

JOSÉ MÁRCIO DE SOUSA JÚNIOR

**DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VOLUME DE PULVERIZAÇÃO
PARA A CULTURA DO CAFÉ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa –
Campus Rio Paranaíba, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção
Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

RIO PARANAÍBA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca UFV - *Campus* Rio Paranaíba**

T

S725d
2016

Sousa Júnior, José Márcio de, 1991-

Determinação do índice de volume de pulverização para a cultura do café : Regulagem e calibração de Pulverizador Hidropneumático / José Márcio de Sousa Júnior. – Rio Paranaíba, MG, 2016.

viii, 57f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Renato Adriane Alves Ruas.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa Campus UFV - Rio Paranaíba.

Inclui bibliografia.

1. Tecnologia de aplicação. 2. Calibração. 3. Café arábica.
I. Universidade Federal de Viçosa Campus UFV - Rio Paranaíba.
Campus UFV - Rio Paranaíba. Mestrado em
Agronomia-Produção Vegetal (campus CRP). II. Título.

633.73

JOSÉ MÁRCIO DE SOUSA JÚNIOR

**DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VOLUME DE PULVERIZAÇÃO
PARA A CULTURA DO CAFÉ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa –
Campus Rio Paranaíba, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção
Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA:

Robson Shigueaki Sasaki

Professor Alberto Carvalho Filho
(Co-orientador)

Professor Renato Adriane Alves Ruas
(Orientador)

DEDICATÓRIA

À José Márcio, Teresinha e Camila
Esta vitória também é de vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter guiado e iluminado cada passo meu, até que eu chegasse aqui.

Agradeço aos meus pais, José Márcio e Teresinha, e à minha irmã Camila Andrade, por toda ajuda, companheirismo e incentivo em todas as fases dessa minha formação pessoal e profissional. E a minha namorada Jéssika Cristina, pelo companheirismo, carinho e amor.

Agradeço ao meu orientador, Renato Adriane Alves Ruas, pela oportunidade, paciência, empenho e profissionalismo.

Aos colegas do GRUPO DE PESQUISAS EM MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA, Carlos Diego, Carlos Roberto, Douglas Dyonathan, Guilherme Andrade, João Godinho, Lucas Caixeta, Luiz Otávio, Wilian Sudan e Marília Almeida, pelo companheirismo e pelo auxílio na realização dos trabalhos de campo.

Aos Professores Cláudio Pagotto Ronchi, Alberto Carvalho Filho, Vinícius Ribeiro Faria, Ézio Marques da Silva e Flávio Lemes Fernandes pela colaboração, sugestões e correções que engradeceram este trabalho.

Aos técnicos Bruno Henrique Rocha, Paulo Henrique da Cunha, Danilo Henrique Pereira e Helber Dumont Pereira pelo companheirismo e pelo auxílio na realização dos trabalhos de campo.

Agradeço aos meus amigos e colegas de mestrado, pela amizade e alegrias vividas.

À Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba pela oportunidade de cursar o mestrado e a CAPES pelo auxílio financeiro.

E à todos que contribuíram de alguma forma para a conclusão desse trabalho.

Meus Sinceros Agradecimentos!

BIOGRAFIA

JOSÉ MÁRCIO DE SOUSA JÚNIOR, filho de José Márcio de Sousa e Teresinha Maria de Andrade Sousa, nasceu na cidade de Carmo do Paranaíba, Minas Gerais, em 14 de janeiro de 1991.

No dia 12 de dezembro de 2008, concluiu curso técnico profissionalizante em Agropecuária pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Bambuí (CEFET-Bambuí), Minas Gerais, Brasil.

No dia 14 de agosto de 2014, graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Viçosa - *Campus* Rio Paranaíba (UFV-CRP), Minas Gerais, Brasil.

No dia 04 de agosto do mesmo ano, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal pela Universidade Federal de Viçosa - *Campus* Rio Paranaíba, submetendo-se à defesa de dissertação em 30 de junho de 2016.

SUMÁRIO

1. RESUMO	VII
1.1. ABSTRACT.....	VIII
2. INTRODUÇÃO GERAL	1
2.1. REFERÊNCIAS.....	3
3. 1º ARTIGO: VERTICAL VOLUMETRIC DISTRIBUTION OF AN AXIAL FAN SPRAYER ON THE <i>BREVIPALPUS PHOENICIS</i> CONTROL.....	5
3.1. ABSTRACT.....	5
3.2. RESUMO.....	6
3.3. INTRODUCTION	6
3.4. MATERIAL AND METHODS	8
3.5. RESULTS AND DISCUSSION	13
3.6. CONCLUSIONS	20
3.7. REFERENCES	21
4. 2º ARTIGO: DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VOLUME DE PULVERIZAÇÃO PARA A CULTURA DO CAFÉ (<i>COFFEA ARABICA</i> L.)	24
4.1. RESUMO.....	24
4.2. ABSTRACT.....	25
4.3. INTRODUÇÃO.....	25
4.4. MATERIAL E MÉTODOS	27
4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.6. CONCLUSÕES	39
4.7. AGRADECIMENTOS	39
4.8. REFERÊNCIAS	40
5. 3º ARTIGO: INFLUÊNCIA DA DENSIDADE FOLIAR NA DISTRIBUIÇÃO DE CALDA NO DOSSEL DO CAFEIEIRO (<i>COFFEA ARABICA</i> L.).....	42
5.1. RESUMO.....	42
5.2. ABSTRACT	43
5.3. INTRODUÇÃO	43
5.4. MATERIAL E MÉTODOS	45

5.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.6. CONCLUSÕES	51
5.7. REFERÊNCIAS.....	52
6. CONCLUSÕES GERAIS.....	54
7. ANEXOS	55

1. RESUMO

SOUSA JÚNIOR, José Márcio de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Junho de 2016. **Determinação do índice de volume de pulverização para a cultura do café.** Orientador: Renato Adriane Alves Ruas. Coorientadores: Alberto Carvalho Filho e Vinícius Ribeiro Faria.

De modo geral, o manejo fitossanitário das lavouras de café é realizado empregando-se pulverizadores hidropneumáticos. Assim, a distribuição de calda proporcionada por esses equipamentos deve ser analisada com critério, sob pena de elevar custos de produção e causar contaminação ambiental. Aliado a isto, a calibração por meio do ajuste do volume de calda de acordo como o volume de vegetação, tem-se mostrado uma forma de tornar as aplicações de agrotóxicos mais eficientes. Porém, para adoção deste método para o cafeeiro, ainda é necessário a determinação do Índice volumétrico (IV). Portanto, objetivou-se com este trabalho, analisar e padronizar a distribuição de calda proporcionada pelo pulverizador hidropneumático e utilizá-lo nas aplicações visando a determinação do índice volumétrico de pulverização para cultura do café (*Coffea arabica* L.). Preliminarmente às aplicações, foi realizada a verificação do coeficiente de variação da distribuição volumétrica vertical do pulverizador hidropneumático equipado com diferentes configurações de pontas no arco de pulverização. Avaliou-se também a influencia da uniformidade de distribuição na eficácia de controle de *Brevipalpus phoenicis*. Para isso, o pulverizador foi equipado com as configurações que apresentaram maiores uniformidades de distribuição. Na determinação do IV, foram aplicados cinco volumes de calda (200; 300; 500; 600 e 800 L ha⁻¹) em cinco volumes vegetativos (TRV), em três estádios de desenvolvimento (enchimento, maturação e pós-colheita dos frutos) de forma a verificar tanto o efeito do volume vegetativo quanto o da densidade foliar. A maior uniformidade de distribuição foi proporcionada quando o pulverizador foi equipado na parte inferior com cinco pontas MAG 3,0, parte mediana com nove pontas MAG 1,5 e parte superior com quatro pontas MAG 3,0. No entanto, apesar de se ter uma distribuição mais uniforme, não foi verificada diferença ($p > 0,05$) entre a porcentagem de incidência de *B. phoenicis* e as configurações de pontas. Verificou-se que o ajuste das curvas de densidade de gotas de acordo com o IV, em função do estádio de desenvolvimento permite reduzir em até 47% o volume de calda aplicado. A distribuição dos ramos na planta de forma homogênea proporciona menor variabilidade de distribuição de calda no dossel. Conclui-se que, a maior uniformidade de distribuição de calda não interfere na eficácia de controle de *B. phoenicis* e que o IV é uma alternativa para se reduzir o volume de calda aplicado em lavouras de café.

1.1.ABSTRACT

SOUSA JÚNIOR, José Márcio de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June of 2016. **Determination of spray volume index for the coffee culture.** Adviser: Renato Adriane Alves Ruas. Co-advisers: Alberto Carvalho Filho and Vinícius Ribeiro Faria.

In general, the plant management of coffee plantations is performed employing hydropneumatic sprayers. Thus, the syrup distribution provided by these devices must be analyzed with discretion, under penalty of increasing production costs and cause environmental contamination. Added to this, the calibration by adjusting the spray volume according to the volume of vegetation, has shown a way to make the most efficient pesticide applications. However, for adopting this method for the coffee, the determination of volume level is still necessary (IV). Therefore, the aim of this study was to analyze and standardize the syrup distribution provided by the hydropneumatic spray and use it in applications in order to determine the volumetric rate of spraying for coffee (*Coffea arabica* L.). Preliminary applications, verification of vertical volumetric distribution coefficient of variation of hydropneumatic sprayer equipped with different configurations of points in arc spraying was carried out. It also evaluated the influence of distribution uniformity in *Brevipalpus phoenicis* control effectiveness. For this, the sprayer was equipped with the settings that had greater uniformity of distribution. In determining the IV, they were applied five volumes of syrup (200, 300, 500, 600 and 800 L ha⁻¹) in five vegetative volumes (TRV) in three stages of development (filling, maturation and post-harvest fruit) in order to verify the effect of both vegetative volume and the density of foliage. The more uniform distribution was provided when the spray was equipped at the bottom with five points MAG_{3.0}, median of nine MAG_{1.5} points and top with four points MAG_{3.0}. However, despite having a more even distribution, was not observed ($p > 0.05$) between the percentage of incidence of *B. phoenicis* and tips settings. It was found that adjusting the density curves drops according to IV, depending on the developmental stage allows to reduce by 47% the amount of slurry applied. The distribution of branches in homogeneously plant provides less spray distribution variability in the canopy. In conclusion, the highest uniformity of the spray distribution does not interfere with control efficacy of *B. phoenicis* and the IV is an alternative to reduce the spray volume applied to coffee plantations.

2. INTRODUÇÃO GERAL

Os cafés produzidos no estado de Minas Gerais, principalmente na região de Cerrado, vêm conquistando mercados cada vez mais exigentes, principalmente, o europeu. Em geral, esses mercados, exigem cafés certificados, pois, normalmente, possuem maior qualidade, devido ao processo de rastreabilidade (UTZ CERTIFIED, 2010). Dentre os critérios para certificação, destaca-se a racionalização do uso de agrotóxicos (REDE DE AGRICULTURA SUSTENTÁVEL, 2014), os quais podem resultar em alguns agravantes para o controle de qualidade como, por exemplo, contaminação ambiental, intoxicação do operador, além do aumento da quantidade de resíduos no café colhido.

Assim, torna-se necessário o emprego correto da tecnologia de aplicação, de modo que o ingrediente ativo seja depositado no alvo no momento adequado, na quantidade certa, com o mínimo de desperdício e contaminação ambiental. Nesse contexto, torna-se muito importante o conhecimento não apenas do produto aplicado, mas também do equipamento utilizado, bem como de suas principais formas de uso.

Em geral, os pulverizadores hidropneumáticos são os mais utilizados nas pulverizações em lavouras de café. Eles apresentam como característica a dupla fragmentação do líquido em gotas. A primeira fragmentação ocorre pela passagem da calda sob pressão pelo orifício da ponta e, a segunda, pela ação do vento produzido por um ventilador de alta vazão. Porém, esta última fragmentação ocorre em menor intensidade, posto que, a corrente de ar produzida, favorece a trajetória das gotas pulverizadas em direção ao alvo, aumentando a penetração e a deposição dos produtos no dossel do cafeeiro (GIL et al., 1996). No entanto, na maioria das vezes, as pulverizações realizadas por esses equipamentos resultam em aplicações ineficientes (HIGASHIBARA et al., 2013). Em geral, são aplicados elevados volumes de calda, no intuito de compensar as perdas e fazer com o produto atinja os alvos que são de difícil acesso.

Os volumes aplicados na lavoura do café variam entre 400 e 800 L ha⁻¹, independentemente do volume de vegetação (MATIELLO et al., 2010). Com isso, para lavouras mais novas, devido à pouca área foliar, pode resultar em escorrimento superficial, contaminação do solo e de áreas vizinhas em consequência da deriva (MATUO, 1990).

Sendo assim, para reduzir os problemas ocasionados por aplicações com os pulverizadores hidropneumáticos, faz-se necessário a correta realização da regulagem e calibração. Entende-se por regulagem como sendo a verificação e, caso necessário, ajuste de todos os componentes do pulverizador, de forma a produzir gotas de uma determinada classe

de tamanho e realizar a aplicação a uma determinada taxa. Destaca-se durante essa etapa, a importância da correta seleção e configuração das pontas hidráulicas na barra de pulverização, sendo um fator muito importante para maior uniformidade de distribuição volumétrica ao longo da faixa vertical pulverizada.

A calibração consiste no ajuste do volume de calda aplicado e na quantidade de produto a ser colocado no tanque. A calibração dos pulverizadores hidropneumáticos pode ser realizada de duas formas: Em uma delas, considera-se uma área conhecida, que é obtida pelo espaçamento entre linhas da lavoura, vezes 50 metros a serem percorridos pelo pulverizador, operando na pressão de trabalho e velocidade selecionada. Após a pulverização, mede-se o volume aplicado e extrapola-se o valor encontrado para um hectare. Nessa forma de calibração, considera-se a quantidade de volume aplicado por área de lavoura. Entretanto, o que se objetiva nas pulverizações em cafeeiros é atingir certo volume de vegetação que se encontra disposto na vertical.

