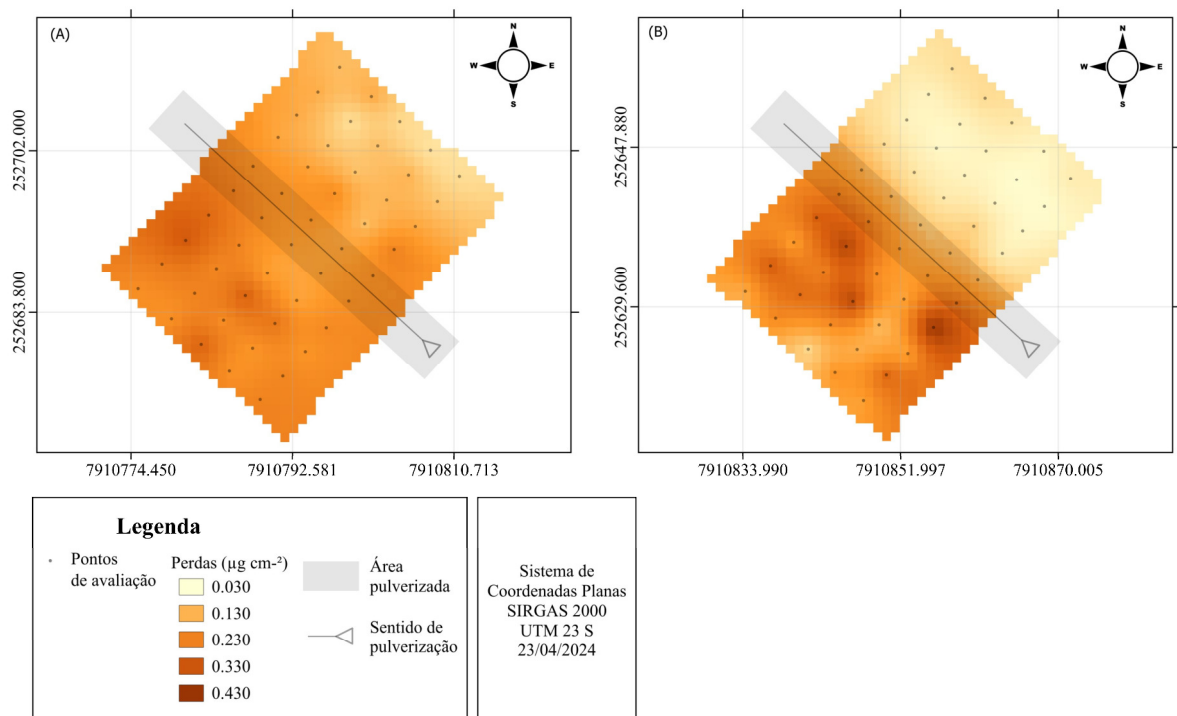


FIGURA 8 – Distribuição espacial da perda na folha em função da taxa de aplicação 200 L ha⁻¹ (A) e 400 L ha⁻¹ (B)

Os mapas de perdas mostram que no lado esquerdo na taxa de 400 L ha⁻¹ houve maior perda acima da copa na rua 2 com perda entre 0,33 a 0,43 $\mu\text{g cm}^{-2}$ e na rua 1 entre 0,23 a 0,43 $\mu\text{g cm}^{-2}$. Para as ruas 3 e 4 percebe-se uma diminuição de intensidade de coloração em alguns pontos que indica diminuição das perdas dentro das classes de 0,23 a 0,33 $\mu\text{g cm}^{-2}$. Em alguns pontos para essa taxa nesse lado observa-se uma concentração de perdas elevada em torno de 0,43 $\mu\text{g cm}^{-2}$ no canto inferior esquerdo nas ruas 1 e 2 e superior esquerdo ruas 3 e 4, esse efeito pode ter sido ocasionado devido a uma variação de maior velocidade do vento (Tabela 1) que tenha favorecido maior perda nesses pontos (Figura 7B).

Para perdas na folha de ruas adjacentes os mapas mostram maior perda na rua 1 dentro da classe de 0,33 a 0,43 $\mu\text{g cm}^{-2}$, um ponto de incremento na rua 2 é observado dentro da classe de 0,33 a 0,43 e para rua 3 maior homogeneidade dentro da classe de 0,33 $\mu\text{g cm}^{-2}$ de perda para a folha. Assim como observado no mapa de perdas acima da copa, uma região de incremento semelhante de perdas para folha no canto superior/mediano e inferior esquerdo para esse lado da pulverização na taxa de 400 L ha⁻¹ mostrando que parte da perda acima da copa foi depositado na folha (Figura 8B).

