



## Efeito da morfometria da laranjeira na pulverização hidropneumática

### *Effect of morphometric in the orange spray hydropneumatic*

Cleyton Batista de Alvarenga\*<sup>1</sup>, Mauri Martins Teixeira<sup>2</sup>, Sérgio Zolnier<sup>3</sup>, Paulo Roberto Cecon<sup>4</sup>,  
Dalmo Lopes de Siqueira<sup>5</sup>, Denílson Eduardo Rodriguês<sup>6</sup>

**Resumo** - Objetivou-se com este trabalho, estudar a influência da morfometria da planta na pulverização de agrotóxicos, utilizando-se um pulverizador hidropneumático automatizado. O trabalho foi conduzido em laranjal da variedade Pera Rio e o índice volumétrico foi adotado em função da copa e histórico da área, sendo adotado 50 mL m<sup>3</sup>. As velocidades de trabalho foram de 2,3 e 2,5 km h<sup>-1</sup> nas pressões de trabalho de 633 e 844 kPa, respectivamente, com um volume de calda de 696 L ha<sup>-1</sup>. O experimento foi montado em esquema fatorial (3 x 4 x 3), sendo três alturas na planta, quatro posições no plano horizontal da planta e três profundidades na copa, no delineamento de blocos casualizados, com três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e, as médias analisadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados indicaram que a biometria da planta afeta a pulverização de agrotóxicos na cultura da laranja. O déficit de pressão de vapor d'água no ar e a pressão de trabalho afetaram o espectro de gotas da pulverização. O aumento do déficit de pressão de vapor d'água no ar elevou o risco de evaporação e diminuiu o tamanho das gotas, reduzindo a deposição da calda.

**Palavras-chave** - Condições meteorológicas na pulverização agrícola. Tecnologia de aplicação. Tamanho de gotas.

**Abstract** - The objective of this work was to study the influence of morphometric in orange tree during a pesticides spraying, using an automated air blast sprayer. This study was conducted in an orange orchard with Pera Rio variety and the volume index was adopted as a function of the tree crown and area history, being adopted 50 mL m<sup>-3</sup>. The operating speeds were 2.3 and 2.5 km h<sup>-1</sup> at the operating pressures of 633 and 844 kPa, respectively, with volume of spray solution of 696 L ha<sup>-1</sup>. The experimental design had a factorial scheme (3 x 4 x 3), with three plant heights, four positions in the horizontal plane of the tree and three depths in the tree crown, in the randomized block design with three replications. Data were subjected to analysis of variance and the means were analyzed by Tukey test at 5% of probability. The results indicated that the biometrics in the tree affect the pesticides spraying in orange trees. The water vapor pressure deficit and the operating pressures affected the droplet spectrum. Increasing the water vapor pressure deficit increased the risk of evaporation and decreased the droplets size, reducing the deposition of spray solution.

**Key words** - Droplets size. Spraying technology. Weather conditions during pesticides spraying.

\*Autor para correspondência

Enviado para publicação em 04/09/2012 e aprovado em 20/06/2013

<sup>1</sup>Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias, Monte Carmelo-MG, Brasil, cleyton@iciag.ufu.br

<sup>2</sup>Universidade Federal de Viçosa, Dep. de Engenharia Agrícola, Viçosa-MG, Brasil, mauri@ufv.br

<sup>3</sup>Universidade Federal de Viçosa, Dep. de Engenharia Agrícola, Viçosa-MG, Brasil, zolnier@ufv.br

<sup>4</sup>Universidade Federal de Viçosa, Dep. de Estatística, Viçosa-MG, Brasil, cecon@ufv.br

<sup>5</sup>Universidade Federal de Viçosa, Dep. de Fitotecnia, Viçosa-MG, Brasil, siqueira@ufv.br

<sup>6</sup>Universidade Federal de Viçosa, Dep. de Engenharia Elétrica, Viçosa-MG, Brasil, deduardo@ufv.br