Assim, outra possível forma de calibração é adotar metodologia que considere o volume a ser pulverizado em função do volume de vegetação por unidade de área ou "Volume Tree-Row" (TRV). Esse método apresenta bons resultados quando empregado nas calibrações de pulverizadores para aplicações em fruteiras (SUTTON & UNRATH, 1988; RÜEGG et al., 1999; SIEGFRIED et al., 2007). Em videiras a adoção deste método proporcionou a redução do uso de pesticidas em até 57%, mantendo a cobertura e penetração taxas semelhantes às de pulverização convencional (GIL et al., 2007). Entretanto, ainda não existem registros na literatura sobre esse tipo de calibração para a lavoura de café.

O ajuste do volume de calda ao volume de vegetação, dentre outros fatores, consiste na determinação do índice volumétrico (IV), que corresponde ao volume de calda necessário para cobrir adequadamente um metro cúbico do dossel. Esse índice é conhecido para algumas fruteiras, como a laranjeira, porém ainda desconhecido para a cultura do café.

O ajuste deste índice apresenta como limitação a variação de volume vegetativo apresentado pela lavoura de café, que se dá em função de diversos fatores, tais como: idade da planta, desfolha decorrente da colheita (SANTINATO et al., 2014), ataque de pragas e doenças (MATIELLO et al., 2010), realização de podas (FERNANDES et al., 2012), variações sazonais que ocorrem em função da disponibilidade hídrica e variação na temperatura (DaMATTA et al., 2007). Essas variações, principalmente ao longo das estações, resultam em alterações na densidade foliar (BERNI et al., 1999), tendo influência direta na eficácia das pulverizações, sobre tudo, na penetração, distribuição e deposição da calda (SILVA et al., 2014).

Portanto, acredita-se que a calibração de pulverizadores hidropneumáticos considerando o volume de calda de acordo com o volume de vegetação aumente a eficiência de pulverizações na cultura do café. Com isso, as perdas e a contaminação ambiental são reduzidas, resultando em maior competitividade e sustentabilidade da produção.

2.1. REFERÊNCIAS

BERNI, R.F.; MACHADO, V.O.F.; COSTA, G.R.; BARATA, G.; PAULA, R.S. Avaliação da cobertura de gotas provocadas por diferentes bicos de pulverização na cultura do milho e do feijão. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v.29, n.1, p.49-52, 1999.

DaMATTA, F.M.; RONCHI, C.P.; MAESTRI, M.; BARROS, R.S. Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal Plant Physiology*, Londrina, v.19, n.4, p.485-510, 2007.

FERNANDES, A.L.T.; SANTINATO, F.; SANTINATO, R.; MICHELIM, V. Condução das podas do cafeeiro irrigado por gotejamento cultivado no Cerrado de Minas Gerais. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v.8, n.15, p.110-19, 2012.

GIL, E.; BADIOLA, J.; ARMENGOL, E.; BERNAT, C. Design and verification of a moving equipment for orchard and vineyard sprayer calibration. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING**, 1996, Madrid. **Proceedings...** Madrid: European Society of Agricultural Engineers, 1996. 8p.

GIL, E.; ESCOLÀ, A.; ROSELL, J.R.; Planas, S.; Val, L. Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. **Crop Protection**, Amsterdam, v.26, p.1287-1297, 2007.

HIGASHIBARA, L.; DUTRA, V.; ABI SAAB, O.J.G.; TAKAHASHI, H.W.; NEVES, C.S.V.J. Turboatomizador e repasse com pistola manual na cobertura de pulverização de agrotóxicos em caquizeiro (*Diospyros kaki L.f.*). **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.5, p.845-849, 2013.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. G.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil: Novo Manual de Recomendações**. Rio de Janeiro e Varginha: MAPA/PROCAFÉ, 2010. 542 p.

MATUO, T. **Técnica de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: Funep, 1990. 139p.
REDE DE AGRICULTURA SUSTENTÁVEL. Norma para obtenção do selo de certificação Rainforest Alliance: Medidas tomadas para obtenção da certificação. Disponível em:

<http://www.san.ag/biblioteca/docs/SAN-S-1-1.2_Sustainable_Agriculture_Standard.pdf>.

Acesso em: 06 de Outubro de 2014.

UTZ CERTIFIED. **Certificação de propriedades:** cafés certificados. Disponível em:

<<http://www.utzcertified.org/index.php?pageID=101&switchlanguage=PT->>. Acesso em: 06

de Outubro de 2014.

RÜEGG, J.; VIRET, O.; RAISIGL, U. Adaptation of spray dosage in stone-fruit orchards on the basis of the tree row volume. **Bulletin**, v.29, p.103-110. 1999.

SANTINATO, F.; SILVA, R.P.; CASSIA, M.T.; SANTINATO, R. Análise quali-quantitativa da operação de colheita mecanizada de café em duas safras. **Coffee Science**, Lavras, v.9, n.4, p.495-505, 2014

SIEGFRIED, W.; VIRET, O.; HUBER, B.; Wohlhauser, R.. Dosage of plant protection products adapted to leaf area index in viticulture. **Crop Protection**, Amsterdam, v.26, p.73-82, 2007.

SILVA, B.M.; RUAS, R.A.A.; SICHOCKI, D.; DEZORDI, L.R.; CAIXETA, L.F. Deposição da calda de pulverização aplicada com pontas de jato plano em diferentes partes da planta de soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*). **Engenharia na agricultura**, v.22, n.1, p.17-24, 2014.

SUTTON, T. B.; UNRATH, C. R. Evaluation of the tree-row-volume model for full season pesticide application on apples. **Plant Disease**, Madison, v.72, n.7, p.629-632, 1988.

3.2. RESUMO

A distribuição de calda proporcionada por pulverizadores hidropneumáticos, dentre outros fatores, deve ser analisada com critério, sob pena de elevar custos de produção e causar contaminação ambiental. Objetivou-se avaliar o efeito da distribuição volumétrica vertical de pulverizador hidropneumático na eficácia de controle de *Brevipalpus phoenicis*. Primeiramente, realizou-se ensaio visando a avaliar a uniformidade de distribuição volumétrica vertical do pulverizador, considerando-se diferentes configurações de pontas nos arcos de pulverização, lados e altura de pulverização. Em seguida, realizou-se outro experimento, com o intuito de analisar a relação entre a distribuição do acaricida Fenpiroximato aplicado a lavoura de *Coffea arabica* L. e o controle de *B. phoenicis*. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 4 x 2 + 1 testemunha adicional, sendo eles: quatro volumes de calda (200 L ha⁻¹, 400 L ha⁻¹, 600 L ha⁻¹ e 800 L ha⁻¹) e duas configurações de pontas (1: 100 % das pontas MAG_{1,5}; 2: parte superior com 5 pontas MAG_{3,0}, parte mediana com 9 pontas MAG_{1,5} e parte inferior com 4 pontas MAG_{3,0}). A configuração 2 proporcionou o menor coeficiente de variação (28 %). As configurações de pontas não apresentaram efeito na incidência de *B. phoenicis*. A utilização de pontas com diferentes vazões no arco de pulverização melhora a uniformidade de distribuição volumétrica vertical dos pulverizadores hidropneumáticos, mas não influencia na eficácia de controle de *B. phoenicis*.

PALAVRAS-CHAVE: *Coffea arabica* L.; pontas de pulverização; aplicação de agrotóxico.

3.3. INTRODUCTION

1 Coffee production is a very important activity for the Brazilian agribusiness, where
2 coffee is one of the major commodities. Estimated domestic production from the 2015 harvest
3 is 1,878 t (31.3 million bags) of processed Arabica coffee (Conab 2015).

4 In order to reach high yields, it is necessary to adopt various technologies, including
5 the application of pesticides via axial fan sprayer. The working principle of this sprayer is
6 based on the fragmentation of pressurized liquid into droplets that are released into a high
7 flow and velocity air stream. The high pressure air stream promotes new fragmentation,
8 carrying the droplets to the plant canopy, even at hard-to-reach targets (Ruas et al. 2015).

9 However, the airflow produced by axial fan sprayers is usually distributed unevenly
10 along the fan outlet (Rodrigues et al. 2008). This is due to the clockwise spinning of the fan,
11 resulting in a greater airflow from the right side, when compared to the left side (Herrera Prat
12 et al. 2002). Therefore, because the airflow produced by the fan has a direct influence on
13 spray distribution uniformity in the plant canopy (Sotolongo & Herrera 1986), it is possible
14 that the active principle of the applied product does not reach important targets on the plant,
15 hampering the treatment efficacy.

16 Another factor that may contribute to reduce the application efficiency is the distance
17 between the sprayer nozzle and the target (Mion et al. 2011). Due to the concavity of the
18 spray arc and plant architecture, nozzles positioned at the extremities of the arc present a
19 greater distance to the target. Because the droplets are carried by the airflow (Sotolongo &
20 Herrera 1986), as the distance between the sprayer nozzle and target increases, the droplet
21 reaches the leaves with less energy and is therefore more subject to drift, reducing the
22 capacity for penetration and deposition on the plant canopy.

23 This problem may be minimized with the use of spray nozzles that produce larger-
24 diameter droplets at the extremities of the spray arc. These larger droplets are less subject to
25 drift losses, which may result in increased spray deposition at the positions most distant from

1 the spray arch (Balan et al. 2006), and consequently increased vertical distribution uniformity
2 of the spray.

3 However, large droplets may present reduced product penetration capacity in the
4 canopy (Cunha et al. 2005). This can result in reduced control efficiency of certain pests, such
5 as the leprosis mite (*Brevipalpus phoenicis*), transmitter of the coffee ringspot virus (CoRSV)
6 (Almeida et al. 2012). The control of *B. phoenicis* can be difficult, because it generally stays
7 in the inner middle and inner lower portions of the coffee plant (Reis et al. 2000).

8 Thus, it is necessary to perform studies to clarify the relationship between the
9 volumetric distribution dynamics provided by axial fan sprayers and efficiency of the
10 pesticide treatments. This study aimed at evaluating the effect of vertical volumetric
11 distribution of an axial fan sprayer on the *Brevipalpus phoenicis* control efficiency.

12

13

3.4.MATERIAL AND METHODS

14

15 The experiment was divided into two parts: determination of the vertical volumetric
16 distribution uniformity of the axial fan sprayer and analysis of the relationship between
17 distribution of acaricides on coffee plants and the control efficiency.

18

19 In the first part of the experiment, evaluations of the vertical volumetric distribution
20 uniformity were performed in Rio Paranaíba (19°13'0.90"S and 46°20'36.16"W), Minas
21 Gerais State, Brazil, in 2015, . A completely randomized design was employed in a 3 x 2 x 2
22 factorial, consisting of: three configurations of the spray arc nozzles (Configuration 1:100 %
23 of the MAG_{1.5} nozzles; Configuration 2: lower extension with 9 MAG_{1.5} nozzles and upper
24 extension with 9 MAG_{3.0} nozzles; Configuration 3: upper extension with 5 MAG_{3.0} nozzles,
25 middle extension with 9 MAG_{1.5} nozzles and lower extension with 4 MAG_{3.0} nozzles); both
sides of the spray extension (right and left) and two collection heights of the sprayed liquid

1 (0-1.6 and 1.6-3.2 m), with four replications, totaling 48 experimental units. The nozzles
2 Magno Jet[®] (MAG) 1.5 and 3.0 have flow rates of 0.56 and 1.13 L min⁻¹, respectively, with a
3 pressure of 300 kPa.

4 A vertical collector was constructed consisting of four sections measuring 1 m long
5 and 2 m wide in order to collect the sprayed liquid at heights up to 4 m. Each session
6 consisted of 10 channels of galvanized steel bent into a “V” shape, spaced at 0.10 m. The base
7 of the test apparatus was constructed with a 2 % horizontal inclination for fluid flow to one of
8 the channel extremities, to which silicon hoses with a diameter of 0.01 m were connected. The
9 ends of these hoses were in turn placed in two liter polyethylene bottles to collect the volume
10 deposited in each of the channels.

11 A tractor pulled Arbus Modelo 2000 TP VA da Jacto[®] sprayer was used, with a tank
12 capacity of 2,000 L. The sprayer was equipped with a piston pump model JP-190 rated for
13 flow rates up to 190 L min⁻¹ and a radial fan that generated an airflow of 19 m³ s⁻¹. It has a
14 double arch with 36 spray nozzles (18 left and 18 right) individually adjustable, thus allowing
15 various flow configurations from the nozzles. The tractor used was a Valtra[®] model BF75 4x2
16 (TDA), whose power at 2,300 rpm is 53 kW and maximum torque at 1,400 rpm is 260 N.m.
17 The sprayer was regulated and calibrated by the conventional method for a water application
18 volume of 500 L ha⁻¹.

19 During application of the treatments, the distance between the sprayer and vertical
20 collector was 1.9 m (considering spacing between rows of 3.8 m, commonly adopted in
21 Cerrado coffee production) and operating for 60 seconds. The liquid volume from each of the
22 40 collection recipients was measured in a graduated cylinder. The average temperature
23 during the evaluations was 20 °C, average relative humidity was 61 % and average wind
24 speed was 5 km h⁻¹.

1 The distribution profile was determined and its uniformity was estimated with the
2 coefficient of variation (CV) for vertical volume on the left and right sides of the sprayer,
3 considering the sprayer height of 3.2 m (average height of coffee plants in the region). Data
4 was subjected to analysis of variance and means were compared by the Tukey test at 5 %.

5 Subsequently, the airflow produced by the fan acting on each spray nozzles was
6 estimated. For this purpose the air velocity was measured using a digital anemometer
7 Instrutherm[®] model AD-250 , with a resolution of 0.10 m s⁻¹, positioned parallel to each point
8 at a distance of 0.10 m, on both sides of the fan. From the total air outlet area parallel to the
9 extensions on the right and left side, the area of each section was determined. This allowed
10 estimation of the airflow on each of the 36 spray nozzles (Equation 01).

$$11 \quad q = a \times \omega \quad \text{Equation (01)}$$

12 where: q = air flow (m³ s⁻¹); a = areas of the section at which the air velocity was
13 measured (m²) and ω = velocity at each point (m s⁻¹).

14 The second part of the experiment, which consisted of verifying the effect of the
15 vertical volumetric distribution of acaricide applied with the hydropneumatic sprayer on *B.*
16 *phoenicis* control efficiency was performed on a plot with ten years old *Coffea arábica* L.
17 cultivar Catucaí Amarelo, at a farm in Carmo do Paranaíba, Minas Gerais State, Brazil. The
18 farm is located at the geographic coordinates 18°59'30"S and 46°19'01"W, in the Cerrado
19 Mineiro region, with an average altitude of 1,050 m and climate defined as Cwa according to
20 the Köppen classification. The plot was implemented with spacing between plants and rows
21 of 0.6 m and 3.8 m, respectively. The plants had an average height of 3 m.