Esse efeito de diferença entre ruas para esse lado ocorreu devido ao movimento ascendente de ar da turbina, que direcionou as gotas acima do dossel traçando uma trajetória

parabólica da gota, estudado por Hu et al. (2022), que favoreceu a deriva na rua 2 para perda acima da copa e incremento observado na rua 3 para perda na folha. Diferente da taxa de 200 L ha⁻¹, não havia efeito de arraste da nuvem pela direção do vento prevalecendo o efeito de assimetria entre os lados do pulverizador (Salcedo et al. 2021). Para o lado direito esse efeito não foi observado devido ao sentido da turbina que favorece uma direção descendente da pulverização produzindo uma menor quantidade de gotas acima da copa.

Avaliando o efeito da taxa de aplicação para o lado esquerdo, as ruas 1, 3 e 4 apresentaram maior perda acima da copa para a taxa de 200 L ha⁻¹. Para perdas na folha, nesse lado, a taxa de 200 L ha⁻¹ apresentou menor deposição na rua 1, maior deposição nas ruas 2 e 4; e para a rua 3 não houve diferença entre as taxas. A maior deriva é explicada devido ao menor Dv50 e maior V100% produzido pela ponta na taxa de 200 L ha⁻¹, com gotas mais suscetíveis ao efeito de intensidade do ar do ventilador que possibilitou maior deriva também a longas distâncias, bem como foi observado menor deposição na área diretamente pulverizada para a referida taxa nesse lado, como confirmado em outros estudos (Gregorio et al. 2019).

A perda acima da copa foi igual entre as taxas na rua 2. A inércia provocada por gotas mais grossas na taxa de 400 L ha⁻¹, que de acordo com a velocidade do ar produzido e a direção da ponta em relação a copa, resultou em uma rota que favoreceu maior deposição nessa rua para o lado esquerdo, onde a gravidade exerceu maior influência para a classe de gotas mais grossa como observado na rua 3 para a perda na folha. A maior perda na folha da rua 1 para a taxa de 400 L ha⁻¹, no lado esquerdo, pode ser explicado devido um movimento horizontal da pulverização que provavelmente atravessou a copa do cafeeiro na área diretamente pulverizada e proporcionou um incremento de deposição nas folhas da rua 1 subsequente, como observado por (Rathnayake et al. 2021) um movimento horizontal e depois ascendente na saída do pulverizador hidropneumático.

Os mapas de perdas acima da copa mostram que em geral a taxa de 200 L ha⁻¹ apresentou maior perda para o lado esquerdo comparado a taxa de 400 L ha⁻¹ por apresentar uma maior área de perda dentro da classe de 0,43 µg cm⁻² e no canto inferior esquerdo dentro de 0,33 µg cm⁻². A taxa de 400 L ha⁻¹ apresentou pontos com perdas na classe de 0,43 µg cm⁻², mas pontos na ordem de 0,23 a 0,33 µg cm⁻² de perda acima da copa para o lado esquerdo da pulverização (Figura 7). A perda na folha na taxa de 200 L ha⁻¹ para este lado foi homogênea dentro da classe de 0,23 a 0,33 µg cm⁻², na taxa de 400 L ha⁻¹ variou de 0,130 a 0,330 µg cm⁻² com pontos na classe de 0,43 µg cm⁻² de perdas nas ruas próximo a área diretamente pulverizada provavelmente devido ao movimento horizontal da pulverização que pode ter provocado esse incremento de perdas nas folhas (Figura 8).

Para o lado direito, a perda acima da copa na taxa de 200 L ha⁻¹ foi maior nas ruas 1 e 2, nas ruas 3 e 4 não houve diferença entre as taxas de aplicação. A perda na folha, na taxa de 200 L ha⁻¹, apresentou maior depósito de corante em todas as ruas avaliadas. O efeito de maior deriva para a taxa de 200 L ha⁻¹ pode ser explicado devido ao menor Dv50 e maior V100% observado para essa configuração com gotas mais sujeitas à deriva (Grella et al. 2019, Onler et al. 2020) e pelo sentido do vento (Grella et al. 2017) predominante sudeste/leste, que favoreceu o maior arraste e maior perda de produto acima da copa e na folha comparado à maior taxa, onde o vento predominante era leste e não favoreceu o arraste da nuvem de gotas para este lado. Estudos mostram que a direção do vento altera a direção do jato de pulverização e a deposição de gotas é influenciada em alvos a favor ou contrário a direção do vento (Endalew et al. 2008; Kasner et al. 2018).

Os mapas de perdas mostram que para perdas acima da copa na taxa de 200 L ha⁻¹ houve um incremento de perdas nas ruas 1 e 2 no lado direito dentro da classe de 0,23 µg cm⁻² sendo maior que a perdas nessas ruas para a taxa de 400 L ha⁻¹, nas ruas 3 e 4 prevaleceu perdas na ordem de 0,03 a 0,13 µg cm⁻². Na taxa de 400 L ha⁻¹ a perda para esse lado foi homogênea na ordem de 0,03 a 0,13 µg cm⁻², apenas alguns pontos na rua 3 na ordem de 0,23 µg cm⁻² (Figura 7). As perdas na folha para o lado direito da pulverização na taxa de 200 L ha⁻¹ foram quase homogêneas na ordem de 0,13 a 0,23 µg cm⁻², com alguns pontos menores que 0,13 nas ruas 3 e 4, essas perdas foram maiores que na taxa de 400 L ha⁻¹ que apresentou perdas na ordem de 0,03 a 0,13 em todas as ruas (Figura 8).

