



**Deposição de calda aplicada em folhas de cafeeiro promovida pela pulverização hidropneumática com e sem carga eletrostática**

JEFFERSON GITIRANA NETO<sup>1</sup>, JOÃO PAULO A. R. DA CUNHA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engº Agrônomo, Doutor em Agronomia, ICIAG/UFU, Uberlândia - MG.

<sup>2</sup> Engº Agrícola, Prof. Dr. PhD, Instituto de Ciências Agrárias, UFU, Campus Umuarama, Uberlândia - MG, Fone: (0XX34) 3218.2225, [jpcunha@iciag.ufu.br](mailto:jpcunha@iciag.ufu.br)

**RESUMO**

Estudos relacionados à qualidade da aplicação de produtos fitossanitários no cafeeiro são ainda escassos. Dessa forma, esse trabalho foi conduzido com o objetivo de estudar a deposição de calda em folhas de cafeeiro e as perdas para o solo promovidas pela pulverização hidropneumática, em diferentes volumes de calda, com e sem carga eletrostática. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 4 + 1. Foram avaliadas a deposição de calda nos terços superior, médio e inferior e as perdas para o solo promovidas pela pulverização do traçador Azul Brilhante FD&C Blue n.1, empregando um pulverizador hidropneumático convencional e um com dutos de ar direcionado, com volumes de 200, 300, 400 e 500 L ha<sup>-1</sup>, e um pulverizador eletrostático, com volume de 130 L ha<sup>-1</sup>. A pulverização eletrostática proporcionou maior deposição de calda no terço inferior do cafeeiro. Nesta região e na parte média das plantas, pulverizador dotado de dutos de ar direcionado, o Twister 1500 da Montana, teve melhor desempenho do que o equipamento com bicos dispostos ao longo dos arcos laterais, o Arbus 2000 da Jacto. O volume de calda empregado nos pulverizadores hidropneumáticos sem carga eletrostática (200 a 500 L ha<sup>-1</sup>) não influenciou a deposição de calda nas plantas e as perdas para o solo, que foram menores quando se empregou o pulverizador eletrostático.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica*, pulverizador eletrostático, tecnologia de aplicação.



## INTRODUÇÃO

O cafeeiro (*Coffea arabica* L.) apresenta diversos desafios para a tecnologia de aplicação dos produtos fitossanitários, principalmente no que se refere à penetração da calda no dossel da cultura e à redução da endoderiva e exoderiva. A arquitetura da planta e o grande índice de área foliar dificultam a boa cobertura das folhas pelo ingrediente ativo. Soma-se a isto o elevado risco de deriva ocasionado pela corrente de ar gerada pelos pulverizadores hidropneumáticos, que pode resultar em baixa eficácia biológica dos tratamentos e contaminação ambiental. Uma das formas de se obter boa deposição em alvos biológicos é a escolha do equipamento correto e do volume de calda.

Contudo, a definição deste volume é uma difícil decisão por parte dos agricultores, visto que baixos volumes podem levar a cobertura deficiente, e volumes elevados podem onerar a aplicação, principalmente pela redução da capacidade operacional. De acordo com Silva et al. (2008), existe pouca informação concernente à quantidade e distribuição do volume de calda aplicado para um controle efetivo de pragas e doenças na cultura do café. Cunha et al. (2005) observaram que, dentre outras razões, as perdas e desperdícios de produtos ocorrem pela inadequação do volume aplicado com as características da cultura. Dentre estas, destacam-se os aspectos estruturais da copa (Rosell Polo et al., 2009). Segundo Viana et al. (2010), obtendo-se uma distribuição uniforme com um determinado diâmetro e número de gotas, seria possível obter sucesso em uma aplicação mesmo com volume aplicado menor. Estudos têm sido feitos com o uso de reduzidos volumes de calda em culturas arbóreas (Balan et al., 2006; Fernandes et al., 2010), e esta técnica tem se mostrado promissora.

Uma alternativa para melhorar a deposição de calda sobre as folhas em volumes reduzidos, diminuindo perdas por deriva, é a pulverização com assistência eletrostática (Zhao et al., 2008; Maski; Durairaj, 2010). Algumas pesquisas têm demonstrado as vantagens da pulverização eletrostática (Maski; Durairaj, 2010; DERKSEN et al., 2007; LARYEA; NO, 2005; XIONGKUI et al., 2011).

Sasaki et al. (2013), avaliando um equipamento costal pneumático, também verificaram que o sistema eletrostático foi eficiente na pulverização em plantas de café.