22 The experiment was conducted in a randomized block design and the treatments were
23 arranged in a 4 x 2 + 1 factorial as follows: four spray volumes (200 L ha⁻¹, 400 L ha⁻¹, 600 L
24 ha⁻¹ and 800 L ha⁻¹) and two spray nozzle configurations on the spraying arc (Configuration
25 1:100 % of the MAG_{1.5} nozzles; Configuration 3: upper extension with 5 MAG_{3.0} nozzles,

1 middle extension with 9 MAG_{1,5} nozzles and lower extension with 4 MAG_{3,0} nozzles), plus
2 one additional control and four replications, totaling 36 experimental units. The
3 configurations used were those that provided the lowest coefficient of variation for the
4 vertical volumetric distribution in the previous experiment. The control treatment had no
5 acaricide application.

6 Each block was composed by four coffee rows, each with nine plots consisting of 60
7 plants. Plots and blocks were spaced by 30 m, thus providing enough space for tractor gear
8 changes in order to alter the velocities in each treatment and minimize the possible effects of
9 drift.

10 The acaricide used was fenpyroximate (Ortus 50 SC[®]), of the chemical group of
11 pyrazoles, at a dose of 1 L ha⁻¹ of commercial product (C.P). This product acts by contact and
12 ingestion. Together with the acaricide, the adjuvant Master Forth[®] at a dose of 0.03 L ha⁻¹,
13 was added to the spray, which is characterized by having the effect of a surfactant and
14 thickener.

15 Spraying was carried out with the same sprayer used in the first experiment. However,
16 it was pulled and driven by a New Holland[®] tractor, model TT 3880, whose power at 2,500
17 rpm is 44.1 kW. The tractor had a maximum torque at 1,500 rpm of 200 Nm. The sprayer was
18 previously adjusted and calibrated by adjusting the velocity and pressure distribution for
19 distribution of the appropriate spray volume for each treatment (Table 1). During application,
20 the average temperature was 26 °C, the average relative humidity (RH %) was 59 and the
21 average wind speed was 3 km h⁻¹.

22
23
24
25

Table 1. Pressures, velocities and gears utilized by the tractor-axial fan sprayer set seeking to obtain the desired spray volumes

Flow (L ha ⁻¹)	Nozzle configurations*	Pressure (kPa)	Velocity (km h ⁻¹)	Gear
200	1	310	11	2 nd simple
400	1	414	6	4 th reduced
600	1	445	5	3 rd reduced
800	1	379	3	2 nd reduced
200	3	103	11	2 nd simple
400	3	569	11	2 nd simple
600	3	379	6	4 th reduced
800	3	1,448	8	1 st simple

1 * Configuration 1: 100 % of the MAG_{1.5} nozzles. Configuration 3: upper extension with 5 MAG_{3.0} nozzles,
2 middle extension with 9 MAG_{1.5} nozzles and lower extension with 4 MAG_{3.0} nozzles

3

4 To assess the penetration capacity of droplets into the plant canopy, water sensitive

5 papers were fixed to the orthotropic branch at three heights (bottom, middle and upper third).

6 To control possible effects of the side of passage (right or left side of the extension) at the

7 time of application, the application side was alternated between repetitions. Then the papers

8 were removed, identified and placed in properly labeled packages. In the laboratory the papers

9 were scanned using a calibrated scanner with resolution of 600 DPI and images of spray

10 stains were processed using the CIR 1.5 software (INTA 2002). The variables determined

11 were the percent coverage (PC) (%) and density of the droplets (DD) (drops cm⁻²).

12 To estimate the efficiency of *B. phoenicis* control, an evaluation was performed before

13 application of the treatments and three evaluations after application (24 hours after

14 application-HAA, and 4 and 14 days after application-DAA). For this purpose five plants

15 from the central row of each plot were sampled, and eight branches were sampled from each

16 plant: two internal median branches, two external median branches, two internal lower

17 branches and two external lower branches (Gravena 1992). The occurrence of live *B.*

1 *phoenicis* adults or nymphs was verified using a magnifying glass with 40-times resolution
2 capacity, to estimate the percentage of attacked branches.

3 Data were subjected to analysis of variance ($p \leq 0.05$), and when significant the
4 treatment levels were compared with a Tukey test at 5 %. In the case of significance of
5 quantitative variables (Spray volumes) a regression analysis was performed.

6

7

3.5. RESULTS AND DISCUSSION

8

9 No significant difference ($p > 0.05$) was verified in the average CV of the vertical
10 volumetric distribution for nozzle configurations 2 and 3 on the left and right sides of the
11 spraying arc. However, for configuration 1 the left side of the spray arc resulted in a CV of
12 the vertical volumetric distribution 22 % smaller than the right side (Table 2). This can be
13 attributed to the fact that the drops are carried by the airflow (Sotolongo & Herrera 1986), and
14 the right side has a higher air flow due to the clockwise spinning direction of the fan (Herrera
15 Prat et al. 2002 and 2013) (Figure 1).

16 Furthermore, the arc shape and positioning of the nozzles in relation to the position
17 and direction of the fan rotation also influence distribution of the sprayed liquid (Alvarenga et
18 al. 2014). The nozzles located along the lower portion of the arc are positioned at a greater
19 distance from the fan blades, and therefore they are subject to reduced air flow. Additionally,
20 due to the curvature of the air outlet the lower nozzles present a greater distance to the target
21 and are more subject to environmental action, where the spray droplets may be carried by the
22 wind (Alvarenga et al. 2014). This fact can be observed in the treatment in which nozzles
23 were employed that produce larger drops at the bottom of the arc (configuration 03), resulting
24 in an increased distribution uniformity of 47 % in relation to the right side of configuration 01
25 (Table 2). This may also be indicated by the CV of the vertical volumetric distribution at the

1 average height of 0 to 1.6 m, wherein configuration 03 presented CV's 58 and 45 % lower
2 than configurations 1 and 2, respectively.

3



4
5 Figure 1. Distribution profile of airflow from the hydraulic nozzles of both sides of the axial
6 fan sprayer.

7 At the height of 1.6-3.2 m, the CV's of the vertical volumetric distribution of
8 configurations 01, 02, and 03 were 40 %, 14 % and 51 % higher, respectively, in relation to
9 the height of 0 to 1.6 m. This fact can be attributed to the concavity of the spray arc being
10 more pronounced at this end, resulting in a greater distance between the nozzle and the target
11 and therefore greater losses. Furthermore, configuration 3, at the height of 1.6-3.2 m,
12 presented CV of the vertical volumetric distribution values 33 % and 26 % lower in relation to
13 configurations 01 and 02, respectively (Table 2). By having nozzles that produced larger-
14 diameter droplets at the ends of the arc, these droplets have a longer useful life and are less
15 carried by the wind, allowing deposition of larger quantities on the targets.

16

17

18

19

20

21

Table 2. Coefficient of variation (CV %) of the vertical volumetric distribution provided by the right and left sides of the axial fan sprayer, when operated with different hydraulic nozzle configurations at two spraying heights

Side	Hydraulic nozzle configurations		
	1: 18 MAG _{1.5} nozzles	2: 9 MAG _{1.5} nozzles and 9 MAG _{3.0} nozzles	3: 5 MAG _{3.0} nozzles; 9 MAG _{1.5} nozzles; 4 MAG _{3.0} nozzles
Left	38 bB	47 aA	29 bA
Right	49 aA	46 aA	26 bA
Height (m)			
0-1.6	33 bB	43 aB	18 cB
1.6-3.2	55 aA	50 aA	37 bA

Means followed by the same lower-case letter on the line, or followed by upper-case letter in the column do not differ according to the Tukey test at 5 %.

1

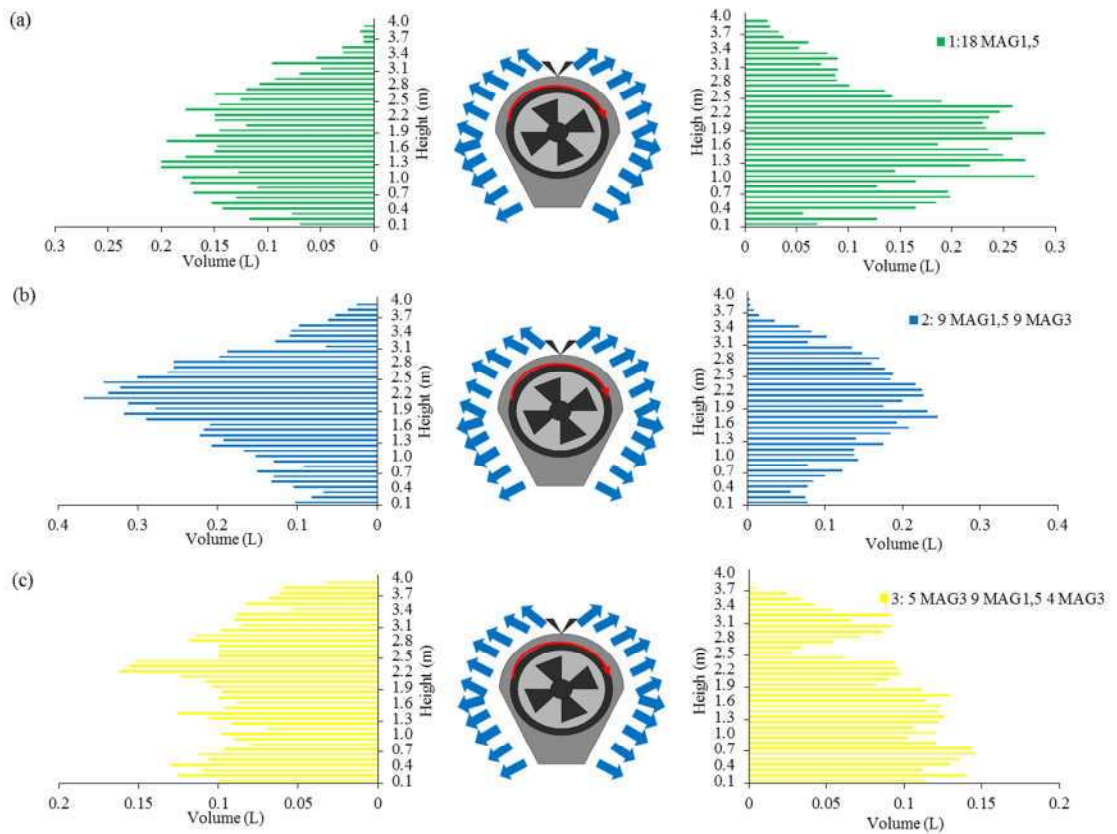
2 For the height of 1.6-3.2 m, the left side of the sprayer extension indicated a CV of the
3 vertical volumetric distribution 20 % greater than the height of 0-1.6 m, which can be
4 attributed to the upward direction of the airflow (Alvarenga et al. 2014) (Table 3). Airflow
5 increases from the lower end to the upper section of the arc, which resulted in deposition of
6 higher spray volumes at the height of 1.6-3.2 m (Figures 1 and 2).

7

Table 3. Coefficient of variation (CV %) of the volumetric distribution provided by the axial fan sprayer, considering the side and two spray heights.

Side	Average collection height (m)	
	0-1.6	1.6-3.2
Left	28 bB	35 aB
Right	48 aA	46 aA

Means followed by the same lower-case letter on the line, or followed by the same upper-case letter in the column do not differ by the Tukey test at 5 %.



1

2 Figure 2. Vertical volumetric distribution from the axial fan sprayer on both sides of the spray
 3 arcs.

4

5 When comparing the two sides of the spray arc, it was observed that, for both heights,
 6 the right side resulted in the highest CV of the vertical volumetric distribution (Table 3). This
 7 may be associated with the descending rotation direction of the fan combined with the
 8 distance from the target. In other words, because of the higher airflow acting on the nozzles,
 9 especially number 4 to 11 (right side) (Figure 1), there was a greater liquid directing to the
 10 middle and lower portions of the vertical collecting bench (Figure 2). And coupled with this,
 11 because the nozzles in the higher portions of the spray were more distant from the vertical
 12 collecting bench, there was a lower spray deposition in the higher portions, contributing even
 13 more to a higher spray distribution variation on the right side.

1 In general, the CV of the vertical volumetric distribution values encountered were 44
2 %, 46 % and 28 % for configurations 1, 2 and 3, respectively. These values were 68 %, 66 %
3 and 79 % lower than others previously reported in literature when working with a line of
4 tubes fixed to a vertical post for collection of the sprayed liquid (Alvarenga et al. 2014). This
5 difference may be due to the method for collecting the sprayed liquid, indicating that the best
6 method to do so, in the case of axial fan sprayer, is via a surface that covers all or part of the
7 spray nozzle width.

8 Regarding the control efficiency of *B. phoenicis*, it was observed that the period with
9 the greatest reduction in incidence of the pest was 14 DAA, down 64 % in relation to the
10 control. It can also be observe that, even though configuration 03 have provided more uniform
11 distribution compared to configuration 01, there was no significant difference ($p > 0.05$)
12 between the percentage incidence of *B. phoenicis* (Table 4). This shows that the use of higher
13 flow rates at the ends of the arc results in more uniform spray distribution; and although the
14 droplets produced by these nozzles are larger, there was no reduction in the penetration
15 capacity of the active ingredient in the canopy. This is probably due to the airflow and leaf
16 density, which interfere on the control of *B. phoenicis* in the inner and lower parts of the
17 coffee canopy. The airflow has a direct influence on spray penetration in the canopy.
18 Moreover, because the acaricide was applied post-harvest there was greater defoliation of the
19 Arabica coffee plants (Da Matta et al. 2007), and therefore a lower barrier for penetration and
20 spray deposition.

21
22
23
24
25

Table 4. Percent incidence of *B. phoenicis* verified after application of acaricide with the axial fan sprayer configured with different spray nozzles.

	24 HAA	4 DAA	14 DAA
Control	79 a	79 a	86 a
Treatments	54 b	50 b	31 b
Configurations			
1: 18 MAG _{1.5} nozzles	55 a	51 a	29 a
3: 5 MAG ₃ nozzles; 9 MAG _{1.5} nozzles; 4 MAG ₃ nozzles	53 a	50 a	33 a

Means followed by the same lower-case letter in the column do not differ by the Tukey test at 5 %.