Avaliando a perda acima do dossel em lados de pulverização houve maior deriva para o lado esquerdo quando comparado ao lado direito, para as duas taxas de aplicação e as quatro ruas subsequentes estudadas. Para a perda na folha apenas na primeira rua, na taxa de 200 L ha⁻¹, não houve diferença entre os lados. O restante das ruas para essa taxa e para taxa de 400 L ha⁻¹ todas apresentaram maior deposição de corante no lado esquerdo da pulverização comparado ao direito.

Maior perda para o lado esquerdo é evidenciada nos mapas de perda acima da copa e nas folhas. As perdas acima da copa na taxa de 200 foram na ordem de 0,33 a 0,43 para o lado esquerdo e 0,03 a 0,23 para o lado direito, na taxa de 400 estiveram dentro das classes 0,13 a 0,43 µg cm⁻² para o lado esquerdo e 0,03 a 0,13 para o lado direito (Figura 7). Para as perdas na folha, as classes estiveram entre 0,23 e 0,33 para lado esquerdo e 0,03 a 0,23 para lado direito na taxa de 200 L ha⁻¹ e 0,13 a 0,43 para lado esquerdo e 0,03 para o lado direito da pulverização na taxa de 400 L ha⁻¹ (Figura 8).

Esse efeito de maior perda para o lado esquerdo está relacionado com a variação da

distribuição do ar do ventilador, podendo provocar maior perda de gotas acima da copa do cafeeiro e favorecer maior deriva para o lado esquerdo da pulverização. Conforme demonstrado em estudos anteriores, uma variação da velocidade de saída do ar entre os lados do pulverizador hidropneumático e em altura em um perfil vertical em função da direção do ventilador, configurando um movimento ascendente ou descendente da pulverização (Bahlol et al. 2020, Garcera et al. 2022, Salas et al. 2022), além disso, uma maior velocidade de saída aumentou o volume de deposição em altura no perfil vertical (Hu et al. 2022). A perda de produto na folha igual entre os lados esquerdo e direito para a taxa de 200 L ha⁻¹ aconteceu devido ao sentido de direção do vento no momento da aplicação, o que favoreceu o arraste de corante para as folhas da rua 1 no lado direito.

Na deriva para o solo houve interação dos fatores taxa e lado. Não houve diferença entre as ruas subsequentes (Tabela 7).

TABELA 7 - Perda para o solo na entrelinha do cafeeiro sob interação de taxas de aplicação e lados de pulverização, e efeito das ruas subsequentes

Taxa de aplicação (L ha ⁻¹)	Deposição (µg cm ⁻²)	
	Esquerdo	Direito
200	0,222 aA	0,165 bB
400	0,269 bA	0,098 aB

Rua	Deposição (µg cm ⁻²)
1	0,214 a
2	0,191 a
3	0,186 a
4	0,163 a

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna e maiúscula na linha não se diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Foi observada maior perda de corante para o solo na taxa de 400 L ha⁻¹ para o lado esquerdo comparado à menor taxa de aplicação. O efeito de maior perda para o solo nessa taxa de aplicação para esse lado pode ser explicado devido ao maior tamanho de gota produzido pela ponta para essa taxa, que devido a cinética de gotas mais grossas estão mais sujeitas a perda para o solo (Lesnik et al. 2015, Grella et al. 2017). Para o lado direito da pulverização, a taxa de 200 L ha⁻¹ apresentou maior perda para o solo, pois a direção do vento favoreceu o arraste das gotas para esse lado o que provocou um incremento de perda para o solo sob esta taxa em comparação a de 400 L ha⁻¹.

O mapa evidencia maior perda para o solo na taxa de 400 L ha⁻¹ com perdas dentro da

classe de 0,13 a 0,43 quando comparado a taxa de 200 L ha⁻¹ que apresentou uma perda homogênea na ordem de 0,23 µg cm⁻² para o lado esquerdo da pulverização. Para o lado direito a taxa de 200 L ha⁻¹ apresentou maior perda entre 0,13 e 0,23 µg cm⁻² comparado a taxa de 400 que apresentou perdas em torno de 0,03 a 0,13 nesse lado da pulverização (Figura 9).