A pulverização eletrostática proporcionou incremento na deposição de calda de 37%. Zheng et al. (2002) afirmaram ainda que a pulverização eletrostática pode melhorar a distribuição e deposição das gotas na planta, com menor contaminação ambiental, volumes reduzidos de calda, menor custo no processo de pulverização e melhor eficácia de controle do tratamento, em comparação com pulverizadores convencionais.

Entretanto, segundo Hislop (1988) alguns equipamentos eletrostáticos não proporcionam resultados consistentes de controle, porque os projetos desenvolvidos não geram gotas com nível de carga suficiente para melhorar a deposição, ou o tamanho de gotas produzidas não é adequado para uso com carga eletrostática.

Bayer et al. (2011), trabalhando com a cultura do arroz, verificaram menor penetração de gotas no interior da cultura e menores densidades de gotas com equipamento eletrostático, comparado a outros sistemas de pulverização. Magno Júnior et al. (2011) avaliaram a pulverização eletrostática em citros e também verificaram que a pulverização eletrostática não proporcionou aumento na deposição da calda de aplicação.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi estudar a deposição de calda pulverizada em folhas de cafeeiro e a perda para o solo promovida pela pulverização hidropneumática, em diferentes volumes de calda, com e sem carga eletrostática.



## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido pela equipe do LAMEC - Laboratório de Mecanização Agrícola – UFU, no município de Rio Paranaíba, MG, em lavoura de café cultivar Catuaí 144, com 8 anos de idade, espaçada em 3,8 x 0,65 m, em janeiro de 2014. O índice de área foliar das plantas, medido seguindo metodologia proposta por Favarin et al. (2002), foi de 5,49.

Foram avaliados três tipos de pulverizadores hidropneumáticos ou turboatomizadores de arrasto. O primeiro (Pulverizador A), modelo Jacto Arbus 2000 Super Export, possuía depósito com capacidade de 2000 L, 36 bicos montados em dois arcos curvos nas laterais, condução de ar comum a todos os bicos, bomba de pistões de 150 L min<sup>-1</sup>, ventilador axial com diâmetro de 850 mm e vazão de ar de 19 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, conforme especificações do fabricante. O segundo (Pulverizador B), modelo Montana Mãozinha Twister 1500, com depósito de 1500 L, possuía 32 bicos montados em oito dutos de ar direcionado (“mãozinhas”), bomba de membrana de 90 L min<sup>-1</sup>, ventilador com diâmetro de 900 mm e vazão de ar de 13,8 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, conforme especificações do fabricante. O equipamento possuía quatro “mãozinhas” de cada lado, a primeira e a quarta, com três bicos cada, e a segunda e a terceira, com 5 bicos em cada mão, totalizando 32 bicos. O terceiro (Pulverizador C), modelo Montana Mãozinha Eletrostático, era semelhante ao pulverizador B, sendo apenas retiradas as “mãozinhas” e instalados de cada lado, quatro dispositivos eletrostáticos modelo SPE (*Sistema de Pulverização Eletrostático*), posicionados a 0,35, 1,10, 1,85 e 2,60 m em relação ao solo. O sistema produz campo elétrico de alta voltagem (5000 V) na base do jato de pulverização produzido por pontas de jato cônico vazio, carregando eletricamente as gotas. A carga é gerada devido ao campo elétrico produzido por anéis de indução ligados a um gerador de alta voltagem.

Os pulverizadores foram tracionados e acionados por um trator John Deere 5425N 4 x 2 TDA, com potência de 57,4 kW (78 cv). As pontas empregadas em cada tratamento encontram-se descritas na Tabela 1. As pressões de trabalho foram ajustadas para a obtenção dos volumes de calda desejados, dentro da faixa de pressão recomendada para as pontas.



O ensaio foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, compostos por quatro linhas de café. As parcelas experimentais foram constituídas em 228 m<sup>2</sup>, sendo quatro linhas de café com 15 m de comprimento. Como parcela útil, utilizou-se 98,8 m<sup>2</sup>, sendo consideradas apenas as duas linhas centrais, desprezando-se 1,0 m em cada extremidade.