1
 2 Analyzing the spray distribution on the plants, there was no significant difference ($p >$
 3 0.05) between the nozzles configurations for the response variables droplet density and
 4 percent coverage. However, there was a decrease in the percent coverage and droplet density
 5 from the upper to the lower positions of the canopy (Table 5). This is attributed to greater
 6 overlap of branches of thirds higher than the branches of the lower thirds (Da Matta et al
 7 2007). This results in an increase in leaf density and, therefore, reduces the penetration of the
 8 spray those portions of the canopy.

Table 5. Droplet density (DD) and percent coverage (PC) obtained in the upper, middle and lower portions of the coffee plant from the axial fan sprayer, operating with different spray nozzle configurations.

Configurations	DD(drops cm ⁻²)	PC (%)
1: 18 MAG _{1.5}	370 a	10 a
3: 5 MAG ₃ 9 MAG _{1.5} 4 MAG ₃	344 a	8 a
Position in the canopy		
Upper	450 a	13 a
Middle	361 b	9 b
Lower	260 c	6 c

Means followed by the same lower-case letter in the column do not differ by the Tukey test at 5 %.

9
 10 In the evaluation performed at 24 HAA there was no significant difference ($p > 0.05$)
 11 of pest incidence as a function of the applied spray volumes. This may indicate that the

1 immediate effect of the active ingredient in question was low. Moreover, the maximum flow
2 rate utilized may not have been sufficient, considering that the active ingredients require high
3 target coverage since it acts by contact.

4 At 4 DAA the flow rates of 200 L ha⁻¹ and 800 L ha⁻¹ reduced the incidence of *B.*
5 *phoenicis* by 42 % and 57 % when the droplet density was 190-525 drops cm⁻² and coverage
6 was 4 and 16 %, respectively. For these flows and values of droplet density and percent
7 coverage, at 14 DAA, 60 % and 78 % pest incidence reductions were verified (Figure 3).
8 Based on these data an inverse relationship was observed between droplet density and
9 coverage with pest incidence. Thus, it can be inferred that droplet density and coverage
10 percentage should be considered as a basis for selecting the proper flow rate, especially when
11 considering the reduced size of some targets, such as the mite (Fernandes et al. 2010).

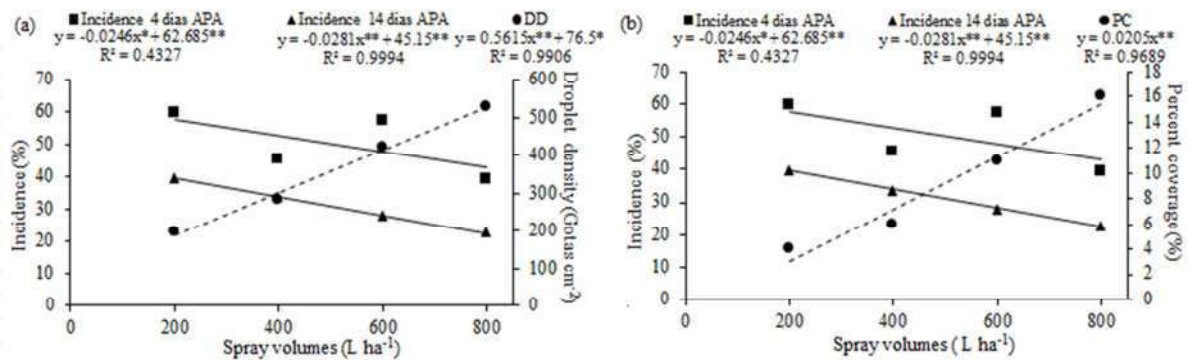
12 In the lower portions of the coffee plant, where the smaller droplet density and percent
13 coverage are commonly deposited, present the highest incidence of this pest was observed
14 (Reis et al. 2000). Thus, it is important to increase deposition in these places, because more
15 droplets (drops cm⁻²) and increased coverage implies greater and better distribution of the
16 active ingredient, resulting in more effective control. This is especially true when using active
17 ingredients that act by contact and ingestion.

18 However, new technologies that increase the droplet density and coverage by
19 increasing spray volume may result in increased application costs and, water consumption.
20 Thus, a possible alternative would be to estimate the spray volumes needed to adequately
21 cover a determined plant volume in a given canopy density condition, which as seen in this
22 study, has a direct influence can increase droplet density and percent coverage. Especially in
23 the lower canopy portions of the coffee plants.

24 Considering the results obtained in the literature, to the population of *B. phoenicis* by
25 85%, a coverage of ~40% is necessary (Fernandes et al. 2005). However, considering the

1 maximum reduction of this plague obtained in the present work, which was 78 % when
 2 employing a flow of 800 L ha⁻¹ (14 DAA), increasing control to 87 % would require a spray
 3 volume 2.5 times greater (applying the equations of incidence and percent coverage (Figure
 4 3b). In other words, for only a 9 % increase in control, an additional 1,200 L ha⁻¹ of product
 5 are needed.

6



7

8 Figure 3. Incidence (%) of *B. phoenicis* observed at 4 and 14 days after application of the
 9 acaricide in function of the droplet density (DD) (a) and percent coverage (PC) (b) , resulting
 10 from application of different spray volumes. * and **Significant by the *t* test at 5 % and 1 % ,
 11 respectively.

12

13 Despite the fact that the increase in the uniformity of vertical volumetric distribution
 14 did not increase the *B. phoenicis* control efficiency, it was verified, in this study, that the use
 15 of spray nozzles which produce larger diameter droplets at the ends of the spray arc, as was
 16 the case of configuration 3, results in a more uniform spray distribution, with lower loss risks.

17

18

3.6. CONCLUSIONS

19

20 1. The use of spray nozzles with higher flow rates at the ends of the spray arc increase vertical
 21 volumetric distribution uniformity of the hydropneumatic sprayer.

- 1 2. Increased vertical volumetric distribution uniformity of the hydropneumatic sprayer does
2 not influence the *B. phoenicis* control efficiency.
- 3 3. The combination of nozzles with greater flow on the spray arc does not hinder control of *B.*
4 *phoenicis* in the inner parts of the coffee canopy.
- 5 4. The increase in droplet density and target coverage contribute to greater control of *B.*
6 *phoenicis*.

7 3.7. REFERENCES

- 8
- 9 ALMEIDA, J. E. M. et al. Análise temporal e controle da mancha anular e do ácaro vetor do
10 *Coffee ringspot virus*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 7, p. 913-919, 2012.
- 11 ALVARENGA, C. B. et al. Air and liquid volumetric distribution in vertical in a hydro-
12 pneumatic sprayer. *Applied Research & Agrotecnology*, v. 7, n. 1, p. 71-79, 2014.
- 13 BALAN, M. G.; ABI SAAB, O. J. G.; SASAKI, E. H. Distribuição da calda na cultura da
14 Videira por turboatomizador com diferentes configurações de pontas. *Ciência Rural*, v. 36, n.
15 3, p. 731-38, 2006.
- 16 COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Acompanhamento da safra brasileira:*
17 produção agrícola de café. 2015. Available at:
18 http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_30_11_17_06_boletim_cafe_s_ete mbro_2015.pdf>. Access on: 05 Nov. 2015.
- 19
- 20 CUNHA, J. P. A. R. et al. Deposição e deriva de calda fungicida aplicada em feijoeiro, em
21 função de bico de pulverização e de volume de calda. *Revista Brasileira de Engenharia*
22 *Agrícola e Ambiental*, v. 9, n. 1, p. 133-138, 2005.
- 23 DA MATTA, F. M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal*
24 *of Plant Physiology*, v. 19, n. 4, p. 485-510, 2007.

1 FERNANDES, A. P.; FERREIRA, M. C.; MARTINELLI, N. M. Mortalidade do ácaro
2 *Brevipalpus phoenicis* em função da cobertura de pulverização de acaricidas, com e sem
3 adjuvantes, em mudas de café. *Revista de Agricultura*, v. 80, n. 2, p. 173-187, 2005.

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

7 GRAVENA, S. *Manejo ecológico de pragas do cafeeiro*. Jaboticabal: Cemip-Funep, 1992.

8 HERRERA PRAT, M. et al. Analisis de la velocidad del aire en la corriente de las
9 asperjadoras utilizadas en frutales. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, v. 11, n. 2, p. 53-58,
10 2002.

11 HERRERA PRAT, M. I.; DE LA FIGAL, G. C.; DE LA CUEVAS, H. M. Análisis de la
12 aerodinámica del ventilador del pulverizador ASS-800 empleado en frutales. *Ciencias*
13 *Técnicas Agropecuarias*, v. 22, n. 4, p. 15-19, 2013.

14 INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (INTA). *T&C CIR*:
15 conteo y tipificación de impactos de pulverización. Versión 1.5. Buenos Aires: INTA, 2002.

16 MION, R. L. et al. Uso de mesa vertical como parâmetro para regulagens de
17 turboatomizadores. *Engenharia Agrícola*, v. 31, n. 2, p. 352-358, 2011.

18 REIS, P. R. et al. Spatial distribution of *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes)
19 (Acari:Tenuipalpidae) in coffee plants (*Coffea arabica* L.). *Anais da Sociedade Entomológica*
20 *do Brasil*, v. 29, n. 1, p. 177-183, 2000.

21 RODRIGUES, G. J. et al. Características do fluxo de ar de um pulverizador hidropneumático
22 para aplicação de agroquímicos em plantas arbustivas. *Engenharia na Agricultura*, v. 16, n. 2,
23 p. 199-207, 2008.

24 RUAS, R. A. A. et al. Proposta de método para a inspeção em pulverizadores
25 hidropneumáticos. *Coffee Science*, v. 10, n. 1, p. 76-82, 2015.

1 SOTOLONGO, I.; HERRERA, M. Caracterización de la corriente de aire de una asperjadora
2 de ventilador en el plano horizontal. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, v. 0, n. 1, p. 1-12,
3 1986.

4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25

1 **4. 2º ARTIGO: DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VOLUME DE PULVERIZAÇÃO**
2 **PARA A CULTURA DO CAFÉ (*Coffea arabica* L.)**

3
4
5 **4.1. RESUMO**

6 **RESUMO:** O ajuste do volume de calda de acordo como o volume de vegetação tem-se
7 mostrado uma forma de tornar as aplicações de agrotóxicos mais eficientes. Porém, para
8 adoção deste método para o cafeeiro, ainda é necessário a determinação do Índice
9 volumétrico. Assim, objetivou-se determinar do índice volumétrico de pulverização para a
10 cultura do café (*Coffea arabica* L.). Os tratamentos foram dispostos em blocos seguindo
11 fatorial (5 x 5), sendo cinco volumes de calda (200; 300; 500; 600 e 800 L ha⁻¹) e cinco
12 volumes vegetativos (TRV), com quatro repetições. Realizou-se a avaliação de densidade
13 foliar previamente às aplicações dos tratamentos em três estádios de desenvolvimento
14 (enchimento, maturação e pós-colheita dos frutos). Analisou-se a deposição de calda (DEP),
15 densidade de gotas (DEN), diâmetro mediano volumétrico (DMV) das gotas e amplitude
16 relativa (SPAN) do espectro de gotas. Os volumes de calda aplicados foram convertidos em
17 índice volumétrico (IV). Não houve interação ente TRV e volume de calda ($p > 0,05$) para as
18 variáveis respostas DEP e DEN. Na avaliação realizada durante o estádio de maturação, a
19 densidade foliar foi 29 % superior à época de pós-colheita e a DEP máxima obtida foi de 0,74
20 $\mu\text{L cm}^{-2}$. O DMV médio obtido foi de 217 μm e o SPAN de 1,1. O ajuste da curva de DEN de
21 acordo com o IV permitiu estimar uma redução em até 47% do volume de calda aplicado.
22 Concluiu-se que o ajuste do IV de acordo com as variações de densidades foliares permite
23 reduzir o volume de calda aplicado em lavouras de café.

24 **Termos para indexação:** Calibração de pulverizador, Tree-Row-Volume, volume de calda.

25

29 4.2. ABSTRACT

30 **ABSTRACT:** The adjustment of the spray volume according to the volume of vegetation has
31 been shown a way to make the most efficient pesticide applications. However, for the
32 adoption of this method for the coffee, the determination of the volume index is still needed.
33 Thus, the aim was to determine the volumetric rate of spraying for coffee (*Coffea arabica* L.).
34 The treatments were arranged in blocks following factorial (5 x 5), five spray volumes (200,
35 300, 500, 600 and 800 L ha⁻¹) and five vegetative volume (TRV) with four replications. We
36 conducted the evaluation of leaf density prior to the application of treatments in three
37 development stages (filling, maturation and post-harvest fruit). We analyzed the spray
38 deposition (SD), density of the droplets (DD), the volumetric median diameter (VMD) of the
39 droplets and relative amplitude (SPAN) of droplet spectrum. The applied spray volumes were
40 converted to volumetric index (VI). There was no interaction being TRV and water volume
41 ($p > 0.05$) for the variables SD and DD answers. In the evaluation performed during the
42 maturation stage, leaf density was 29% higher at the time of post-harvest and the maximum
43 SD obtained was 0.74 cm² uL. The VMD medium obtained was 217 μ m and the span 1,1. The
44 adjustment of the curve DD according VI allowed to estimate a reduction of up to 47% of the
45 spray volume applied. It was concluded that the VI set according to the changes in leaf
46 density reduces the spray volume applied to coffee plantations.

47 **Index terms:** Sprayer calibration, Tree-Row-Volume, spray volume.
48

49 4.3. INTRODUÇÃO

50

51 Os cafés produzidos no estado de Minas Gerais, principalmente na região do Cerrado,
52 possuem boa aceitação por mercados externos, inclusive, aqueles que exigem cafés
53 certificados. Dentre os critérios para certificação, destaca-se a racionalização do uso de
54 agrotóxicos (REDE DE AGRICULTURA SUSTENTÁVEL, 2014). Assim, torna-se
55 necessário o emprego correto da tecnologia de aplicação de modo que o ingrediente ativo seja
56 depositado no alvo no momento adequado, na quantidade certa, com o mínimo de desperdício
57 e contaminação ambiental (MATTHEWS, 2008).