## Introdução

A laranja é originária da Ásia e foi trazida para o Brasil em 1500, tornando-se o principal produtor, com aproximadamente 25% da produção mundial, seguido por Estados Unidos, China, Índia, México, Egito e Espanha. Apenas no estado de São Paulo e na região do Triângulo Mineiro, produz-se 53% de todo o suco de laranja produzido no mundo (CITRUS BR, 2012). Segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola (SINDAG) as vendas de agrotóxicos encerraram 2011 com crescimento de 10% sobre o faturamento de 2010, passando de US\$ 7,3 para 8 bilhões. A expectativa da entidade para 2012 é que as vendas cresçam mais 5%. Entre as frutas, os citros apresentaram os maiores gastos com agrotóxicos em 2010, representando 31% do montante, com destaque para os acaricidas (HORTIFRUTI BRASIL, 2012).

A eficiência da pulverização de agrotóxicos depende de fatores característicos da cultura, tais como: a estrutura do dossel, o estágio fenológico, a variedade, as técnicas de aplicação, as condições meteorológicas, o volume e a dose de aplicação e, a combinação destes fatores permite alcançar a eficácia e eficiência desejadas (LLORENS *et al.*, 2010). Uma alternativa para aumentar a deposição no interior da copa foi sugerida por Garcia-Ramos *et al.* (2009) que propuseram o uso de pulverizadores com dois ventiladores axiais de rotação inversa.

Ebert e Downer (2006) afirmam que inovações, no sentido de melhorar a eficiência das pulverizações, resultariam na redução do volume utilizado, o que é uma tendência com os avanços da tecnologia de aplicação. Os diferentes tamanhos e formas das copas das plantas, durante as fases de crescimento, tornam necessário o ajuste contínuo da dose e do volume para aumentar a eficiência da pulverização. Os sistemas de controle do volume de calda e de parâmetros da pulverização são necessários para atingir um depósito uniforme do produto sobre a copa das plantas e, reduzir as perdas relativas à aplicação, seja por deriva ou evaporação (SOLANELLES *et al.*, 2006).

A área foliar de uma planta pode aumentar, significativamente, durante seu desenvolvimento, chegando a mais de 23.000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> em um ano (SIEGFRIED *et al.*, 2007). Portanto, o volume de calda não pode ser um valor fixo por hectare. Diante disso, o volume de calda a ser aplicado deve considerar o volume da copa das plantas por unidade de área, o dia da aplicação, o produto a ser aplicado, o tipo de pulverizador e não, exclusivamente, a superfície do solo ou o volume de água a ser aplicado (WISE *et al.*, 2010).

À medida que o volume da copa das plantas se altera com o desenvolvimento fenológico da espécie

recomenda-se o ajuste do volume de calda. Na Europa, utiliza-se o Índice Volumétrico (IV), que representa o volume de calda necessário para cobrir adequadamente um metro cúbico de copa. Segundo Homer *et al.* (2010), em zonas frutícolas nos Estados Unidos, especificamente em lavouras de maçã, o IV foi ajustado em aplicações de alto volume para 93,7 mL m<sup>-3</sup>. Os autores mencionam ainda o índice de ajuste de densidade foliar entre 0,7 para árvores com copa pouco densa e 1,0 para árvores com copas muito densa, este índice considera os estádios fenológicos, tipo de manejo adotado no cultivo, tamanho das plantas e intensidade da poda.

A caracterização estrutural de medição e do volume de plantas pode ser realizada por meio de sua detecção utilizando vários princípios, incluindo técnicas de análise de imagem. O sensor LIDAR, quando utilizado juntamente com sensores multiespectrais, pode fornecer detalhes em três dimensões da cobertura vegetal, permitindo o cálculo do volume da copa das plantas (POLO *et al.*, 2009; ROSELL *et al.*, 2009).

Estudando os efeitos das condições meteorológicas na aplicação de agrotóxicos, Yu *et al.* (2009b) concluíram que, com a redução da umidade relativa de 90 para 30%, o tempo de evaporação de uma gota de 343 µm reduziu de 115 para 52 segundos. Já em umidade de 60%, o tempo de evaporação média aumentou de 40 para 453 segundos com o incremento do diâmetro das gotas de 246 para 886 µm. Ainda em relação aos efeitos das condições meteorológicas, na pulverização de agrotóxicos, Thomson e Lyn (2011) verificaram que houve redução do tamanho das gotas proporcionalmente com a redução da umidade relativa.