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos avaliados

| Tratamento | Equipamento                       | Volume de calda<br>(L ha <sup>-1</sup> ) | Ponta  | Pressão<br>(kPa) |
|------------|-----------------------------------|--|--------|------------------|
| 1          | Pulverizador A (Arbus)            | 500                                      | MAG 02 | 410              |
| 2          | Pulverizador A (Arbus)            | 400                                      | MAG 02 | 290              |
| 3          | Pulverizador A (Arbus)            | 300                                      | MAG 01 | 840              |
| 4          | Pulverizador A (Arbus)            | 200                                      | MAG 01 | 400              |
| 5          | Pulverizador B (Twister)          | 500                                      | MAG 02 | 650              |
| 6          | Pulverizador B (Twister)          | 400                                      | MAG 02 | 500              |
| 7          | Pulverizador B (Twister)          | 300                                      | MAG 01 | 1000             |
| 8          | Pulverizador B (Twister)          | 200                                      | MAG 01 | 410              |
| 9          | Pulverizador C<br>(Eletrostático) | 130                                      | SPE 03 | 700              |

Foram realizados nove tratamentos em esquema fatorial 2 x 4 + 1, sendo os fatores os pulverizadores (Pulverizador A e B) e os volumes de calda (200, 300 400 e 500 L ha<sup>-1</sup>) e o tratamento adicional, o Pulverizador C, com equipamento eletrostático ligado regulado para 130 L ha<sup>-1</sup>, conforme descrito na Tabela 1. Cada tratamento constou de quatro repetições, nas quais foram estudadas a deposição de calda na folhagem do cafeeiro e as perdas para o solo. O pulverizador eletrostático foi testado apenas no volume de 130 L ha<sup>-1</sup>, tendo em vista que seu grande diferencial em relação aos equipamentos tradicionais é a possibilidade de redução do volume de calda. Além disso, o equipamento, de acordo com o fabricante, não tem bom desempenho com altos volumes, em virtude da dificuldade de energizar as gotas.

As pontas utilizadas MAG 1, MAG 2 e SPE 03 são de jato cônico vazio, produzidas em cerâmica com ângulo de 80°. De acordo com os fabricantes, nas pressões empregadas, as duas primeiras produzem gotas finas e a terceira, gotas muito finas. A velocidade de trabalho do pulverizador foi de 7,8 km h<sup>-1</sup>, em todos os tratamentos, assim como a rotação da TDP mantida em 540 rpm, aferida com auxílio de um tacômetro.



Para a avaliação da deposição de calda, foi utilizado o traçador Azul Brilhante FD&C Blue n.1, na dose de  $300 \text{ g ha}^{-1}$ , em todos os tratamentos. Mediu-se a deposição em folhas dos terços superior, médio e inferior do dossel e o escoamento de calda para o solo. Foram retiradas folhas de ramos plagiotrópicos que se encontravam mais internamente e próximos ao tronco do cafeeiro, numa altura de 0,20, 1,30 e 2,0 m do solo, sendo acondicionadas em sacos plásticos dentro de caixas térmicas. Em cada repetição, foram coletadas 10 folhas. Junto à aplicação do traçador também foi aplicado o fungicida Azoxystrobin + Cyproconazole ( $750 \text{ mL ha}^{-1}$ ) e óleo mineral parafínico (0,5% v/v).

Para a avaliação das perdas de calda para o solo, foram colocadas placas de petri com  $149,51 \text{ cm}^2$  cada sob a copa das plantas de café dentro da área de projeção da copa, a 0,2 m do caule, sendo duas placas por repetição.

Em laboratório, adicionou-se água destilada na quantidade de 100 mL para os sacos contendo as folhas, e 40 mL para as placas de petri, e efetuou-se, após a retirada do líquido resultante da lavagem, a leitura de absorvância das soluções contendo o traçador em um espectrofotômetro (Biospectro SP-22), regulado para um comprimento de onda de 630 nm. As áreas das folhas foram medidas através do programa de análise de imagens "Image Tool"(University of Texas, Texas, USA), após serem digitalizadas. Os dados de absorvância foram transformados em concentração ( $\text{mg L}^{-1}$ ) através de curva de calibração, procedendo-se posteriormente a divisão da massa de traçador pela área foliar de cada repetição ou área da lâmina de vidro, para se obter o valor da deposição em  $\mu\text{g cm}^{-2}$ .

Durante as aplicações, foram monitoradas as condições ambientais de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento. A temperatura variou de 23,2 a 29,4°C, a umidade relativa de 62% a 80% e a velocidade do vento de 3,0 a 4,4  $\text{km h}^{-1}$ .