58 Neste contexto, é importante que o equipamento utilizado seja submetido a uma
59 correta regulagem e calibração (RUAS et al., 2015). O termo regulagem refere-se à
60 verificação e a realização de ajustes gerais nos componentes do pulverizador. Uma correta
61 regulagem faz com que sejam produzidas gotas de uma determinada classe de tamanho,
62 proporcionando a aplicação do volume desejado. Já a definição de calibração é o ajuste do
63 volume de calda aplicado e a determinação da quantidade de produto a ser colocado no tanque
64 (ANDEF, 2004).

65 Pulverizadores hidropneumáticos são os equipamentos mais utilizados nas
66 pulverizações em lavouras de café. A calibração desses equipamentos pode ser realizada de
67 duas formas: em uma delas, verifica-se se o volume que está sendo pulverizado em uma área
68 conhecida que, geralmente é determinada pelo deslocamento do conjunto por 50 m, vezes o
69 espaçamento entre linhas, extrapolando-se em seguida o valor encontrado para um hectare.
70 Nessa forma de calibração, considera-se a quantidade de volume aplicado por área de lavoura,
71 independentemente do volume de vegetação. O que pode causar excesso de líquido
72 pulverizado principalmente em lavouras mais novas, devido à pouca área foliar, resultando em
73 escorrimento superficial, contaminação do solo, fitotoxicidade e aumento dos custos de
74 produção (MATUO, 1990).

75 Uma segunda forma de calibração dos pulverizadores hidropneumáticos é a adoção do
76 "Tree-Row-Volume" (TRV) ou volume de calda por volume de vegetação, por unidade de
77 área plantada. A adoção deste método em aplicações em videiras possibilita redução do uso de
78 agrotóxicos em até 57% (GIL et al., 2007). Na cultura do tomate essa redução pode chegar à
79 30 % (SANCHEZ-HERMOSILLA et al., 2013). Em citrus o emprego deste método tem
80 apresentado boa eficiência e eficácia de controle de doenças fúngicas (HABERLE;
81 AGOSTINI; ACUÑA, 2011; SCAPIN et al., 2015).

82 A calibração pelo TRV requer o conhecimento do índice volumétrico (IV), que
83 corresponde ao volume de calda necessário para cobrir adequadamente um metro cúbico do
84 dossel. Esse índice é conhecido para algumas fruteiras, porém, ainda desconhecido para o
85 cafeeiro. Posto que, para que seja feita sua determinação, alguns fatores relativos ao volume
86 vegetativo devem ser considerados. São eles: idade das plantas, desfolha decorrente da
87 colheita (SANTINATO et al., 2014), ataque de pragas e doenças (MATIELLO et al., 2010) e
88 variações sazonais que ocorrem em função da disponibilidade hídrica e variação na
89 temperatura (DA MATTA et al., 2007). Tais variações podem ocorrer ao longo das estações
90 do ano e resultam em alterações na densidade foliar (BERNI et al., 1999), tendo influência
91 direta na eficácia das pulverizações, principalmente, na penetração, distribuição e deposição
92 da calda (SILVA et al., 2014).

93 Portanto, acredita-se que a determinação do IV para o cafeeiro possa contribuir para
94 melhorias das aplicações de agrotóxicos. Para tanto, é necessário estudar aplicações de
95 volumes de calda capazes de promoverem deposições adequadas em diferentes estádios de
96 desenvolvimento da lavoura. Dessa forma, objetivou-se com este trabalho, determinar o
97 índice de volume de pulverização para cultura do café (*Coffea arabica* L.).

98

99

4.4. MATERIAL E MÉTODOS

100

101 O experimento foi conduzido na Fazenda Transagro, município de Rio Paranaíba-MG,
102 localizada em 19°13'0.90"S, longitude 46°20'36.16" O, na região do Cerrado Mineiro.
103 Altitude média de 906 m e clima Cwa de acordo com a classificação de Köppen Geiger.

104 Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com os tratamentos dispostos
105 em esquema fatorial 5 x 5, sendo: cinco volumes de calda (200; 300; 500; 600 e 800 L ha⁻¹) e
106 cinco volumes vegetativos (TRV-1; TRV-2; TRV-3; TRV-4; TRV-5), com quatro repetições.
107 Em cada um desses talhões selecionou-se uma linha de plantas, na qual foram demarcadas as
108 parcelas compostas pelos cinco volumes de calda. As parcelas foram espaçadas 20 m entre si
109 e formadas por 20 plantas, tendo como base a linha de aplicação.

110 As avaliações foram realizadas isoladamente em três estádios de desenvolvimento do
111 cafeeiro (enchimento de grãos, maturação e pós-colheita dos frutos) e consistiram na análise
112 da deposição de calda e da capacidade de penetração das gotas de pulverização no dossel das
113 plantas. A partir de dados de capacidade de penetração das gotas e de deposição de calda de
114 pulverização, foi ajustado o índice volumétrico (IV) para cada um dos estádios de
115 desenvolvimento.

116 A determinação do TRV foi feita em 20 plantas em áreas previamente selecionadas,
117 medindo-se a altura, a largura (no terço inferior, superior e mediano do dossel) e o
118 espaçamento entre linhas (Equação 1).

$$119 \quad \text{TRV} = \frac{H \times L \times 10000}{D} \quad \text{Equação (01)}$$

120 Em que:

121 TRV = volume vegetativo (m³ ha⁻¹);

122 H = altura das plantas (m);

123 L = largura média dos terços das plantas (m);

124 D = distância entre linhas da cultura (m)

125 Foram realizadas análises de densidade foliar em cada um dos estádios. Para tanto,
126 utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com os tratamentos dispostos em
127 esquema de parcela subdividida, com três repetições. As parcelas constituíram-se pelos três
128 estádios de desenvolvimento do cafeeiro (enchimento de grãos, maturação e pós-colheita dos
129 frutos) e as subparcelas pelos cinco volumes vegetativos (TRV-1; TRV-2; TRV-3; TRV-4;
130 TRV-5).

131 Nos meses de Março, Julho e Dezembro de 2015, que corresponderam aos três
132 estádios de desenvolvimento, foi realizada a derriça manual e pesagem de todas as folhas de
133 três plantas em cada talhão. Assim, de posse das massas médias das plantas, volume
134 vegetativo ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) e conhecendo-se a população de plantas por hectare, foi determinada a
135 densidade foliar de cada um dos talhões (Equação 02) (Tabela 1). Ao final destas avaliações,
136 os dados foram tabulados e submetidos à análise de variância ($P \leq 0,05$), e, quando pertinente,
137 procedeu-se a realização do teste de Tukey à 5% de probabilidade.

$$138 \quad D = \frac{M}{(\text{TRV}/N)} \quad \text{Equação (02)}$$

139 Em que:

140 D = densidade foliar ($\text{kg m}^{-3} \text{planta}^{-1}$);

141 M = massa médias de folhas por planta (kg);

142 TRV = volume vegetativo ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$);

143 N = número de plantas por hectare (plantas ha^{-1}).

144

145

146

147

148

Tabela 1- Caracterização dos talhões utilizados no experimento

Talhão	TRV (m ³ ha ⁻¹)			N° De plantas (plantas ha ⁻¹)	
	Idade (Anos)	Março	Julho		
1 (TRV-1)	2	2943	4146	5005	4386
2 (TRV-2)	3	4559	6055	7252	4386
3 (TRV-3)	6	7661	7747	7847	4386
4 (TRV-4)	9	12102	12522	12879	5263
5 (TRV-5)	29	18746	19207	19214	2500

149

150 Para realização das avaliações de penetração de gotas e deposição de calda de
151 pulverização em cada época de aplicação, foi empregado o pulverizador hidropneumático
152 tratorizado Arbus Modelo 2000 TP VA da Jacto[®], com capacidade para 2.000 L de calda no
153 tanque, dotado de uma bomba de pistão modelo JP-190 com vazão de até 190 L min⁻¹ e
154 ventilador radial com vazão de ar de 19 m³ s⁻¹. Ele possuía também arco de pulverização
155 duplo com 36 pontas Magno Jet[®] (MAG) 1,5 e 3,0 que possuem vazões de 0,56 e 1,13 L min⁻¹
156 na pressão de 300 kPa, respectivamente, distribuídas da seguinte forma: parte inferior com
157 cinco pontas MAG 3,0, parte mediana com nove pontas MAG 1,5 e parte superior com quatro
158 pontas MAG 3,0.

159 O trator utilizado foi o NEW HOLLAND[®] modelo TT 3880, cuja potência a 2.500
160 rpm. é de 44,1 kW e torque máximo a 1.500 rpm. de 200 Nm. O pulverizador foi previamente
161 regulado e calibrado ajustando-se a velocidade e a pressão para distribuição do volume de
162 calda adequado a cada tratamento. As aplicações foram realizadas com as seguintes condições
163 climáticas: temperatura média foi de 24 °C, umidade relativa média (UR %) de 61 e
164 velocidade do vento média de 4 km h⁻¹.

165 Para verificar a deposição de calda de pulverização no dossel do cafeeiro, adicionou-se
166 à calda de pulverização, o corante azul brilhante (solução aquosa traçadora), na dose de 3000

167 mg L⁻¹. Subsequente à aplicação, coletou-se oito folhas em nove pontos (três terços e três
168 profundidades). Nesses pontos, as folhas foram coletadas da seguinte forma: lado da
169 pulverização (segundo par de folhas a partir da extremidade do ramo situado no lado da
170 pulverização); centro da planta (primeiro par de folhas a partir do ramo ortotrópico no interior
171 no dossel das plantas), lado oposto (primeiro par de folhas a partir da extremidade do ramo
172 situado no lado oposto à pulverização).

173 Após coletadas, as folhas foram acondicionadas em sacos plásticos, lavadas em 20 mL
174 de água destilada e agitadas manualmente por trinta segundos. Posteriormente, as folhas
175 foram retiradas da solução resultante e armazenadas em sacos plásticos devidamente
176 identificados de acordo com o ponto amostral e com a repetição. Em laboratório, a solução foi
177 analisada em espectrofotômetro, modelo EVOLUTION-300, utilizando-se comprimento de
178 onda de 625 nm (SILVA et al., 2014), obtendo-se assim, a concentração do corante em cada
179 amostra. As amostras de folhas foram enxugadas e tiveram sua área (cm²) mensurada,
180 utilizado o AREA METER LICOR modelo LI – 3000C. De posse das absorbâncias em
181 concentração do corante e da área foliar do segmento (oito folhas coletadas por ponto)
182 realizou-se determinação da deposição de calda (µL cm⁻²) (LIMBERGER, 2006) (Equação
183 03).

$$184 \quad D = \frac{10^6 \times V \times [\text{solução}]}{A \times [\text{calda}]} \quad \text{Equação (03)}$$

185 Em que:

186 D = deposição de calda (µL cm⁻²);

187 V = volume de água utilizado para lavar as folhas (L);

188 [solução] = concentração do corante na solução de lavagem (mg L⁻¹);

189 A = área foliar do segmento (cm²);

190 [calda] = concentração do corante na calda de pulverização (mg L⁻¹).

191 A avaliação da capacidade de penetração das gotas de pulverização no dossel do
192 cafeeiro foi realizada concomitantemente com a avaliação de deposição de calda. Para tanto,
193 fixou-se etiquetas hidrossensíveis no primeiro par de folhas a partir do ramo ortótropico no
194 interior no dossel das plantas (centro da planta) nos três terços das plantas (terço superior,
195 médio e inferior). Após a aplicação, as etiquetas foram removidas, identificadas e
196 acondicionadas em placas de Petri. Posteriormente, tiveram suas imagens digitalizadas
197 utilizando-se escâner calibrado com resolução de 600 DPI para processamento das imagens
198 das manchas de pulverização no software CIR 1.5. Determinando-se em seguida os seguintes
199 parâmetros: amplitude relativa (SPAN), diâmetro mediano volumétrico (DMV) (μm) e
200 densidade de gotas (DEN) (gotas cm^{-2}).

201 Os dados foram tabulados e extraídos de nove pontos: três terços e três profundidades
202 de coleta das folhas e dos três locais de fixação das etiquetas, os valores médios de deposição
203 de calda e de penetração das gotas de pulverização no dossel do cafeeiro. Os dados foram
204 submetidos à análise de variância ($P \leq 0,05$), e, quando pertinente, procedeu-se a realização
205 do teste de Tukey à 5% de probabilidade. Em caso de significância da variável quantitativa
206 volume de calda, foi realizada a análise de regressão.

207 Para estimar o índice volumétrico (IV) foram utilizados os dados de deposição de
208 calda ($\mu\text{L cm}^{-2}$) e densidade de gotas (DEN) (gotas cm^{-2}), proporcionadas pelos cinco
209 volumes de calda (Equação 04). Possibilitando-se assim, com base nas recomendações feitas
210 por fabricantes de agrotóxicos, verificar a densidade de gotas adequadas para uma
211 determinada aplicação e o IV correspondente.

$$212 \quad IV = \frac{Q \times 1000}{TRV} \quad \text{Equação (04)}$$

213 Em que:

214 IV= índice de volume de pulverização ($\text{L } 1000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$);

215 Q= volume de calda (L ha^{-1});

216 TRV= volume de vegetação ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$).

217

218 4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

219

220 Não houve interação entre estágio e TRV ($p > 0,05$) para a variável resposta densidade
221 foliar. Porém, analisando-se isoladamente o fator época, verificou-se que, no estágio de
222 maturação a densidade foliar foi 29 % superior ao de pós-colheita. Já entre os estádios de pós-
223 colheita e enchimento dos frutos não foi verificada diferença ($p > 0,05$) (Tabela 2). A menor
224 densidade foliar no estágio de pós-colheita, pode ser atribuída a dois fatores principais: ação
225 mecânica de desfolha provocada pela ação das hastes da colhedora (SANTINATO et al.,
226 2014) e restrição hídrica (DA MATTA et al., 2007).