Diante do exposto, objetivou-se com esta pesquisa estudar os efeitos da morfometria da planta na pulverização, utilizando um pulverizador hidropneumático automatizado para controlar o espectro de gotas da pulverização em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Aplicação de Defensivos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola e em um pomar de laranjeiras do Departamento de Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. A pulverização foi realizada utilizando um pulverizador hidropneumático, equipado com bomba de pistão, modelo S60, e ventilador axial de 700 milímetros de diâmetro, acoplado a um trator New Holland, modelo TL75E, com potência nominal de 55,2 kW (75cv). Durante os ensaios trabalhou-se com a rotação de 540 rpm na tomada de potência do trator, que

foi aferida utilizando-se um tacômetro digital Instruterm, modelo TDR-100. A pulverização foi realizada utilizando-se a ponta de jato cônico vazio JA-2 que é caracterizada por produzir gotas finas, segundo a Associação Americana de Engenharia Agrícola (ASAE) e o Conselho Britânico de Proteção de Culturas (BCPC), segundo a norma S572 (ASAE, 2000), uma vez que é bastante empregada nos pulverizadores hidropneumáticos, para o controle fitossanitário de insetos e patógenos.

O critério para a determinação do volume de calda a ser aplicado foi baseado no volume da copa das árvores, descrito por Sutton e Unrath (1988), sendo esta metodologia pouco utilizada no Brasil. A determinação do volume de calda pelo método do volume de copa baseou-se na medida das dimensões das árvores no talhão, utilizando uma haste graduada. As árvores foram sorteadas para efeito do cálculo do volume da copa (Equação 1). O trabalho foi conduzido em um laranjal, da variedade Pêra Rio, sem poda, com porta-enxerto de Limão Cravo, apresentando copas com as dimensões médias de 2,65 metros de altura, 2,1 metros de diâmetro e espaçamento entre linhas de 4 x 4 metros, e área de 10 hectares.

$$VC = (HD/E) \times 10.000 \quad (1)$$

em que:

VC = volume da copa das plantas ( $m^3 \text{ ha}^{-1}$ );

H = altura da planta (m);

D = diâmetro da copa (m);

E = espaçamento entre linhas (m).

A seleção do índice volumétrico foi realizada levando-se em consideração o volume da copa e o histórico de volume de calda pulverizado na área, sendo o índice volumétrico adotado de  $50 \text{ mL m}^{-3}$ . As velocidades utilizadas foram de 2,3 e  $2,5 \text{ km h}^{-1}$ , nas pressões de trabalho de 633 e 844 kPa, respectivamente. Esta combinação permitiu a manutenção do volume de calda, nas diferentes condições de déficit de pressão, pois à medida que o déficit de pressão aumentou a pressão foi reduzida para possibilitar o aumento do tamanho das gotas. Após a determinação do volume da copa e da seleção do índice volumétrico, determinou-se o volume de pulverização (Equação 2).

$$VP = VC \times IV \quad (2)$$

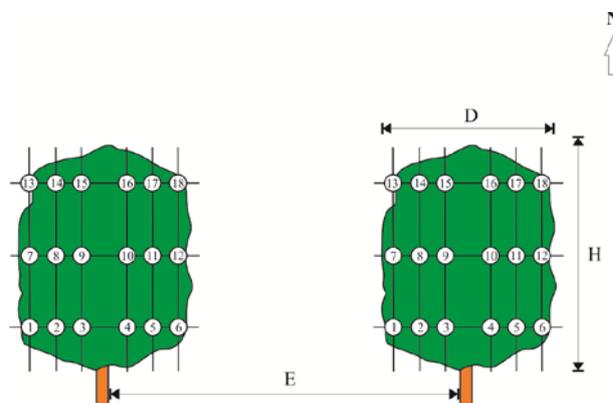
em que;

VP = volume de pulverização ( $L \text{ ha}^{-1}$ );

VC = volume da copa ( $m^3 \text{ ha}^{-1}$ );

IV = índice volumétrico ( $L \text{ m}^{-3}$ ).