Inicialmente foram testadas as pressuposições dos dados. Para verificar a homogeneidade das variâncias e a normalidade dos resíduos foram aplicados os testes de Levene e Shapiro Wilk, respectivamente, utilizando o programa estatístico SPSS (versão 17.0). Para que as pressuposições fossem atendidas a 0,01 de significância, foi necessária a transformação dos dados de deposição nas folhas inferiores por meio da raiz quadrada de x. Para o restante, usaram-se os dados originais. Posteriormente, os



dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey e com o tratamento adicional pelo teste de Dunnett, a 0,05 de significância. Para o estudo do efeito do volume de calda, foi empregada análise de regressão.

Para verificar o efeito dos três pulverizadores na uniformidade de distribuição do traçador ao longo da planta (terços superior, médio e inferior), foram comparadas pelo teste de F, a 5% de probabilidade, as variâncias dos depósitos retidos.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, tem-se a deposição de calda nas folhas superiores do cafeeiro. Observa-se que não houve interação significativa entre volume de calda e pulverizador. Também não houve diferença quanto à deposição nas folhas superiores promovida pelos pulverizadores A e B e o eletrostático. Neste sentido, percebe-se que o sistema eletrostático permite redução do volume de calda com manutenção da deposição.

Tabela 2. Deposição de traçador ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) nas folhas superiores do cafeeiro, promovida por diferentes tipos de pulverizadores e volumes de calda.

|   | Volume de calda ( $\text{L ha}^{-1}$ ) |       |       |       | Média |
|---|--|-------|-------|-------|-------|
|   | 200                                    | 300   | 400   | 500   |       |
| Pulverizador C - Eletrostático ( $130 \text{ L ha}^{-1}$ ): $0,477 \mu\text{g cm}^{-2}$   |  |       |       |       |       |
| Pulverizador A  | 0,423                                  | 0,422 | 0,458 | 0,555 | 0,465 |
| Pulverizador B  | 0,503                                  | 0,513 | 0,542 | 0,549 | 0,527 |
| Média   | 0,463                                  | 0,468 | 0,500 | 0,552 |       |
| CV = 25,94% $F_{\text{pul}} = 1,895^{\text{ns}}$ ; $F_{\text{vc}} = 0,828^{\text{ns}}$ ; $F_{\text{int}} = 0,255^{\text{ns}}$ ; $F_{\text{int} \times \text{test}} = 0,073^{\text{ns}}$ |  |       |       |       |       |

CV: coeficiente de variação;  $F_{\text{pul}}$ ,  $F_{\text{vc}}$ ,  $F_{\text{int}}$ ,  $F_{\text{int} \times \text{test}}$ : valores de F calculado para os fatores pulverizador, volume de calda, interação entre fatores e interação entre fatores e tratamento adicional, respectivamente; <sup>ns</sup>: não significativo.

As folhas superiores representam os alvos mais distantes do ponto de lançamento das gotas após a sua geração pelas pontas de pulverização e, portanto, constituem locais difíceis de serem atingidos pela pulverização. Assim, percebe-se que nenhum dos três equipamentos sobressaiu-se neste quesito. Nem mesmo a pulverização eletrostática, que promove uma atração entre gota e alvo, conseguiu incrementar a deposição no ponteiro das plantas, visto que a maior distância dificulta a atração das gotas pelas folhas.



Ferreira et al. (2013), ao avaliarem a cobertura de gotas de pulverização sobre plantas de café utilizando um pulverizador com e sem adaptação de um ramal auxiliar para plantas altas, evidenciaram a dificuldade de se atingir o terço superior das plantas, corroborando com o presente estudo.

Na Tabela 3, tem-se a deposição de calda nas folhas medianas do cafeeiro. O pulverizador B, dotado de dutos de ar direcionado, teve desempenho superior ao A, do tipo convencional com bicos ao longo do arco. A utilização de dutos nos pulverizadores hidropneumáticos está crescendo em popularidade entre os fabricantes, especialmente em relação à busca de maiores deposições no alvo, contribuindo para a melhoria da qualidade da pulverização e redução de perdas (DEVEAU, 2009). A orientação da corrente de ar, com a possibilidade de modificação do ângulo de entrada no interior da vegetação, permite maior uniformidade e controle da distribuição das gotas sobre o alvo.