227

Tabela 2- Densidades foliares obtidas em cada estágio de desenvolvimento do cafeeiro avaliado e em cada TRV

Estádio	Densidade foliar ($\text{kg m}^{-3} \text{planta}^{-1}$)
Maturação	2,1 a
Pós-colheita	1,5 b
Enchimento	2,0 ab
TRV	
1	2,7 a
2	1,6 b
3	2,0 b
4	1,7 b
5	0,7 c

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

228

229 O talhão TRV-1, mais novo, apresentou densidades foliares 41, 26, 37 e 74 %
230 superiores ao TRV-2, TRV-3, TRV-4, TRV-5, respectivamente. Já o TRV-5, mais velho,

231 apresentou densidades foliares 74, 56, 65 e 59 % inferiores ao TRV-1, TRV-2, TRV-3, TRV-
232 4, respectivamente (Tabela 2). Isso indica que, nem sempre o maior TRV implica em maior
233 densidade foliar. O que pode ser explicado pelo fato de as plantas jovens, estarem em pleno
234 crescimento e desenvolvimento vegetativo (Tabela 1). Isso pôde ser comprovado pelo
235 acréscimo de 29 % no TRV do estágio de maturação para o de pós-colheita e, de 17 %, da
236 pós-colheita para enchimento dos frutos (Tabela 1), provavelmente, devido a formação e
237 desenvolvimento das folhas ocorrer concomitantemente ao desenvolvimento dos ramos
238 plagiotrópicos (RONCHI; DA MATTA, 2007).

239 Não houve interação ente TRV e volume de calda ($p > 0,05$), dentro de cada estágio de
240 desenvolvimento do cafeeiro, para as variáveis respostas DEP e DEN. Analisando-se os
241 efeitos simples do fator TRV, verificou-se que, na avaliação realizada na maturação dos
242 frutos, a DEP e DEN foi igual ($p > 0,05$) no TRV-1 e TRV-5 (Tabela 3). Apesar de relatos
243 científicos constatarem que a densidade foliar influencia diretamente na penetração e
244 deposição da calda (SILVA et al., 2014), a densidade do TRV-1 foi 74 % inferior a do TRV-
245 5. Isso pode ser explicado pelo fato do TRV-5 ser mais velho (Tabela 1) e apresentar maior
246 sobreposição dos ramos e folhas dos terços inferiores pelos terços superiores (DA MATTA et
247 al., 2007), formando uma barreira à penetração e deposição de calda nesses pontos.

248

249

250

251

252

253

254

255

Tabela 3- Médias de TRV dentro de cada estágio de desenvolvimento do cafeeiro, para as variáveis respostas deposição de calda (DEP) e densidade de gotas (DEN)

Enchimento		
TRV	DEP ($\mu\text{L cm}^{-2}$)	DEN (Gotas cm^{-2})
1	0,3 ab	106,3 b
2	0,3 ab	103,2 b
3	0,4 a	133,3 ab
4	0,2 c	103,6 b
5	0,2 c	156,6 a
CV	29,5	36,2
Maturação		
1	0,5 a	117,3 ab
2	0,3 c	86,6 b
3	0,4 b	134,4 ab
4	0,4 b	164,4 a
5	0,5 a	128,4 ab
CV	22,7	46,3
Pós-colheita		
1	0,6 ab	194,2 a
2	0,6 ab	181,9 a
3	0,3 c	125,5 b
4	0,7 a	158,2 ab
5	0,5 b	116,4 b
CV	18,3	32,1

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

256

257 Ainda para estágio de maturação, o TRV-2 apresentou médias de DEP e DEN 25 e 47

258 % inferiores ao TRV-4 (Tabela 3). Tal fato pode ser atribuído ao dossel destas plantas estarem

259 mais desenvolvidos, formando um renque, proporcionando maior interceptação das gotas.

260 Devido ao fato de as plantas mais jovens apresentam menor diâmetro do dossel,

261 conseqüentemente, elas estão situadas a maior distância da saída das pontas de pulverização.

262 Em função disso, as gotas pulverizadas se tornam mais sujeitas à perdas, podendo volatilizar
263 ou serem carreadas pelo vento, ocasionando menor deposição (ALVARENGA et al., 2014).

264 No estágio de pós-colheita, o TRV-3 proporcionou DEP 50, 50, 57 e 40 % inferior ao
265 TRV-1, 2, 4 e 5, e DEN 35 e 31 % inferior ao TRV-1 e 2 (Tabela 3). Isso pode ser atribuído à
266 desfolha proveniente da colheita ter sido menos acentuada neste talhão em relação aos
267 demais. Tendo-se assim, maior massa foliar, conseqüentemente, menor penetração e
268 deposição de calda no interior do dossel. Na avaliação realizada no período de enchimento
269 dos grãos, a DEN do TRV- 5 foi 32, 34 e 34 % superior ao TRV-1, 2 e 4, respectivamente
270 (Tabela 3). Isto possivelmente ocorreu devido às plantas dos TRV-1, 2 e 4 terem apresentado
271 maior desenvolvimento vegetativo no final do período seco e chegando ao período de
272 enchimento dos frutos com maior intensidade de enfolhamento, resultando em menor
273 penetração das gotas no interior do dossel do cafeeiro.

274 De acordo com as médias de SPAN, observa-se que os espectros de gotas apresentam
275 boa homogeneidade. Principalmente, por se tratar de pulverização hidráulica que, em geral,
276 formam gotas com tamanhos desuniformes (CUNHA; TEIXEIRA; FERNANDES, 2007)
277 (Tabela 4). São considerados homogêneos os espectros de gotas com valores de SPAN
278 próximos a zero (CUNHA et al., 2004). O DMV médio para cada um dos talhões, nos três
279 estádios avaliados, foi de 223, 226, 213, 184 e 238 μm , os quais podem ser considerados
280 médios (ASAE, S-572) (Tabela 4). Valores de DMV aliado a boa uniformidade de espectro de
281 gotas (SPAN) proporcionam em geral uma pulverização mais segura, uma vez que, gotas
282 muito pequenas são facilmente perdidas por deriva e gotas excessivamente grandes
283 promovem baixa cobertura do alvo (CUNHA et al., 2004).

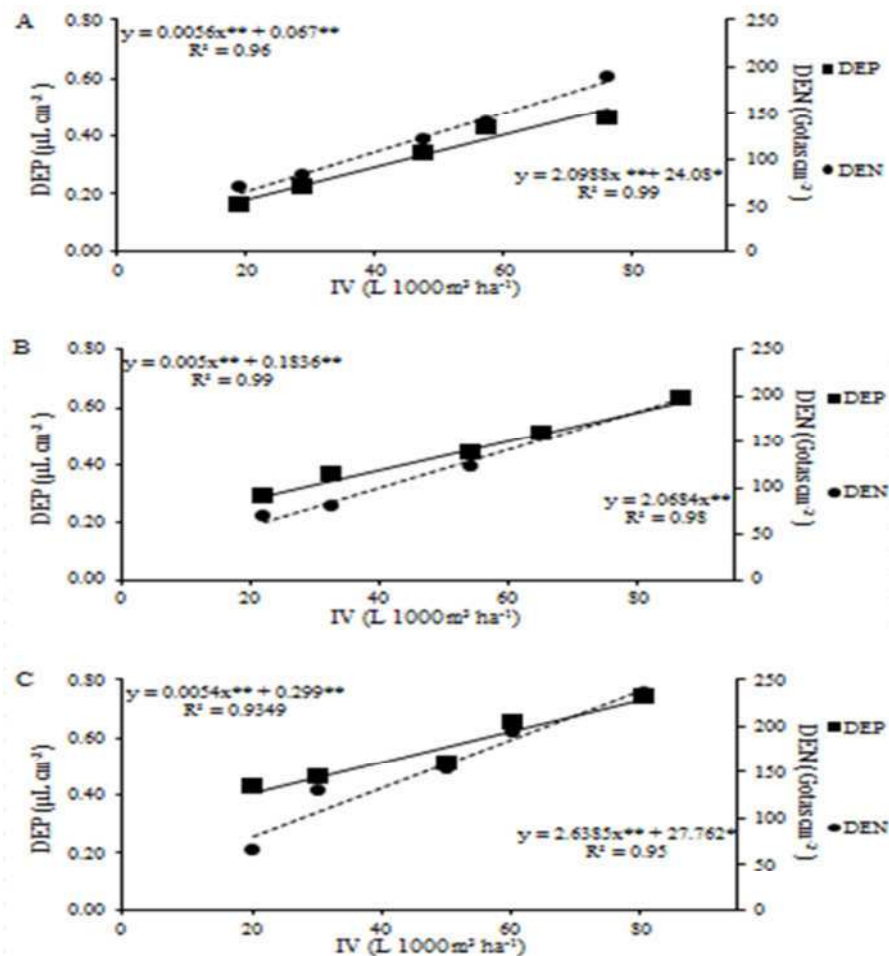
284

Tabela 4- Médias de amplitude relativa (SPAN) e diâmetro mediano volumétrico (DMV) dos espectros de gotas para cada IV, dentro dos estádios de desenvolvimento do cafeeiro avaliados

Estádio	IV	TRV-1		TRV-2		TRV-3		TRV-4		TRV-5	
		SPAN	DMV (µm)	SPAN	DMV (µm)	SPAN	DMV (µm)	SPAN	DMV (µm)	SPAN	DMV (µm)
Enchimento	19	1.2	208	1.0	225	0.9	193	1.4	180	1.0	266
	29	1.0	252	0.9	228	1.1	209	1.0	233	1.0	263
	48	1.3	207	1.2	202	1.2	190	1.3	212	1.1	195
	58	1.1	217	1.2	213	1.0	181	1.4	116	1.1	284
	77	1.1	263	1.3	248	1.0	201	2.2	151	1.2	205
Maturação	22	1.0	213	0.7	234	1.0	205	1.1	238	1.0	275
	33	1.0	272	0.9	240	1.0	207	1.8	133	1.0	261
	54	1.0	203	0.9	221	1.1	202	1.3	221	1.4	255
	65	1.1	227	1.2	215	1.1	180	1.3	145	1.1	191
	87	1.1	281	1.2	260	1.1	197	1.0	213	1.3	213
Pós-colheita	20	1.1	235	1.1	224	0.9	347	1.0	216	1.0	247
	30	1.3	173	1.3	224	1.0	248	1.2	182	1.2	241
	50	1.0	186	1.1	242	1.0	195	1.2	168	1.1	281
	60	1.2	216	1.2	197	1.1	220	1.1	184	1.2	225
	81	1.0	185	1.1	210	1.1	216	1.1	167	1.1	173

285

286 Analisando-se o fator volume de calda isoladamente, foi possível convertê-lo em IV
287 (Equação 04), ajustando-se, em seguida, equações de regressão para os estádios de maturação,
288 enchimento e pós-colheita para as variáveis respostas DEP e DEN (Figura 1). A DEP mínima
289 e máxima obtida nos estádios de maturação e pós-colheita dos frutos de café, foi de 0,29- 0,63
290 e 0,43-0,74 µL cm⁻². Ou seja, no estádio de maturação a DEP mínima e máxima foram 48 e
291 15 %, respectivamente, superior ao estádio de pós-colheita. Isso se justifica devido ao fato da
292 densidade foliar no estádio de pós-colheita ser menor. Essa menor densidade proporciona
293 menor barreira para deposição de calda no interior do dossel do cafeeiro, contribuindo para o
294 incremento nas médias de deposição de calda neste estádio.



295

296 **Figura 1-** Deposição de calda (DEP) e densidade de gotas (DEN), proporcionados pelos cinco
 297 volumes de calda aplicados nos cinco volumes de vegetação (TRV) de plantas de *Coffea*
 298 *arabica* L., nos estádio de enchimento (A), maturação (B) e pós-colheita (C).

299 * e **Significativo pelo teste t ao nível de 5 e 1% de probabilidade.

300

301 A partir das equações de regressão de IV para cada estádio de desenvolvimento do
 302 cafeeiro, considerando-se a variável resposta DEN (Gotas cm^{-2}), pode-se inferir o IV
 303 adequado de acordo com as recomendações dos fabricantes de agrotóxicos (Figura 1). Para se
 304 aplicar determinado agrotóxico cuja recomendação é 100 Gotas cm^{-2} , considerando-se um
 305 talhão com TRV de $3000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, nos estádios de enchimento, maturação, e pós-colheita,
 306 seriam necessários para cada estádio, os seguintes volumes de calda: 110, 145 e 80 L ha^{-1} ,
 307 respectivamente (Equação 05, 06 e 07).

308 A partir destes dados verifica-se que, para obtenção de mesma DEN, tem-se redução
309 de volume de calda aplicado no estágio de maturação/ enchimento e maturação/ pós-colheita
310 de 45 e 24%. Ou seja, é possível obter uma economia de água e de agrotóxico de 45 e 24 % a
311 depender do estágio fenológico (pós-colheita e enchimento dos frutos).

$$312 \quad Q = \frac{\left(\frac{DEN - 24,08}{2,0988} \right) \times TRV}{1000} \quad \text{Equação (05)}$$

$$313 \quad Q = \frac{\left(\frac{DEN}{2,0684} \right) \times TRV}{1000} \quad \text{Equação (06)}$$

$$314 \quad Q = \frac{\left(\frac{DEN - 27,762}{2,6385} \right) \times TRV}{1000} \quad \text{Equação (07)}$$

315 Em que:

316 Q= volume de calda (L ha⁻¹);

317 TRV= volume de vegetação (m³ ha⁻¹);

318 DEN= densidade de gotas (100 Gotas cm⁻²).

319

320 **4.6. CONCLUSÕES**

321

322 A diminuição da densidade foliar no período de pós-colheita proporciona maior
323 penetração e deposição de calda no dossel do cafeeiro.

324 A estrutura do dossel de plantas de café mais velhas diminui a deposição e penetração
325 de calda.

326 O ajuste do índice volumétrico nos estádios fenológicos da cultura do café possibilita a
327 redução do volume de calda aplicado.

328 **4.7. AGRADECIMENTOS**

329

330 À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da
331 bolsa de mestrado e à Fazenda Transagro S.A., pela disponibilização da área experimental.

332

333

4.8. REFERÊNCIAS

334

335 ALVARENGA, C.B. et al. Air and liquid volumetric distribution in vertical in a hydro-
336 pneumatic sprayer. **Applied Research & Agrotecnology**, Guarapuava v.7, n.1, p.71-79,
337 2014.

338 ANDEF - Associação Nacional de Defesa Vegetal. **Manual de tecnologia de aplicação de**
339 **produtos fitossanitários**. Campinas: Linea Criativa, 2004, 52p.