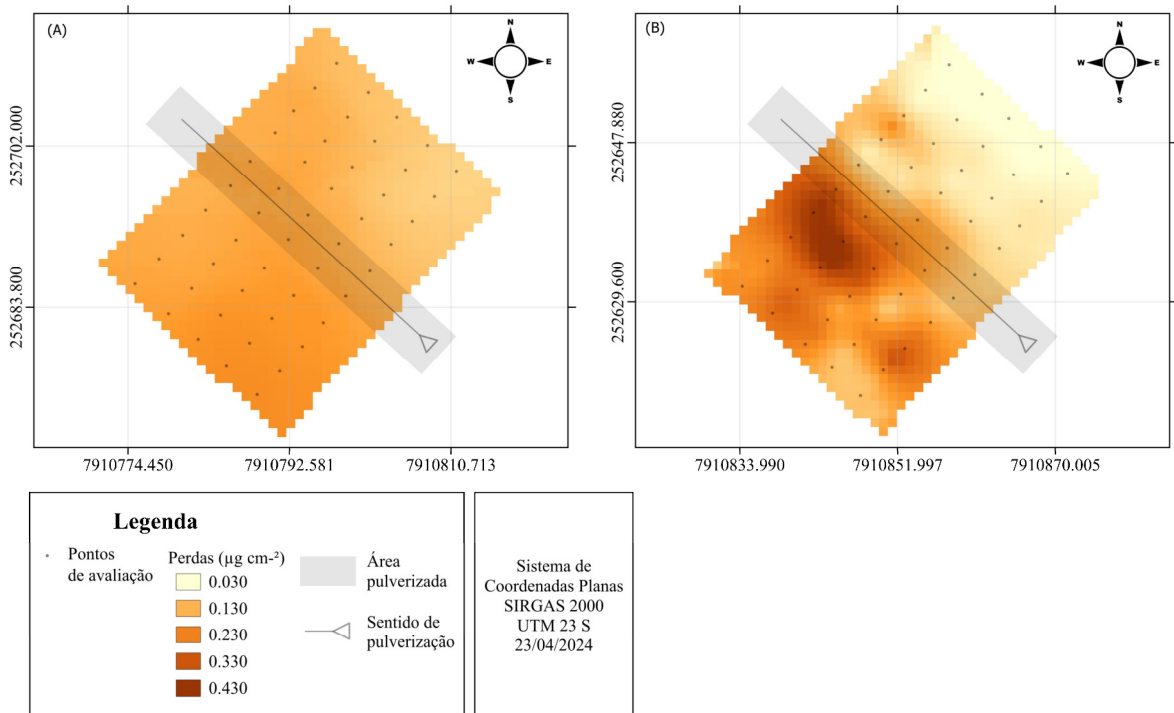


FIGURA 9 – Distribuição espacial da perda para o solo em função da taxa de aplicação 200 L ha⁻¹ (A) e 400 L ha⁻¹ (B)

Quando avaliada a perda no solo, em lados de pulverização para as duas taxas, houve maior perda de corante para o lado esquerdo comparado ao lado direito, assim como o observado para deriva acima da copa, onde parte dessas gotas se perderam para o solo no meio da entrelinha avaliada pelo movimento ascendente da pulverização para esse lado, comum nos pulverizadores hidropneumáticos (Rathnayake et al. 2021).

Nos mapas observa-se uma perda homogênea para o solo na taxa de 200 L ha⁻¹ dentro da classe de 0,13 a 0,23 µg cm⁻² para o lado esquerdo e direito, com lado direito apresentando menores valores indicando uma diminuição da perda para o solo. Na taxa de 400 L ha⁻¹ a diferença entre os lados foi mais acentuada onde o lado esquerdo apresentou maior perda para o solo com tons mais escuros na ordem de 0,33 a 0,43 µg cm⁻² e o lado direito com tons mais claros na ordem de 0,03 a 0,13 µg cm⁻² indicando menor perda para esse lado.

Para o efeito das ruas nas perdas para solo, não houve diferença significativa entre as ruas, porém, a perda diminuiu ao longo da faixa avaliada com maior perda para o solo na rua 1 e redução de 9,18%, 11,56% e 22,44 % de perda de produto nas ruas 2, 3 e 4, respectivamente em relação a primeira rua de avaliação.

No geral, a taxa de 200 L ha⁻¹, na maioria das observações, depositou mais corante acima da copa e nas folhas nas ruas subsequentes devido ao padrão de gotas mais finas produzidas pela ponta estarem mais sujeitas à deriva. A maior perda para o solo e depósito na área pulverizada foi observado para 200 L ha⁻¹ no lado direito provocada pela direção do vento e momento da aplicação. A taxa de 400 L ha⁻¹ apresentou maior depósito de corante na área pulverizada e perda para o solo no lado esquerdo; menor deposição acima da copa e na folha das ruas subsequentes pode ser explicado pela direção do vento não ter favorecido nenhum lado da pulverização e pelo padrão de gotas mais grossas estarem menos sujeitas à deriva e mais propensas a perda para o solo.