Tabela 3. Deposição de traçador ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) nas folhas medianas do cafeeiro, promovida por diferentes tipos de pulverizadores e volumes de calda.

|   | Volume de calda ( $\text{L ha}^{-1}$ ) |                    |                    |                    | Média   |
|---|--|--------------------|--------------------|--------------------|---------|
|   | 200                                    | 300                | 400                | 500                |         |
| Pulverizador C - Eletrostático ( $130 \text{ L ha}^{-1}$ ): $0,597 \mu\text{g cm}^{-2}$ |  |                    |                    |                    |         |
| Pulverizador A  | 0,288 <sup>+</sup>                     | 0,288 <sup>+</sup> | 0,339 <sup>+</sup> | 0,387 <sup>+</sup> | 0,325 b |
| Pulverizador B  | 0,369 <sup>+</sup>                     | 0,438              | 0,434              | 0,434              | 0,419 a |
| Média   | 0,329                                  | 0,363              | 0,386              | 0,410              |         |

CV = 25,19%      DMS<sub>pul</sub> = 0,073      F<sub>pul</sub> = 6,943\*; F<sub>vc</sub> = 0,964<sup>ns</sup>; F<sub>int</sub> = 0,365<sup>ns</sup>; F<sub>int x adic</sub> = 17,970\*  
 DMS<sub>test</sub> = 0,202

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância. Médias seguidas por + diferem do tratamento adicional pelo teste de Dunnett, a 0,05 de significância. CV: coeficiente de variação; DMS<sub>test</sub>: diferença mínima significativa para tratamento adicional; DMS<sub>pul</sub>: diferença mínima significativa para pulverizador; F<sub>pul</sub>, F<sub>vc</sub>, F<sub>int</sub>, F<sub>int x adic</sub>: valores de F calculado para os fatores pulverizador, volume de calda, interação entre fatores e interação entre fatores e tratamento adicional, respectivamente; <sup>ns</sup>: não significativo; \*: significativo a 0,05.

A pulverização eletrostática resultou em deposição superior ao equipamento A, em todos os volumes de calda testados, e ao modelo B, no volume de  $200 \text{ L ha}^{-1}$ . O pulverizador B, nos maiores volumes ( $300$  a  $500 \text{ L ha}^{-1}$ ), promoveu deposição igual ao



eletrostático, o que demonstra a possibilidade de redução do volume de calda, quando se emprega este tipo de equipamento.

Na Tabela 4, tem-se a deposição nas folhas inferiores do cafeeiro. Novamente, o pulverizador dotado de dutos de ar direcionado teve desempenho superior ao modelo A. A pulverização eletrostática resultou em deposição superior aos pulverizadores convencionais, independente do volume de calda empregado. No caso das folhas inferiores, elas se encontram mais próximas do ponto de lançamento e energização das gotas, o que permite maior atração, reduzindo perdas e aumentando a deposição.

Assim como no presente estudo, outros autores verificaram que no terço inferior das culturas arbóreas é mais fácil conseguir boa deposição devido à maior exposição desta parte das plantas aos bicos dos equipamentos. As pontas trabalham mais próximos dessa região da planta em relação à parte superior, justificando os resultados observados. (SCUDELER et al., 2004; RAMOS et al., 2007; FERNANDES; FERREIRA; OLIVEIRA, 2010; MIRANDA et al., 2012).

Tabela 4. Deposição de traçador ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) nas folhas inferiores do cafeeiro, promovida por diferentes tipos de pulverizadores e volumes de calda.

|  | Volume de calda ( $\text{L ha}^{-1}$ ) |                    |                    |                    | Média   |
|--|--|--------------------|--------------------|--------------------|---------|
|  | 200                                    | 300                | 400                | 500                |         |
| Pulverizador C - Eletrostático ( $130 \text{ L ha}^{-1}$ ): $0,984 \mu\text{g cm}^{-2}$  |  |                    |                    |                    |         |
| Pulverizador A   | 0,303 <sup>+</sup>                     | 0,356 <sup>+</sup> | 0,380 <sup>+</sup> | 0,481 <sup>+</sup> | 0,380 b |
| Pulverizador B   | 0,513 <sup>+</sup>                     | 0,533 <sup>+</sup> | 0,509 <sup>+</sup> | 0,510 <sup>+</sup> | 0,516 a |
| Média  | 0,408                                  | 0,444              | 0,444              | 0,496              |         |
| $CV_T = 16,48\%$ $DMS_{Tpul} = 0,083$ $F_{pul} = 6,945^*$ ; $F_{vc} = 0,530^{ns}$ ; $F_{int} = 0,537^{ns}$ ; $F_{int \times adic} = 25,235^*$<br>$CV_{NT} = 37,92\%$ |  |                    |                    |                    |         |

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância. Médias seguidas por + diferem do tratamento adicional pelo teste de Dunnett, a 0,05 de significância.  $CV_T$ : coeficiente de variação dos dados transformados;  $CV_{NT}$ : coeficiente de variação dos dados não transformados;  $DMS_{Tpul}$ : diferença mínima significativa para pulverizador (dados transformados);  $F_{pul}$ ,  $F_{vc}$ ,  $F_{int}$ ,  $F_{int \times adic}$ : valores de F calculado para os fatores pulverizador, volume de calda, interação entre fatores e interação entre fatores e tratamento adicional, respectivamente; <sup>ns</sup>: não significativo; \*: significativo a 0,05. Análise de variância elaborada com dados transformados por raiz quadrada de x.