Na determinação do tamanho de gotas, utilizaram-se etiquetas hidrossensíveis posicionadas no plano horizontal da planta nas posições (norte, sul, leste e oeste), em três alturas (inferior, médio e superior) e três profundidades na copa (externa, mediana e interna), (Figura 1). Metodologia semelhante foi utilizada por Fox *et al.* (2008), Jamar *et al.* (2010), Balsari *et al.* (2009).



**Figura 1** - Esquema da disposição das etiquetas na planta.

As etiquetas foram digitalizadas utilizando uma máquina fotográfica de 12.0 megapixels, marca Nikon, modelo Coolpix L22, posicionada a 0,1 metro de altura e analisadas com o auxílio do *software* para análise de gotas *Image Tool 3.0*. O diâmetro das gotas foi corrigido pelo fator de espalhamento, indicado para os papéis hidrossensíveis, de acordo com as recomendações do fabricante, Syngenta (2002). A densidade das gotas na superfície foliar empregada foi a recomendada por Barthelemy *et al.* (1990) no controle de insetos e patógenos.

A calda de pulverização foi composta por água mais corante Azul Brilhante (FD & C n° 1) na dose de  $3,0 \text{ g L}^{-1}$ . A avaliação da distribuição da calda na planta foi realizada em todo o dossel da planta pela análise do depósito nas folhas. Estas foram coletadas após o término da pulverização e acondicionadas, individualmente, em sacos plásticos para serem levadas posteriormente ao laboratório. Em seguida, foram lavadas empregando-se 30 mL de água destilada, sendo agitadas, por 30 segundos. A solução foi analisada em espectrofotômetro, modelo SP-1105, lendo-se a absorvância no comprimento de onda de 630 nm, conforme proposto por Palladini *et al.* (2005) e Scudeler *et al.* (2004). Para análise da deposição, a área das folhas foi mensurada em aparelho específico, marca Licor, modelo LI-3100.

Após a mensuração das folhas, estimou-se a correlação da concentração do corante, na solução de lavagem das amostras, com a obtida na calda de pulverização, sendo possível estabelecer o seu volume capturado pelo alvo.

O trabalho foi realizado utilizando-se um pulverizador automatizado dotado de dispositivo capaz de informar ao operador, a velocidade de trabalho, em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar obtido, com base na temperatura e umidade relativa, no momento da aplicação. O volume de calda pulverizado foi de 696 L ha<sup>-1</sup>, e no painel do trator foi adaptado uma tela de *liquid crystal display* (LCD) para informar ao operador a velocidade de trabalho, no momento da pulverização. Um sensor conjugado, modelo Humitter 50Y, fabricado pela Vaisala Inc., em Woburn, MA, USA foi utilizado para monitorar os fatores do ambiente. Um algoritmo foi implementado, utilizando linguagem C++ e, inserido em um microcontrolador Arduino Duemilanove, de modo que, quando o déficit de pressão atingisse determinados valores, o LCD permanecia piscando por dez segundos para chamar a atenção do operador, informando-lhe a velocidade de trabalho.

O déficit de pressão de vapor (DPV) foi calculado a partir dos valores de temperatura do ar, utilizados para determinar a pressão de saturação de vapor d'água no ar, conforme proposto por Tetens (1930) (Equação 3).

$$e_s = 0,6108 \cdot 10^{\left[\frac{(7,5 T)}{(237,5 + T)}\right]} \quad (3)$$

em que:

$e_s$  = pressão de saturação de vapor d'água no ar (kPa);

T = temperatura do ar (°C).

Posteriormente, a partir da umidade relativa e da pressão de saturação de vapor d'água no ar, determinou-se a pressão parcial de vapor d'água no ar (Equação 4).

$$e_a = \frac{UR \cdot e_s}{100} \quad (4)$$

em que:

$e_a$  = pressão parcial de vapor d'água (kPa);

UR = umidade relativa do ar (%).