340 BERNI, R.F. et al. Avaliação da cobertura de gotas provocadas por diferentes bicos de
341 pulverização na cultura do milho e do feijão. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia,
342 v.29, n.1, p.49-52, 1999.

343 CUNHA, J.P.A.R. et al. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e
344 de jato cônico vazio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.10, p.977-985,
345 2004.

346 CUNHA, J.P.A.R.; TEIXEIRA, M.M.; FERNANDES, H.C. Avaliação do espectro de gotas
347 de pontas de pulverização hidráulicas utilizando a técnica da difração do raio laser.
348 **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.10-15, 2007.

349 DA MATTA, F.M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal**
350 **Plant Physiology**, Londrina, v.19, n.4, p.485-510, 2007.

351 GIL, E. et al. Variable rate application of plant protection products in vineyard using
352 ultrasonic sensors. **Crop Protection**, Surrey, v.26, n.8, p.1287-1297, 2007.

353 HABERLE, T.J.; AGOSTINI J.P.; ACUÑA, L. E. Resultados de tres años de ensayo en el
354 ajuste de la tecnología de “Tree Row Volume” (TRV) para el control de mancha negra en
355 naranja Valencia. **Revista de investigaciones agropecuarias**, Buenos Aires, v.37, n.2, p.193
356 -197, 2011.

357 LIMBERGER, A.R. **Avaliação da deposição da calda de pulverização em função do tipo**
358 **de ponta e do volume aplicado na cultura do feijão**. 2006. 51p. Dissertação (Mestrado em
359 Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido
360 Rondon, Marechal Cândido Rondon, 2006.

361 MATIELLO, J.B. et al. **Cultura de café no Brasil: Novo Manual de Recomendações**. Rio
362 de Janeiro e Varginha: MAPA/PROCAFÉ, 2010. 542 p.

363 MATTHEWS, G.A. Developments in application technology. **Environmentalist**, Paris, v.28,
364 n.1, p.19-24, 2008.

365 MATUO, T. **Técnica de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: Funep, 1990. 139p.

- 366 REDE DE AGRICULTURA SUSTENTÁVEL. **Norma para obtenção do selo de**
367 **certificação Rainforest Alliance**: Medidas tomadas para obtenção da certificação.
368 Disponível em: <[http://www.san.ag/biblioteca/docs/SAN-S-1-](http://www.san.ag/biblioteca/docs/SAN-S-1-1.2_Sustainable_Agriculture_Standard.pdf)
369 [1.2_Sustainable_Agriculture_Standard.pdf](http://www.san.ag/biblioteca/docs/SAN-S-1-1.2_Sustainable_Agriculture_Standard.pdf)>. Acesso em: 06 de Fev, 2016.
- 370 RONCHI, C.P.; DA MATTA, F.M. Aspectos fisiológicos do café conilon. In: FERRÃO, R.G.
371 et al. (Ed). **Café Conilon**. Vitória: Seag/Incaper, 2007. p.95-115.
- 372 RUAS, R.A.A. et al. Proposta de método para a inspeção em pulverizadores
373 hidropneumáticos. **Coffee Science**, Lavras, v.10, n.1, p.76-82, 2015.
- 374 SANCHEZ-HERMOSILLA, J. et al. Volume application rate adapted to the canopy size in
375 greenhouse tomato crops. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.70, n.6, p.390-396, 2013.
- 376 SANTINATO, F. et al. Análise quali-quantitativa da operação de colheita mecanizada de café
377 em duas safras. **Coffee Science**, Lavras, v.9, n.4, p.495-505, 2014.
- 378 SCAPIN, M.S. et al. Tree-row-volume-based sprays of copper bactericide for control of citrus
379 canker. **Crop Protection**, Surrey, v.77, p.119-126, 2015.
- 380 SILVA, B.M. et al. Deposição da calda de pulverização aplicada com pontas de jato plano em
381 diferentes partes da planta de soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*). **Engenharia na**
382 **agricultura**, Campina Grande, v.22, n.1, p.17-24, 2014.

1 **5. 3º ARTIGO: INFLUÊNCIA DA DENSIDADE FOLIAR NA DISTRIBUIÇÃO**
2 **DE CALDA NO DOSEL DO CAFEIRO (*Coffea arabica* L.)**
3

4 **5.1. RESUMO**

5 **RESUMO:** A falta de adequação do volume de calda aplicado no alvo pode resultar em baixa
6 eficácia e contaminação ambiental. Assim, objetivou-se avaliar a influência das características
7 do dossel na distribuição de calda na cultura do café (*Coffea arabica* L.). Os tratamentos
8 foram aplicados em um talhão de *Coffea arabica* L. cultivar Catuaí Vermelho-144, com
9 volume vegetativo médio de 12501 m³ ha⁻¹. Os tratamentos foram dispostos em esquema de
10 parcelas sub-subdivididas, sendo: três densidades foliares (2,0; 1,0 e 1,5 kg m⁻³ planta⁻¹)
11 constituindo as parcelas, cinco volumes de calda (200; 300; 500; 600 e 800 L ha⁻¹)
12 constituindo as subparcelas e três posições no dossel do cafeeiro (Terço superior, mediano e
13 inferior) constituindo as sub-subparcelas, com quatro repetições. As avaliações foram
14 realizadas nos meses de Março, Julho e Dezembro de 2015. As variáveis analisadas foram:
15 deposição de calda, densidade de gotas (DEN), diâmetro mediano volumétrico (DMV) das
16 gotas e amplitude relativa (SPAN) do espectro de gotas. A densidade 1,0 kg m⁻³ planta⁻¹
17 proporcionou deposição de calda superior às densidades de 1,5 e 2,0 kg m⁻³ planta⁻¹ nas
18 posições superior, mediana e inferior. Na posição mediana a densidade foliar 2,0 kg m⁻³
19 planta⁻¹ proporcionou DEN de gotas 52 e 44 % inferior as de 1,0 e 1,5 kg m⁻³ planta⁻¹,
20 respectivamente. O DMV médio foi de 184 µm e o SPAN de 1,3. Conclui-se que o aumento
21 da densidade foliar proporciona redução significativa na distribuição de calda no interior do
22 dossel das plantas de café.

23 **Termos para indexação:** Arquitetura das plantas, vazão, penetração de calda.
24

INFLUENCE OF DENSITY LEAF IN CALDA DISTRIBUTION IN CANOPY

COFFEE (*Coffea arabica* L.)

5.2. Abstract

ABSTRACT: The inadequacy of the spray volume applied to the target can result in low efficiency and environmental contamination. The objective was to evaluate the influence of canopy characteristics in the distribution of syrup in coffee (*Coffea arabica* L.). The treatments were applied in a *Coffea arabica* L. cultivar plot Red-144 Catuaí with average growing volume of 12501 m³ ha⁻¹. The treatments were arranged in sub-scheme of split plots, being three foliar densities (2.0, 1.0 and 1.5 kg m⁻³ plant⁻¹) constituting the plots, five volumes of syrup (200; 300; 500, 600 and 800 L ha⁻¹) constituting the subplots and three positions in the coffee canopy (upper Third, middle and lower) constituting the sub-subplots, with four replications. The evaluations were conducted in the months of March, July and December 2015. The variables analyzed were: spray deposition drops density (DD), volume median diameter (VMD) of the droplets and relative amplitude (SPAN) drops spectrum. Density 1.0 kg m⁻³ plant⁻¹ provided higher spray deposition at densities of 1.5 and 2.0 kg m⁻³ plant⁻¹ in top positions, middle and lower. In the middle position the leaf density 2.0 kg m⁻³ plant⁻¹ provided DD drops 52 and 44% lower than the 1.0 to 1.5 kg m⁻³ plant⁻¹, respectively. The average VMD was 184 m and the SPAN 1,3. We conclude that the increase in leaf density provides significant reduction in spray distribution within the canopy of the coffee plants.

Index terms: Architecture of plants, flow, spray penetration.

5.3. INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se mundialmente como maior produtor e exportador de café (MAPA, 2015). Para que o País se mantenha nesta posição de destaque, faz-se necessário o manejo fitossanitário dos cafeeiros, principalmente por meio do controle químico, empregando-se

51 agrotóxicos. Entretanto, essa operação requer cuidados especiais durante sua realização, sob
52 pena de causar prejuízos à saúde humana e ao meio ambiente. Neste contexto, tem-se
53 buscado, além de realizar aplicações mais seguras, a redução do volume de agrotóxico
54 aplicado.

55 Para isso, faz-se necessário o conhecimento dos fatores que influenciam na deposição
56 e penetração dos agrotóxicos no dossel do cafeeiro (SILVA et al., 2014). A arquitetura da
57 planta é um desses fatores, posto que, no cafeeiro, com o passar do tempo, há sobreposição
58 dos ramos dos terços superiores aos terços inferiores (Da MATTA et al., 2007).
59 Consequentemente, isso resulta em menor penetração e deposição de calda por unidade de
60 área foliar nos alvos desejados (SOUZA; VELINI; PALLADINI, 2007). Associado a isto,
61 está a densidade foliar (SILVA et al., 2014) que, no cafeeiro, pode ocorrer, dentre outros
62 fatores, devido a desfolha decorrente da colheita (SANTINATO et al., 2014) e variações
63 sazonais que ocorrem em função da disponibilidade hídrica e da variação na temperatura (Da
64 MATTA et al., 2007).

65 Ademais, outro fator que está diretamente ligado ao sucesso da pulverização de
66 agrotóxicos é o volume de calda aplicado (ROSELL POLO et al., 2009). Independentemente
67 das características do dossel, comumente são aplicados no cafeeiro volumes de calda que
68 variam entre 400 e 800 L ha⁻¹ (MATIELLO et al., 2010), podendo resultar em perdas durante
69 a aplicação (CUNHA et al., 2005). Uma provável explicação para isto é a escassez de
70 informações sobre o volume de calda e deposição adequadas para que se tenha o controle
71 efetivo de pragas e doenças na cultura do café (SILVA et al., 2008).

72 Dessa forma, faz-se necessário o estudo das interações dessas características do dossel
73 e volumes de calda na deposição e penetração de calda no dossel do cafeeiro. A partir desses
74 estudos, espera-se fornecer informações que possibilitem a redução de volume de calda sem a

75 perda de eficácia nos controles fitossanitários. Assim, objetivou-se avaliar a influência das
76 características do dossel na distribuição de calda na cultura do café (*Coffea arabica* L.).

77

78 **5.4. MATERIAL E MÉTODOS**

79

80 O experimento foi conduzido na Fazenda Transagro, município de Rio Paranaíba-MG,
81 localizada em 19°13'0.90"S, longitude 46°20'36.16" O, na região do Cerrado Mineiro.
82 Altitude média de 906 m e clima Cwa de acordo com a classificação de Köppen Geiger. As
83 avaliações foram realizadas em Março, Julho e Dezembro de 2015, no momento em que o
84 cafeeiro encontrava-se nos estádios de enchimento de grãos, maturação e pós-colheita.

85 Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com os fatores avaliados
86 dispostos em esquema de parcelas sub-subdivididas, sendo: em níveis de parcelas três
87 densidades foliares (2,0; 1,0 e 1,5 kg m⁻³ planta⁻¹), nas subparcelas cinco volumes de calda
88 (200; 300; 500; 600 e 800 L ha⁻¹) e sub-subparcelas três posições do dossel do cafeeiro (Terço
89 superior, mediano e inferior), com quatro repetições. As parcelas foram espaçadas 20 m entre
90 si e formadas por 20 plantas, tendo como base a linha de aplicação.

91 O talhão escolhido para receber os tratamentos foi composto por plantas de *Coffea*
92 *arabica* L. cultivar Catuaí Vermelho-144, o qual foi implantado em 2005 seguindo
93 espaçamento entre plantas e entre linhas de 0,5 m e 3,8 m, respectivamente. As plantas
94 apresentavam volume vegetativo médio de 12501 m³ ha⁻¹, durante a realização do
95 experimento. A caracterização das três densidades foi realizada nos meses de Março, Julho e
96 Dezembro de 2015. Para isso foi realizada a derriça manual e pesagem de todas as folhas de
97 três plantas de cada talhão. Assim, de posse das massas médias das plantas, volume
98 vegetativo (m³ ha⁻¹) e conhecendo-se a população de plantas por hectare, foi determinada a
99 densidade foliar de cada um dos talhões (Equação 01).

100
$$D = \frac{M}{(TRV/N)}$$
 Equação (01)

101 Em que:

102 D = densidade foliar (kg m^{-3} planta $^{-1}$)

103 M = massa médias de folhas por planta (kg);

104 TRV = volume vegetativo ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$);

105 N = número de plantas por hectare (plantas ha^{-1}).

106 Para a realização da avaliação de deposição de calda de pulverização, foi empregado o
107 pulverizador hidropneumático tratorizado Arbus Modelo 2000 TP VA da Jacto[®], com
108 capacidade para 2.000 L de calda no tanque, dotado de bomba de pistão modelo JP-190 com
109 vazão de até 190 L min^{-1} e ventilador radial com vazão de ar de 19 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$. Ele possuía também
110 arco de pulverização duplo equipado com 36 pontas Magno Jet[®] (MAG) 1,5 e 3,0 que
111 possuem vazões de 0,56 e 1,13 L min^{-1} na pressão de 300 kPa, respectivamente, distribuídas
112 da seguinte forma: parte inferior com cinco pontas MAG3,0, parte mediana com nove pontas
113 MAG1,5 e parte superior com quatro pontas MAG3,0.

114 O trator utilizado foi o NEW HOLLAND[®] modelo TT 3880, cuja potência a 2.500
115 rpm é de 44,1 kW e torque máximo a 1.500 rpm de 200 Nm. O pulverizador foi previamente
116 regulado e calibrado ajustando-se a velocidade e pressão para distribuição do volume de calda
117 adequado a cada tratamento. As aplicações foram realizadas com as seguintes condições
118 climáticas: temperatura média foi de 24 °C, umidade relativa média (UR %) de 61 e
119 velocidade do vento média de 4 km h^{-1} .

120 Para verificar a deposição de calda de pulverização no dossel do cafeeiro, adicionou-se
121 à calda de pulverização, o corante azul brilhante (solução aquosa traçadora), nas doses de
122 3000 mg L^{-1} . Subsequente a aplicação, coletaram-se oito folhas em três posições no centro do
123 dossel (terço superior, inferior e mediano). Nesses pontos, as folhas foram coletadas tendo
124 como referência o primeiro par de folhas a partir do ramo ortotrópico.