Também não houve significância do volume de calda na deposição, e por isso não foi ajustado um modelo para correlacionar deposição e volume. Isso demonstra que os



volumes reduzidos podem ser utilizados sem comprometer o tratamento e com ganho na capacidade operacional do conjunto trator-pulverizador. É prática comum, em cafeeiros, a realização de tratamentos fitossanitários com volumes superiores a  $500 \text{ L ha}^{-1}$ , contudo, nota-se que existe viabilidade em reduzir esses volumes, com grande ganho em rendimento.

Existem poucos estudos de deposição na cultura do café, contudo resultados semelhantes podem ser encontrados em citros. Salyani e Farooq (2003), estudando a cobertura de folhas pela pulverização, não encontraram diferença empregando-se volumes de calda de  $250$  a  $3950 \text{ L ha}^{-1}$ . Em outro trabalho, Farooq e Salyani (2002) encontraram maior deposição da calda em laranjeiras com um volume de  $980 \text{ L ha}^{-1}$ , em comparação ao volume de  $250 \text{ L ha}^{-1}$ , contudo acima daquele valor pouco incremento ocorreu até o volume de  $1945 \text{ L ha}^{-1}$ .

Com relação à perda de calda para o solo (Tabela 5), nota-se que os pulverizadores A e B não se diferenciaram, bem como não houve diferença entre os volumes de calda testados. Todos os tratamentos realizados sem energia eletrostática promoveram perdas maiores que no eletrostático. Em geral, espera-se que o incremento do volume de aplicação propicie aumento do volume de calda retido até certo ponto, a partir do qual a superfície não mais retém o líquido, passando a ocorrer o escoamento, o que não é desejável.

Na Tabela 6, tem-se a comparação das variâncias da massa de traçador retida na folhagem, considerando toda a planta. Nota-se que não houve diferença entre os pulverizadores A e B, o que denota que a variabilidade de deposição ao longo da planta não foi influenciada pelo uso destes dois equipamentos. Contudo, comparando-se o equipamento eletrostático com os outros dois, o uso da carga elétrica promoveu menor uniformidade de distribuição ao longo das plantas, causada pela maior concentração de traçador na parte inferior. Esse dado mostra que a energização das gotas pode promover incremento de deposição na parte inferior. Caso se deseje aumentar a distribuição na parte inferior, sem, contudo, causar grande variabilidade ao longo da planta, deve-se buscar alternativas, como aproximar os bicos de pulverização da parte superior da planta.



Tabela 5. Deposição de traçador ( $\text{ng cm}^{-2}$ ) em placas de Petri sobre o solo, promovida por diferentes tipos de pulverizadores e volumes de calda.

|  | Volume de calda ( $\text{L ha}^{-1}$ ) |  |                     |                     | Média  |
|--|--|--|---------------------|---------------------|--------|
|  | 200                                    | 300  | 400                 | 500                 |        |
| Pulverizador C - Eletrostático ( $130 \text{ L ha}^{-1}$ ): $4,044 \text{ ng cm}^{-2}$ |  |  |                     |                     |        |
| Pulverizador A   | 10,413 <sup>+</sup>                    | 10,500 <sup>+</sup>  | 11,316 <sup>+</sup> | 11,736 <sup>+</sup> | 10,991 |
| Pulverizador B   | 11,633 <sup>+</sup>                    | 12,185 <sup>+</sup>  | 12,168 <sup>+</sup> | 12,830 <sup>+</sup> | 12,204 |
| Média  | 11,023                                 | 11,343   | 11,742              | 12,283              |        |
| CV = 24,88%  |  | $F_{\text{pul}} = 1,643^{\text{ns}}$ ; $F_{\text{vc}} = 0,330^{\text{ns}}$ ; $F_{\text{int}} = 0,034^{\text{ns}}$ ; $F_{\text{int} \times \text{test}} = 28,408^*$ |                     |                     |        |
| DMS <sub>test</sub> = 5,412  |  |  |                     |                     |        |