A diferença entre a pressão de saturação e a pressão parcial de vapor d'água no ar possibilitou o cálculo do déficit de pressão de vapor d'água no ar, que é a medida da quantidade de vapor d'água necessária para que o ambiente atinja o ponto de saturação (Equação 5).

$$DPV = (e_s - e_a) \quad (5)$$

em que:

DPV = déficit de pressão de vapor d'água no ar (kPa).

Os intervalos de déficit de pressão foram determinados levando-se em consideração as condições meteorológicas, usualmente, recomendadas para a pulverização de agrotóxicos, com a temperatura entre 15 a 30 °C, umidade relativa maior que 55% e ventos entre 2 a 10 km h<sup>-1</sup>, conforme indicado por Raetano (2011) e de acordo com os resultados obtidos por Manhani (2011). Desta maneira, as condições para a execução do trabalho foram estabelecidas (Tabela 1). Estabeleceu-se um intervalo de ±0,05 kPa para a transição entre os déficits com o objetivo de viabilizar o funcionamento do sistema.

A alteração da pressão de trabalho, ocorreu automaticamente, em resposta ao déficit de pressão, para isso utilizou-se de um servomotor, Turnigy S8166M, alimentado com uma tensão de 7 Vcc e com torque de 33 kgf cm<sup>-2</sup>, comandado pelo microcontrolador para ajustar a pressão de trabalho.

O experimento foi montado em esquema fatorial (3 x 4 x 3), sendo três alturas no dossel da planta, quatro posições no plano horizontal e três profundidades na copa, empregando-se o delineamento de blocos casualizados, com três repetições, sendo as parcelas constituídas por duas plantas cada. Os dados foram submetidos à análise de variância, pelo teste F. As médias foram analisadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade empregando-se o programa SAS, versão 9.2.

**Tabela 1** - Condições psicrométricas de Déficit de Pressão de Vapor (DPV) para a realização das pulverizações

Tratamentos	Déficit de pressão (kPa)	Pressão de trabalho (kPa)	Velocidade de trabalho (km h <sup>-1</sup> )
1	1,0 < DPV < 2,0 ± 0,05	844	2,5
2	2,0 < DPV < 3,0 ± 0,05	633	2,3
3	DPV > 3,0	Interromper a pulverização	

## Resultados e discussões

As condições meteorológicas, no déficit de pressão entre um e dois quilopascals foi realizada no dia 03 de novembro de 2011 e a temperatura média foi de 22 °C, umidade relativa média de 46% e déficit de pressão entre 1,38 a 1,45 kPa. Já a condição de déficit de pressão mais extrema, foi obtida no dia 08 de novembro de 2011 e a temperatura média foi de 27 °C, umidade relativa média de 41% e déficit entre 2,10 e 2,17 kPa. Durante todo o experimento, as pulverizações foram realizadas com velocidades do vento abaixo de 2 m s<sup>-1</sup>.

Na análise de variância houve efeito significativo da interação entre posições no plano horizontal da planta, altura do dossel e profundidade na copa ou efeito isolado em todos os parâmetros da pulverização, para praticamente todas as pressões de trabalho e, não houve, interação simultânea das três posições na planta.

A posição no plano horizontal da planta influenciou o diâmetro da mediana volumétrica, observando-se

maiores tamanhos de gotas nas posições frontais ao fluxo de ar do ventilador (Tabela 2 e 3).

Os pulverizadores hidropneumáticos com barra na forma de semi-arco apresentam como um dos seus pontos críticos a distância a ser percorrida pelas gotas até alcançarem o dossel superior das plantas. Nas posições no sentido oeste e leste, esta distância é ainda maior, com o agravante do fechamento dos espaços entre plantas na linha de plantio pela copa das plantas. Estes resultados servem de alerta para que os agricultores adotem medidas técnicas na escolha do espaçamento de plantio, pois o entrelaçamento da copa das plantas na linha de plantio pode afetar a eficiência das pulverizações.

Na condição de déficit de pressão variando entre 1,38 e 1,45 kPa e pressão de trabalho de 844 kPa, o diâmetro da mediana volumétrica foi menor na área interna superior do dossel e maior no dossel superior e mediano da profundidade interna e mediana (Tabela 4).