Foi observada uma assimetria entre os lados da pulverização com maior depósito de corante na área pulverizada, acima da copa, nas folhas e no solo nas ruas subsequentes em geral para o lado esquerdo comparado ao lado direito para as duas taxas de aplicação. Quando esse efeito não foi observado, aconteceu devido a influência da direção do vento. Mesmo sendo realizado o ajuste de direção das pontas e aletas em relação à copa do cafeeiro, foi verificado uma deposição de corante nas ruas subsequentes à área pulverizada, mostrando que esse efeito acontece em campo.

Estudos tem sido desenvolvido para aumentar a deposição no dossel e reduzir deriva em frutíferas com o ajuste de parâmetros de velocidade do ventilador, ângulo de pulverização (Hu et al. 2022), pulverização a taxa variável com saídas de ar direcionadas (Chen et al. 2013), alteração no modelo de ventilador (Miranda-Fuentes et al. 2017), pulverização com sensores de volume de copa e ajuste do fluxo de ar (Jiang et al. 2020) e desenvolvimento de softwares para avaliação de condições climáticas ideais de aplicação (Bourodimos et al. 2019).

A porcentagem de depósito na área diretamente pulverizada entre os intervalos do mapa de interpolação mostrou que a maior deposição ocorreu na taxa de 400 L ha⁻¹ onde 91,7% da deposição esteve entre as classes 1,4 a > 1,7 µg cm⁻², sendo distribuída nos intervalos de 1,4-1,5, 1,5-1,6, 1,6-1,7 e > 1,7 µg cm⁻², 13,8%, 23,4%, 28,8% e 25,7%, respectivamente. Para a taxa de 200 L ha⁻¹ a maior porcentagem de deposição, 85,5% esteve entre os intervalos de 1,3 a 1,5 µg cm⁻², sendo 56,7% nas classes de 1,3-1,4 e 28,8% entre 1,4-1,5 µg cm⁻² (Tabela 8).

TABELA 8 – Porcentagem de área sob diferentes faixas de deposição na área diretamente pulverizada e perdas acima da copa, na folha e no solo

Parâmetro avaliado	Classes ($\mu\text{g cm}^{-2}$)	Taxa de aplicação (L ha^{-1})	
		200	400
Deposição na área diretamente pulverizada	< 1,3	7,3	0,0
	1,3 – 1,4	56,7	8,3
	1,4 – 1,5	28,8	13,8
	1,5 – 1,6	7,2	23,4
	1,6 – 1,7	0,0	28,8
	> 1,7	0,0	25,7
Perda acima da copa	< 0,03	0,0	6,8
	0,03 - 0,13	16,0	30,7
	0,13 - 0,23	10,7	16,2
	0,23 - 0,33	25,1	22,8
	0,33 – 0,43	16,5	15,6
	> 0,43	31,7	7,9
Perda na folha	< 0,03	0,0	0,0
	0,03 - 0,13	2,6	37,7
	0,13 - 0,23	39,1	23,0
	0,23 - 0,33	57,9	34,5
	0,33 – 0,43	0,4	4,8
	> 0,43	0,0	0,0
Perda para o solo	< 0,03	0,0	6,9
	0,03 - 0,13	0,0	27,4
	0,13 - 0,23	83,2	29,7
	0,23 - 0,33	16,8	26,6
	0,33 – 0,43	0,0	8,5
	> 0,43	0,0	0,9

Avaliando a porcentagem das perdas dentro de cada classe dos mapas de interpolação observa-se que para perdas acima da copa a taxa de 200 apresentou maior perda comparado a taxa de 400. Na taxa de 200 L ha^{-1} maior porcentagem de perda 73,3%, esteve entre as classes 0,23 a > 0,43 $\mu\text{g cm}^{-2}$, sendo que 25,1%, 16,5% e 31,7% esteve entre os intervalos 0,23-0,33, 0,33-0,43 e >0,43 $\mu\text{g cm}^{-2}$, respectivamente. Para a taxa de 400 L ha^{-1} menor perda acima da copa foi observado comparado a taxa de 200 com 76,5% de perda concentrada nos intervalos de <0,03 a 0,33 $\mu\text{g cm}^{-2}$, sendo 6,8, 30,7, 16,2 e 22,8% nos intervalos de <0,03, 0,03-0,13, 0,13-0,23 e 0,23-0,33, respectivamente, nessa taxa apenas 7,9% de perda foi maior que 0,043 $\mu\text{g cm}^{-2}$.

Para perdas na folha, efeito de maior perda para a taxa de 200 L ha^{-1} também foi observado. Na taxa de 200 L ha^{-1} maior porcentagem de perda, 99,6% se concentrou nas classes de 0,03 a 0,33 $\mu\text{g cm}^{-2}$, sendo 2,6%, 39,1% e 57,9% de perdas nas classes 0,03-0,13, 0,13-0,23 e 0,23 a 0,33 $\mu\text{g cm}^{-2}$, respectivamente. Na taxa de 400 uma porcentagem de 95,2% esteve entre

as classes 0,03 a 0,33, distribuído nas classes de 0,03-0,13, 0,13-0,23 e 0,23-0,33 $\mu\text{g cm}^{-2}$, representando 37,7%, 23,0% e 34,5%, respectivamente, a maior porcentagem de perdas na folha para essa taxa esteve no intervalo inferior.