Médias seguidas por + diferem do tratamento adicional pelo teste de Dunnett, a 0,05 de significância. CV: coeficiente de variação; DMS<sub>test</sub>: diferença mínima significativa para tratamento adicional;  $F_{\text{pul}}$ ,  $F_{\text{vc}}$ ,  $F_{\text{int}}$ ,  $F_{\text{int} \times \text{test}}$ : valores de F calculado para os fatores pulverizador, volume de calda, interação entre fatores e interação entre fatores e tratamento adicional, respectivamente; <sup>ns</sup>: não significativo; \*: significativo a 0,05.

Tabela 6. Variâncias da massa de traçador retida ao longo da folhagem do cafeeiro, após a aplicação com diferentes tipos de pulverizadores.

| Pulverizador                   | Variância - $\sigma^2$ | Teste F                |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|
| Pulverizador A                 | 0,014386               | 1,120644 <sup>ns</sup> |
| Pulverizador B                 | 0,012837               |                        |
| Pulverizador A                 | 0,014386               | 9,027619*              |
| Pulverizador C – Eletrostático | 0,129873               |                        |
| Pulverizador B                 | 0,012837               | 10,11675*              |
| Pulverizador C - Eletrostático | 0,129873               |                        |

*ns* Não há diferença significativa entre as variâncias pelo teste F, a 5% de probabilidade. \* Variâncias diferentes entre si pelo teste de F, a 5% de probabilidade.



## CONCLUSÕES

A pulverização eletrostática proporcionou maior deposição no terço inferior do cafeeiro comparado às aplicações convencionais, Twister 1500 e Arbus 2000, na cafeicultura.

Em relação ao pulverizador A, Arbus 2000 da Jacto, a aplicação eletrostática proporcionou média de 159% de acréscimo na deposição.

Em relação ao pulverizador B, Twister 1500 da Montana, a aplicação eletrostática proporcionou média de 91% de acréscimo na deposição.

Na região mediana, a deposição com pulverização eletrostática foi maior que Arbus 2000, em todas as vazões estudadas, e Twister 1500, na vazão de 200 L ha<sup>-1</sup>.

Em relação ao pulverizador A, Arbus 2000 da Jacto, a aplicação eletrostática proporcionou média de 84% de acréscimo na deposição.

No volume de 200 L ha<sup>-1</sup>, a pulverização eletrostática apresentou acréscimo de 81%, comparado ao pulverizador B, Twister 1500, e de 107%, comparado ao pulverizador A, Arbus 2000, na deposição.

Na região inferior e na porção mediana das plantas, o pulverizador B, Twister 1500, apresentou melhor desempenho na deposição que o equipamento A, Arbus 2000.

Na parte superior das plantas, a pulverização eletrostática não promoveu aumento de deposição.

As perdas para o solo foram reduzidas com o emprego do pulverizador eletrostático.

Em relação ao pulverizador A, a aplicação eletrostática reduz as perdas para o solo em até 172%.

Em relação ao pulverizador B, a aplicação eletrostática reduz as perdas para o solo em até 202%.

Independente do volume de calda empregado nos pulverizadores A e B a deposição e as perdas para o solo, não apresentam variações.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALAN, M. G.; ABI SAAB, O. J. G.; SILVA, C. G. Depósito e perdas de calda em sistemas de pulverização com turboatomizador em videira. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 470-477, 2006.

BAYER, T. et al. Equipamentos de pulverização aérea e taxas de aplicação de fungicida na cultura do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 2, p. 192-198, 2011.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, R. F.; FERNANDES, H. C. Deposição e deriva de calda fungicida aplicada em feijoeiro, em função de bico de pulverização e de volume de calda. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p.133-138, 2005.

DERKSEN, R.C. et al. Field evaluation of application variables and plant density for bell pepper pest management. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.50, n.6, p.1945-1953, 2007.

DEVEAU, J. **Six elements of effective spraying in orchards and vineyards**. Ontário: Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2009. (Factsheet Order, 09-39).

FAROOQ, M. SALYANI, M. **Spray penetration into the citrus tree canopy from two air-carrier sprayers**. St. Joseph, Asabe, 2002. 12p. (paper 02-1038)

FAVARIN, J.L.; DOURADO-NETO, D.; GARCÍA Y GARCÍA, A.; VILLA NOVA, N.A.; FAVARIN, M.G.G.V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 769-773, 2002.