A posição da planta, principalmente das plantas arbóreas, influencia na penetração das gotas no dossel. As

**Tabela 2** - Diâmetro da mediana volumétrica das gotas na pressão de 633 kPa e no déficit de pressão de 2,10 a 2,17 kPa em diferentes posições no plano horizontal da planta

Parâmetro	Posição no plano horizontal da planta			
	Norte	Sul	Leste	Oeste
Diâmetro da mediana volumétrica (µm)	394 ab	461 a	335 b	347 b
C. V. (%)	30,88			

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 3** - Diâmetro da mediana volumétrica das gotas na pressão de 844 kPa e no déficit de pressão de 1,38 a 1,45 kPa em diferentes posições no plano horizontal da planta

Parâmetro	Posição no plano horizontal da planta			
	Norte	Sul	Leste	Oeste
Diâmetro da mediana volumétrica (µm)	481 a	338 c	330 c	400 b
C. V. (%)	20,73			

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 4** - Diâmetro da mediana volumétrica (µm) na pressão de 844 kPa e déficit de pressão de 1,38 a 1,45 kPa em função da altura no dossel e na profundidade na copa

Altura	Profundidade na copa		
	Interna	Mediana	Externa
Inferior	430 aA	414 aA	402 aA
Mediana	326 aB	332 aB	389 aA
Superior	316 bB	427 aA	449 aA
C. V. (%)	20,73		

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

maiores gotas do espectro são depositadas na parte externa da copa devido ao efeito parede descrito por Escola *et al.* (2006) produzido pelas folhas. Desta forma, as menores gotas, que tem a capacidade de acompanharem a corrente de ar produzida pelo ventilador, penetram no dossel com maior facilidade. Já no dossel superior da planta, também foram observadas as maiores gotas, por possuírem a capacidade de serem transportadas a maiores distâncias, antes de serem extintas ou sofrerem deriva.

Neste trabalho, foram realizadas pulverizações nas pressões de 633 e 844 kPa, sendo observado que, na maior pressão, o tamanho de gotas foi influenciado, por um maior número de fatores. Isto ocorreu porque estas gotas estão mais sujeitas às condições que afetam a pulverização, tais como condições meteorológicas, altura da planta, densidade foliar, velocidade do vento, entre outros. Entretanto, as maiores gotas foram encontradas na altura superior e na parte externa da planta. Yu *et al.* (2009b), Yu *et al.* (2009a) e Thomson e Lyn, (2011) também verificaram os efeitos negativos das condições meteorológicas que favorecem a evaporação no tamanho de gotas.

Nas condições de déficit de pressão de 2,10 a 2,17 kPa e pressão de 633 kPa na interação entre a altura e a posição, a densidade das gotas foi menor na altura inferior

e na posição sul. Já para a interação entre a profundidade e a posição, a menor população de gotas foi obtida nas partes mais internas da copa da planta e nas posições mais distantes do ponto de lançamento das gotas (Tabela 5 e 6). Isto ocorreu devido ao efeito parede das folhas, que dificulta a deposição das gotas.

A densidade de gotas apresenta bons resultados quando se utiliza alvos artificiais para analisar a pulverização. Em condições críticas de evaporação, a extinção das gotas reduz a densidade de gotas sobre o alvo, porém, o aumento da pressão pode aumentar a população de gotas. Na altura superior do dossel, a densidade de gotas foi menor devido à evaporação das gotas ser agravada, principalmente, pela maior distância entre o alvo e o ponto de lançamento das gotas na barra, sendo constatada a maior densidade de gotas na posição norte na altura inferior de 334 gotas cm<sup>2</sup> e, a menor densidade observada foi de 138 gotas cm<sup>2</sup>. Portanto, para todos os casos, a população de gotas foi superior aos valores indicados por Barthelemy *et al.* (1990) para o controle de insetos e patógenos.

A calibração do espectrofotômetro foi realizada com o objetivo de calcular o depósito de agrotóxico na superfície das folhas da planta a partir de uma amostra da calda obtida, diretamente, no tanque, considerando os três déficits de pressão de vapor (Figura 2).