Avaliando perdas para o solo, percebe-se que na taxa de 400 L ha⁻¹ mesmo apresentando maior deriva para o lado esquerdo, os menores valores para o lado direito compensaram as perdas. Apresentando uma menor perda para o solo comparado a taxa de 200 L ha⁻¹ em área total. A taxa de 400 apresentou 92,2% de perdas do marcador entre o intervalo de 0,03 a 0,43 $\mu\text{g cm}^{-2}$, sendo que 27,4%, 29,7%, 26,6% e 8,5% esteve nos intervalos de 0,03-0,13, 0,13-0,23, 0,23-0,33 e 0,33-0,43 respectivamente. Para a taxa de 200 L ha⁻¹, 100% da perda esteve entre os intervalos de 0,13 a 0,33 $\mu\text{g cm}^{-2}$, sendo distribuídos nos intervalos 0,13-0,23 e 0,23-0,33, uma porcentagem de perda de 83,2% e 16,8% respectivamente.

4 CONCLUSÕES

Houve uma assimetria de deposição entre o lado esquerdo e direito do pulverizador independente da taxa de aplicação, com maior deposição e perdas para o lado esquerdo da pulverização. As perdas para o solo, acima da copa e nas folhas em ruas subsequentes ocorreram até a quarta rua para os dois lados da pulverização. Isso mostra que melhorias e adaptações devem ser estudadas para os modelos de pulverizador hidropneumático para minimizar essa assimetria de deposição e reduzir os riscos de deriva fora da área alvo.

O depósito de produto na área diretamente pulverizada foi maior na taxa de 400 L ha⁻¹. Essa taxa apresentou também menor deriva acima da copa e nas folhas de ruas subsequentes, porém proporcionou maior perda para o solo no lado esquerdo. Sendo assim a utilização de um maior volume de aplicação e gotas de maior tamanho é uma alternativa de configuração do pulverizador que podem otimizar a maior deposição na área alvo.

Além disso o monitoramento das condições meteorológicas em tempo real é importante para evitar pulverização em velocidades de vento elevada e direção do vento oposta a linha de aplicação. Condições que favorecem menor deposição na área alvo e maiores perdas.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, C. B. de; ZAMPIROLI, R.; RINALDI, P. C. N.; SILVA, T. U. Effect of air blast sprayer application speed on the dye retention of coffee leaves. **Revista Ceres**, v. 69, n. 6, p. 633-638, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X202269060001>

ALVES, T. C.; CUNHA, J. P. R. da; ALVES, G. S.; SILVA, S. M.; LEMES, E. M. Canopy

volume and application rate interaction on spray deposition for different phenological stages of coffee crop. **Coffee Science**, v. 15, p. e151777, 2020. DOI: <https://doi.org/10.25186/cs.v15i.1777>

ALVES, G. S.; CUNHA, J. P. A. R. da. Field data and prediction models of pesticide spray drift on coffee crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 8, p. 622-629, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000800006>

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **ASABE S572.3: spray Nozzle Classification by Droplet Spectra**. St. Joseph: ASABE, 2020.

BAHLOL, H. Y.; CHANDEL, A. K.; HOHEISEL, GWEN-ALYN, H.; KHOT, L. R. The smart spray analytical system: developing understanding of output air-assist and spray patterns from orchard sprayers. **Crop Protection**, v. 127, 104977, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104977>

BYERS, R. E.; HICKEY, K. D.; HILL, C. H. Base gallonage per acre. **Virginia Fruit**, v. 60, p. 19-23, 1971.

BATES D.; MAECHLER M.; BOLKER B.; WALKER S. Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67, n. 1, p. 1-48, 2015. DOI: [10.18637/jss.v067.i01](https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01)

BOURODIMOS, G.; KOUTSIARAS, M.; PSIROUKIS, V.; BALAFOUTIS, A.; FOUNTAS, S. Development and Field Evaluation of a Spray Drift Risk Assessment Tool for Vineyard Spraying Application. **Agriculture**, v. 9, n. 8, p. 181, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture9080181>

CAMBARDELLA, C. A., MOORNAN, T. B., NOVAK, J. M., PARKIN, T. B., KARLEN, D. L., TURCO, R. F. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, 58, 1501-1511, 1994. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>

CHEN, Y.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; DERKSEN, R. C.; KRAUSE, C. R. Spray drift and off-target loss reductions with a precision air-assisted sprayer. **Transactions of The Asabe**, v. 56, p. 1273-1281, 2013. DOI: [10.13031/trans.56.10173](https://doi.org/10.13031/trans.56.10173)

CRAUSE, D. H.; VITÓRIA, E. L. da; SOELA, D. M.; OLIVEIRA, D. A. de; BATISTA, A. G.; LACERDA, E. das G. Estimativa de deriva na aplicação de defensivos agrícolas no café conilon. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 6, n. 4, p. 85-94, 2020.