125 Após coletadas, as folhas foram acondicionadas em sacos plásticos, lavadas em 20 mL
126 de água destilada e agitadas por trinta segundos. Posteriormente, as folhas foram retiradas da
127 solução resultante e armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados de acordo
128 com o ponto amostral e com a repetição. Em laboratório, a solução foi analisada em
129 espectrofotômetro, modelo EVOLUTION-300, utilizando-se comprimento de onda de 625 nm
130 (SILVA et al., 2014), obtendo-se assim, a concentração do corante em cada amostra. As
131 amostras de folhas foram enxugadas e tiveram sua área (cm²) mensurada, utilizado o AREA
132 METER LICOR modelo LI – 3000C. De posse das absorbâncias em concentração do corante
133 e da área foliar do segmento realizou-se determinação da deposição de calda (μL cm⁻²)
134 (LIMBERGER, 2006) (Equação 02).

$$135 \quad D = \frac{10^6 \times V \times [\text{solução}]}{A \times [\text{calda}]} \quad \text{Equação (02)}$$

136 Em que:

137 D = deposição de calda (μL cm⁻²);

138 V = volume de água utilizado para lavar as folhas (L);

139 [solução] = concentração do corante na solução de lavagem (mg L⁻¹);

140 A = área foliar do segmento (cm²);

141 [calda] = concentração do corante na calda de pulverização (mg L⁻¹).

142 A avaliação de capacidade de penetração das gotas de pulverização no dossel do
143 cafeeiro foi realizada concomitantemente com a avaliação de deposição de calda. Para tanto,
144 fixaram-se etiquetas hidrossensíveis no primeiro par de folhas a partir do ramo ortótropico no
145 interior no dossel das plantas (centro da planta) nos três terços das plantas (terço superior,
146 mediano e inferior). Após a aplicação, as etiquetas foram removidas, identificadas e
147 acondicionadas em placas de Petri. Posteriormente, tiveram suas imagens digitalizadas
148 utilizando-se escâner calibrado com resolução de 600 DPI para processamento das imagens
149 das manchas de pulverização no software CIR 1.5. Determinando-se assim, os seguintes

150 parâmetros: amplitude relativa (SPAN), diâmetro mediano volumétrico (DMV) (μm) e
151 densidade de gotas (DEN) (gotas cm^{-2}).

152 Os dados foram tabulados e extraídos dos três terços os valores médios de deposição
153 de calda e de penetração e deposição das gotas de pulverização no dossel do cafeeiro. Os
154 dados foram submetidos à análise de variância ($P \leq 0,05$) e, quando pertinente, procedeu-se a
155 realização do teste de Tukey à 5% de probabilidade. Em caso de significância da variável
156 quantitativa volume de calda, foi realizada a análise de regressão.

157

158 **5.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

159

160 Não houve interação entre densidade foliar x volume de calda x posição no dossel ($p >$
161 $0,05$) para a variável resposta deposição de calda e DEN. No entanto, foi verificada interação
162 entre densidade foliar x posição no dossel ($p < 0,05$). A densidade de $1,0 \text{ kg m}^{-3} \text{ planta}^{-1}$
163 proporcionou deposição de calda superior às densidades de $1,5$ e $2,0 \text{ kg m}^{-3} \text{ planta}^{-1}$ nas
164 posições superior, mediana e inferior, respectivamente. Na posição mediana a densidade foliar
165 de $2,0 \text{ kg m}^{-3} \text{ planta}^{-1}$ proporcionou DEN 52 e 44 % inferior as de 1 e 1,5, respectivamente
166 (Tabela 1). Esta menor deposição de calda e DEN em detrimento da maior densidade, pode
167 ser atribuída ao fato de que maior quantidade de folhas, com sobreposição entre elas, reduz o
168 depósito de calda por unidade de área foliar (SOUZA; VELINI; PALLADINI, 2007). Este
169 efeito da redução da densidade foliar se dá pelo fato de que, no estágio de pós-colheita, tem-se
170 a ação mecânica de desfolha provocada pela ação das hastes da colhedora (SANTINATO et
171 al., 2014) e restrição hídrica (Da MATTA et al., 2007), favorecendo o aumento da deposição
172 da calda pulverizada.

173

174

TABELA 1- Interação densidade foliar x posição no dossel para as variáveis resposta deposição de calda e densidade de gotas (DEN)

Deposição de calda ($\mu\text{L cm}^{-2}$)			
Densidade Foliar (kg m^{-3} planta $^{-1}$)	Superior	Mediana	Inferior
1,0	0,36 aA	0,29 aA	0,43 aA
1,5	0,22 aB	0,13 aB	0,09 aB
2,0	0,17 aB	0,15 aB	0,15 aB

DEN (gotas cm^{-2})			
1,0	175 aA	182 aA	137 aA
1,5	165 aA	158 aA	152 aA
2,0	113 aA	88 aB	110 aA

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

175

176 Além disso, pôde-se observar que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as
 177 médias de deposição de calda proporcionadas pelas três densidades foliares nas três posições
 178 no dossel das plantas (Tabela 1). Tal fato pode ser explicado devido a densidade de plantio, de
 179 modo que, as plantas estiolaram mais que perfilharam. O que resultou, possivelmente, em
 180 crescimento mais uniforme dos ramos plagiotrópicos e conseqüentemente, em menor
 181 sobreposição dos ramos e folhas dos terços inferiores pelos terços superiores (Da MATTA et
 182 al., 2007). Minimizando assim, os efeitos desta sobreposição na penetração e deposição de
 183 calda nesses pontos.

184 De acordo com as médias de SPAN, observa-se que os espectros de gotas apresentam
 185 boa homogeneidade (Tabela 2). Posto que, para serem considerados homogêneos os espectros

186 de gotas com valores de SPAN devem estar próximos a zero (CUNHA et al., 2004). O DMV
 187 médio proporcionado pelos volumes de calda nas três densidades foi de 190, 183, e 178 μm ,
 188 os quais, segundo ASAE, S-572 podem ser considerados médios (Tabela 2). Assim, de forma
 189 geral o DMV e SPAN obtido neste trabalho caracteriza uma pulverização com menores
 190 perdas de gotas por deriva (gotas pequenas) e por escorrimento (gotas excessivamente
 191 grandes) (CUNHA et al., 2004).

192

TABELA 2- Médias de amplitude relativa (SPAN) e diâmetro mediano volumétrico (DMV) dos espectros de gotas para cada volume de calda, dentro das três densidades foliares avaliadas

Volume de calda (L ha ⁻¹)	SPAN			DMV		
	2	1	1,5	2	1	1,5
200	1.1	1.0	1.4	238	216	180
300	1.8	1.2	1.0	133	182	233
500	1.3	1.2	1.3	221	168	212
600	1.3	1.1	1.4	145	184	116
800	1.0	1.1	2.2	213	167	151

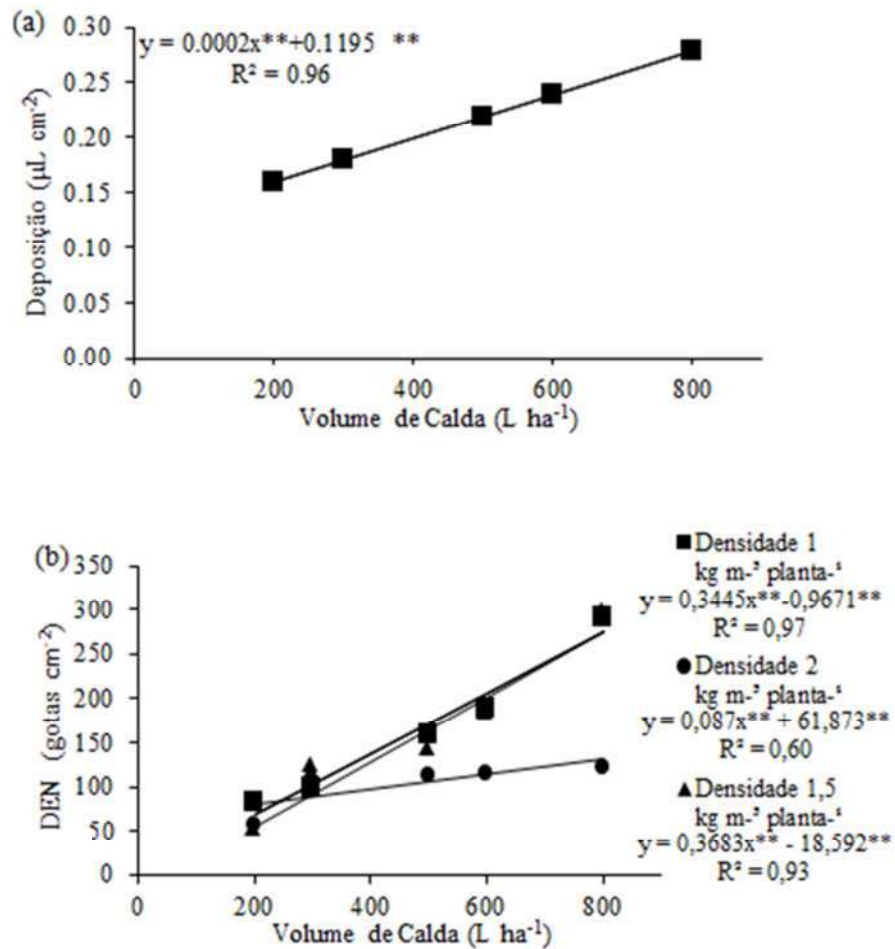
193

194 Analisando a regressão proporcionada pelos volumes de calda aplicados, verifica-se o
 195 incremento na deposição de calda de 0,02 $\mu\text{L cm}^{-2}$ para cada 100 L ha⁻¹ (Figura 1a). Já em
 196 relação a variável resposta DEN, pode-se observar que a densidade foliar 2 kg m⁻³ planta⁻¹
 197 proporcionou, para cada 100 L ha⁻¹, aumento de 9 gotas cm⁻², enquanto que as densidades 1 e
 198 1,5 kg m⁻³ planta⁻¹ apresentaram 37 e 34 gotas cm⁻²/100 L ha⁻¹ de calda aplicados,
 199 respectivamente. Esse efeito também pode ser atribuído, à maior interceptação causada pela
 200 barreira foliar à deposição e penetração de calda. Essas informações, aliadas a homogeneidade

201 de espectro de gotas, indicam a possibilidade de se reduzir o volume de calda aplicado sem
202 que seja afetada a qualidade dos depósitos esperados, possibilitando ajustar-se o volume de
203 caldas às variações de densidade foliar.

204

205



206

207 **FIGURA 1-** Deposição de calda (a) e densidade de gotas (DEN) (b) proporcionada pelos
208 cinco volumes de calda aplicados em plantas de *Coffea arabica* L.

209 * e **Significativo pelo teste t ao nível de 5 e 1% de probabilidade.

210

211 5.6. CONCLUSÕES

212

213

214 As variações de densidades foliares tem influência direta na penetração e deposição de
215 calda de agrotóxicos pulverizada no cafeeiro.

216 A distribuição uniforme dos ramos e folhas resulta em deposição de calda mais
217 homogênea ao longo do dossel do cafeeiro.

218 É possível ajustar o volume de calda pulverizado de acordo com a densidade foliar das
219 plantas de café, sem perdas consideráveis nos depósitos obtidos sobre as folhas.

220

221 5.7. REFERÊNCIAS

222

223 CUNHA, J.P.A.R. et al. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano
224 e de jato cônico vazio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.10, p.977-985,
225 2004.

226 CUNHA, J. P. A.R. et al.. Deposição e deriva de calda fungicida aplicada em feijoeiro, em
227 função de bico de pulverização e de volume de calda. **Revista Brasileira de Engenharia**
228 **Agrícola**, Campina Grande, v.9, n.1, p.133-138, 2005.

229 Da MATTA, F.M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal**
230 **Plant Physiology**, Londrina, v.19, n.4, p. 485-510, 2007.

231 LIMBERGER, A.R. **Avaliação da deposição da calda de pulverização em função do tipo**
232 **de ponta e do volume aplicado na cultura do feijão**. 2006. 51p. Dissertação (Mestrado em
233 Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido
234 Rondon, Marechal Cândido Rondon, 2006.

235 MATIELLO, J.B. et al. **Cultura de café no Brasil: Novo Manual de Recomendações**. Rio
236 de Janeiro e Varginha: MAPA/PROCAFÉ, 2010. 542 p.

237 MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Café no Brasil**
238 2015. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe/saiba-mais> >.
239 Acesso em: 09 de Abr, 2016.

240 ROSELL POLO, J. R. et al. A tractor mounted scanning LIDAR for the non-destructive
241 measurement of vegetative volume and surface area of tree-row plantations: a comparison
242 with conventional and destructive measurements. **Biosystems Engineering**, Bedford, v.102,
243 n.2, p.128-134, 2009.

244 SANTINATO, F. et al. Análise quali-quantitativa da operação de colheita mecanizada de café
245 em duas safras. **Coffee Science**, Lavras, v.9, n.4, p.495-505, 2014.

246 SILVA, R.P. et al. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-
247 de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.2, p.292-304, 2008.

248 SILVA, B.M. et al. Deposição da calda de pulverização aplicada com pontas de jato plano em
249 diferentes partes da planta de soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*). **Engenharia na**
250 **agricultura**, viçosa, v.22, n.1, p. 17-24, 2014.

251 SOUZA, R.T.; VELINI, E.D.; PALLADINI, L.A. Aspectos metodológicos para análise de
252 depósitos de pulverizações pela determinação dos depósitos pontuais. **Planta Daninha**,
253 Viçosa, v.25, n.1, p.195-202, 2007.

6. CONCLUSÕES GERAIS

O aumento da uniformidade de distribuição volumétrica vertical do pulverizador hidropneumático não influencia na eficácia de controle de *B. phoenicis*.

A diminuição da densidade foliar no período de pós-colheita proporciona maior penetração e deposição de calda no dossel do cafeeiro.

A distribuição uniforme dos ramos e folhas resulta em deposição de calda mais homogênea ao longo do dossel do cafeeiro.

O ajuste do índice volumétrico nos estádios fenológicos da cultura do café possibilita a redução do volume de calda aplicado.

7. ANEXOS

Fotos bancada coletora vertical (vertical collector)