FERNANDES, A. P.; FERREIRA, M. C.; OLIVEIRA, C. A. L. Eficiência de diferentes ramais de pulverização e volumes de calda no controle de *Brevipalpus phoenicis* na cultura do café. **Revista Brasileira de Entomologia**, São Paulo, v. 54, n. 1, p. 130-135, 2010.

FERREIRA, M. C.; LEITE, G. J.; LASMAR, O. Cobertura e depósito de calda fitossanitária em plantas de café pulverizadas com equipamento original e adaptado para plantas altas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, Supplement 1, p. 1539- 1548, Nov. 2013.

HISLOP, F.C. Electrostatic ground-rig spraying: an overview. **Weed Technology**, North Dakota, v. 2, p. 94-104, 1988.

LARYEA, G.N.; NO, S.Y. Effect of fan speed and electrostatic charge on deposition of orchard canopy sprays. **Atomization and Sprays**, Redding, v.15, p.133-144, 2005.



MAGNO JÚNIOR, R.G. et al. Desenvolvimento de um dispositivo eletrônico para atração de gotas da aplicação eletrostática em plantas cítricas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 5, p. 798-804, 2011.

MASKI, D.; DURAIRAJ, D. Effects of charging voltage, application speed, target height, and orientation upon charged spray deposition on leaf abaxial and adaxial surfaces. **Crop Protection**, London, v. 29, n. 2, p. 134–141, 2010.

MIRANDA, G. R. B.; RAETANO, C. G.; SILVA, V. C.; CUNHA, M. D. Q.; CARVALHO, R. H.; PINHEIRO, J. M.; GONÇALVES, M. P.; REINATO, C. H. R.; PAIVA, L. C.; ARAÚJO, D. Avaliação dos depósitos da pulverização em frutos de cafeeiro utilizando dois equipamentos associados a diferentes volumes de calda. **Revista Agrogeambiental**, Pouso Alegre, v. 4, n. 1, p. 15-20, 2012.

RAMOS, H. H.; YANAI, K.; CORRÊA, I. M.; BASSANEZI, R. B.; GARCIA, L. C. Características da pulverização em citros em função do volume de calda aplicado com turbopulverizador. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. especial, p. 56- 65, 2007.

ROSELL POLO, J. R.; SANZ, R.; LLORENS, J.; ARNO, J.; ESCOLA, A.; RIBES-DASI, M.; MASIP, J.; CAMP, F.; GRACIA, F.; SOLANELLES, F.; PALLEJA, T.; VAL, L.; PLANAS, S.; GIL, E.; PALACÍN, J. A tractor mounted scanning LIDAR for the non-destructive measurement of vegetative volume and surface area of tree-row plantations: a comparison with conventional and destructive measurements. **Biosystem Engineering**, London, v. 102, p. 128-134, 2009.

SALYANI, M.; FAROOQ, M. Sprayer air energy demand for satisfactory spray coverage in citrus applications. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Tallahassee, v. 116, p. 298-304, 2003.

SASAKI, R.S.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; MONTEIRO, P. M. B.; RODRIGUES, D. E. Deposição e uniformidade de distribuição da calda de aplicação em plantas de café utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 9, p. 1605-1609, 2013.

SCUDELER, F.; RAETANO, C. G.; ARAÚJO, D.; BAUER, F. C. Cobertura da pulverização e maturação de frutos do cafeeiro com ethephon em diferentes condições operacionais. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 1, p.129-139, 2004.

SILVA, A. R.; LEITE, M. T.; FERREIRA, M. C. Estimativa da área foliar e capacidade de retenção de calda fitossanitária em cafeeiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 3, p. 66-73, 2008.

XIONGKUI, H. et al. Precision orchard sprayer based on automatically infrared target detecting and electrostatic spraying techniques. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, Beijing, v. 4, p. 35-40, 2011.



VIANA, R. G.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, M. C.; TEIXEIRA, M. M.; ROSELL, J. R.; TUFFI SANTOS, L. D.; MACHADO, A. F. L. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de baixa deriva. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28., n. 2, p. 439-446, 2010.

ZHAO, S.; CASTLE, G.S.P.; ADAMIAK, K. Factors affecting deposition in electrostatic pesticide spraying. **Journal of Electrostatics**, London, v. 66, n. 11, p. 594–601, 2008.

ZHENG, J.; ZHOU, H.; XU, Y. **Advances in pesticide electrostatic spraying in China**. St. Joseph, Mich.: ASAE, 2002. (Paper nº 021034).