CUNHA, J. P. A. R.; BUENO, M. R.; FERREIRA, M. C. Espectro de gotas de pontas de pulverização com adjuvantes de uso agrícola. **Planta Daninha**, v. 28, p. 1153-1158, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582010000500023>.

ENDALEW, A. M.; HERTOOG, M.; DELELE, M. A.; BAETENS, K.; RAMON, H.; NICOLAÏ, B. M.; VERBOVEN, P.; BAELMANS, M.; VERCAMMEN, J.; GOMAND, A. Modelling the effect of wind speed and direction on airflow from na air-assisted orchad sprayer through 3D orchad canopy architecture. **Acta Horticulturae**, v. 1, n. 803, p. 97-104, 2008. DOI: [10.17660/ActaHortic.2008.803.11](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.803.11)

DEKEYSER, D.; DUGA, A. T.; VERBOVEN, P.; ENDALEW, A. M.; HENDRICKX, N.; NUYTENS, D. Assessment of orchard sprayers using laboratory experiments and computational fluid dynamics modelling. **Biosystems Engineering**, v. 114, n. 2, p. 157-169, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.11.013>

GARCERÁ, C.; MOLTÓ, E.; CHUECA, P. Spray pesticide applications in Mediterranean citrus orchards: canopy deposition and off-target losses. **Science of the Total Environment**, v. 599, p. 1344-1362, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.029>

GARCERA, C.; MOLTÓ, E.; IZQUIERDO, H.; BALSARI, P.; MARUCCO, P.; GRELLA, M.; GIOELLI, F.; CHUECA, P. Effect of the airblast settings on the vertical spray profile: implementation on an on-line decision aid for citrus treatments. **Agronomy**, v. 12, n. 6, p. 1462, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061462>

GREGORIO, E.; TORRENT, X.; PLANAS, S.; ROSELL-POLO, J. R. Assessment of spray drift potential reduction for hollow-cone nozzles: part 2. lidar technique. **Science of the Total Environment**, v. 687, p. 967-977, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.151>

GRELLA, M.; GALLART, M.; MARUCCO, P.; BALSARI, P.; GIL, E. Ground deposition and airborne spray drift assessment in vineyard and orchard: the influence of environmental variables and sprayer settings. **Sustainability**, v. 9, n. 5, p. 728, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9050728>

GRELLA, M.; MARUCCO, P.; BALSARI, P. Toward a new method to classify the airblast sprayers according to their potential drift reduction: comparison of direct and new indirect measurement methods. **Pest Management Science**, v. 75, n. 8, p. 2219-2235, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5354>

HOŁOWNICKI, R.; DORUCHOWSKI, G.; ŚWIECHOWSKI, W.; KONOPACKI, P.; GODYN, A. Effect of Nozzle Type and Adjuvants on Spray Coverage on Apple Leaves. **Agronomy**, v. 11, n. 9, p. 1790, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11091790>

HU, Y.; YANG, H.; HOU, B.; XI, Z.; YANG, Z. Influence of spray control parameters on the performance of an air-blast sprayer. **Agriculture**, v. 12, n. 8, p. 1260, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12081260>

JIANG, H.; NIU, C.; LIU, L.; WANG, D.; WANG, J.; MAO, W. Design and experiment of air volume control system of orchard multi-pipe air sprayer. **Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery**, v. 51, p. 298-307, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2020.S2.035>

KASNER, E. J.; FENSKE, R.; HOHEISEL, G.; GALVIN, K.; BLANCO, M. N.; SETO, E. Y. W.; YOST, M. G. Spray drift from a conventional axial fan airblast sprayer in a modern orchard work environment. **Annals of Work Exposures and Health**, v. 62, n. 9, p. 1134-1146, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1093/annweh/wxy082>

LESNIK, M.; STAJNKO, D.; VAJS, S. Interactions between spray drift and sprayer travel speed in two different apple orchard training systems. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 12, n. 9, p. 3017-3028, 2015. DOI:

<https://doi.org/10.1007/s13762-014-0724-7>

LENTH, R.; SINGMANN, H.; LOVE, J.; BUERKNER, P.; HERVE, M. Pacote “Emmeans”. **Pacote R versão 4.0-3**, 2018. Disponível em: <http://cran.r-project.org/package=emmeans>. Acesso em: 10 dez. 2023.

MIRANDA-FUENTES, A.; RODRÍGUEZ-LIZANA, A.; CUENCA, A.; GONZÁLES-SÁNCHEZ, E.J.; BIANCO-ROLDÁN, G.L.; GIL-RIBES, J.A. Improving plant protection product applications in traditional and intensive olive orchards through the development of new prototype air-assisted sprayers. **Crop Protection**, v. 94, p. 44–58, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.12.012>

MIRANDA-FUENTES, A.; MARUCCO, P.; GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, E. J.; GIL, E.; GRELLA, M.; BALSARI, P. Developing strategies to reduce spray drift in pneumatic spraying in vineyards: assessment of the parameters affecting droplet size in pneumatic spraying. **Science of the Total Environment**, v. 616-617, p. 805-815, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.242>

MUNDIM, M. O.; ASSIS, G. A. de; CARVALHO, V. A. M. de; ASSIS, F. A. de; CARVALHO, F. J.; NASCIMENTO, L. G. do; FERNANDES, M. I. dos S.; GALLET, D. da S.; GOMES, L. C.; RODRIGUES, F. A. Cobertura de polietileno e fontes de adubo podem reduzir bicho-mineiro e ácaro-vermelho em cafeeiro. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 22, n. 1, p. 52-62, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811712212023052>

ONLER, E.; CELEN, I. H.; AVCI, G. G. Evaluation of residue distribution of spraying nozzles produced for the prevention of spray drift. **International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research**, v. 4, n. 2, p. 242-250, 2020. DOI: <https://doi.org/10.29329/ijjaar.2020.254.8>

PALMA, R. P.; CUNHA, J. P. A. R. da; SANTANA, D. G. de. Leaf sample size for pesticide application technology trials in coffee crops. **Plants**, v. 12, n. 5, p. 1093, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12051093>

PALMA, R. P.; CUNHA, J. P. A. R. da; GUIMARÃES, E. C.; SANTANA, D. G. de; ASSUNÇÃO, H. H. T. de. Multivariate analysis applied to spray deposition in ground application of phytosanitary products in coffee plants. **Engenharia Agrícola**, v. 41, n. 4, p. 458-467, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v41n4p458-467/2021>

PEREIRA, G. W.; VALENTE, D. S. M.; QUEIROZ, D. M. de; COELHO, A. L. de F.; COSTA, M. M.; GRIFT, T. Smart-Map: an open-source qgis plugin for digital mapping using machine learning techniques and ordinary kriging. **Agronomy**, v. 12, n. 6, p. 1350, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061350>

QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.org> . Acesso em: 24 mai 2024.

RATHNAYAKE, A. P.; CHANDEL, A. K.; SCHRADER, M. J.; HOHEISEL, G. A.; KHOT, L. R. Spray patterns and perceptive canopy interaction assessment of commercial airblast sprayers used in Pacific Northwest perennial specialty crop production. **Computers And Electronics In Agriculture**, v. 184, 106097, 2021. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106097>

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 10 dez. 2023.

SALAS, B.; SALCEDO, R.; ORTEGA, P.; GRELLA, M.; GIL, E. Use of ultrasound anemometers to study the influence of air currents generated by a sprayer with an electronic control airflow system on foliar coverage. Effect of droplet size. **Computers and Electronics In Agriculture**, v. 202, p. 107381, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107381>

SALCEDO, R.; FONTE, A.; GRELLA, M.; GARCERÁ, C.; CHUECA, P. Blade pitch and air-outlet width effects on the airflow generated by an airblast sprayer with wireless remote-controlled axial fan. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 190, 106428, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106428>

SALCEDO, R.; PONS, P.; LLOP, J.; ZARAGOZA, T.; CAMPOS, J.; ORTEGA, P.; GALLART, M.; GIL, E. Dynamic evaluation of airflow stream generated by a reverse system of an axial fan sprayer using 3D-ultrasonic anemometers. Effect of canopy structure. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 163, 104851, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.06.006>

SILVA, M. G.; POZZA, E. A.; VASCO, G. B.; FREITAS, A. S.; CHAVES, E.; PAULA, P. V. A. A.; DORNELAS, G. A.; ALVES, M. C.; SILVA, M. L. O.; POZZA, A. A. A. Geostatistical analysis of coffee leaf rust in irrigated crops and its relation to plant nutrition and soil fertility. **Phytoparasitica**, v. 47, n. 1, p. 117-134, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12600-019-00714-5>

ZAMPIROLI, R.; ALVARENGA, C. B. de; RINALDI, P. C. N.; ANDALÓ, V.; PRADO, J. R. do; GONÇALVES, P. A. S. Effectiveness of coffee leaf miner control associated with spray deposition in coffee leaves. **Revista Ceres**, v. 67, n. 5, p. 395-401, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X202067050007>

ZUUR, A. F.; IENO, E. N.; WALKER, N.; SAVELIEV, A. A.; SMITH, G. M. Mixed effects models and extensions in ecology with R. **Statistics for Biology and Health**, v.1, p. 1-584, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-87458-6>