**Tabela 5** - Densidade de gotas (gotas cm<sup>2</sup>) considerando a pressão de 633 kPa no déficit de pressão de 2,10 a 2,17 kPa em função da altura e da posição na planta

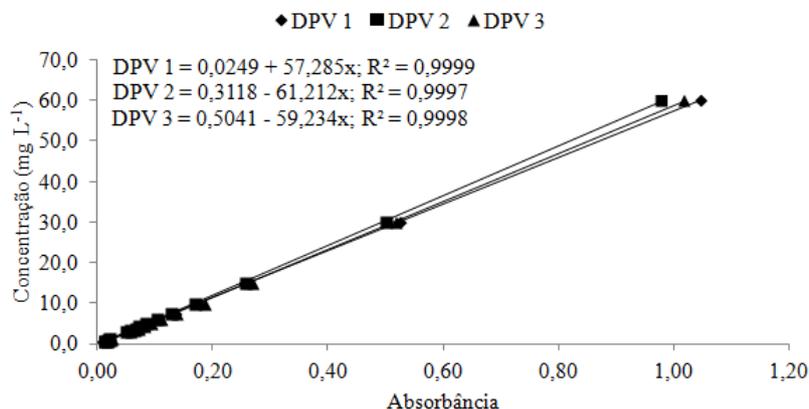
Altura	Posição no plano horizontal da planta			
	Norte	Sul	Leste	Oeste
Superior	292 aA	348 aA	334 aA	266 aA
Mediana	290 aA	341 aA	301 aA	250 aA
Inferior	334 aA	202 bB	268 abA	273 abA
C. V. (%)	27,30			

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

**Tabela 6** - Densidade de gotas (gotas cm<sup>2</sup>) considerando a pressão de 633 kPa no déficit de pressão de 2,10 a 2,17 kPa em função da profundidade e da posição na planta

Profundidade	Posição no plano horizontal da planta			
	Norte	Sul	Leste	Oeste
Externa	314 abA	294 abA	368 aA	228 bA
Mediana	288 aA	281 aA	293 aAB	280 aA
Interna	314 aA	315 aA	242 aB	280 aA
C. V. (%)	27,30			

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



**Figura 2** - Calibração do espectrofotômetro a partir dos valores de absorvância do traçador.

As equações são oriundas de dados observados, medidos diretamente das amostras padrão, conforme informado no M&M. São equações de calibração do aparelho e são apresentadas desta maneira em periódico e livros de tecnologia de aplicação e por Palladini *et al.* (2005), entre outros. Não é resultado de uma regressão estimada, e sim obtidas de dados observados, portanto, neste tipo de informação é usual apresentar apenas o coeficiente de determinação e não é apresentada sua significância, pois não foi feita uma ANOVA.

A deposição da calda nas folhas da planta, considerando o déficit de pressão entre 2,10 a 2,17 kPa, foi

afetada considerando a profundidade na copa. No déficit entre 1,38 a 1,45 kPa, a interação posição e profundidade na copa foi significativa. Enquanto que, na condição de menor evaporação, a altura, a posição e a profundidade na copa tiveram efeito significativo sobre o depósito de calda. Nas condições mais críticas de déficit de pressão de vapor e pressão de trabalho de 633 kPa, a deposição de calda nas folhas foi maior na parte interna do dossel da planta (Tabela 7).

No déficit de pressão de vapor d'água no ar entre 1,38 a 1,45 kPa, a deposição foi maior nas posições norte e sul, na parte externa do dossel da planta (Tabela 8).

**Tabela 7** - Efeito da profundidade na copa da planta na deposição da calda na pressão de 633 kPa no déficit de pressão de 2,10 a 2,17 kPa

Parâmetro	Profundidade na copa		
	Externa	Mediana	Interna
Deposição ( $\mu\text{L cm}^2$ )	0,8 b	0,9 ab	1,0 a
C. V. (%)	38,61		

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 8** - Efeito da interação entre a profundidade na copa e a posição no plano horizontal da planta na deposição da calda na pressão de 844 kPa no déficit de pressão de 1,38 a 1,45 kPa

Profundidade	Posição no plano horizontal da planta			
	Norte	Sul	Leste	Oeste
Externa	2,5 aA	2,7 aA	1,3 bA	1,5 bA
Mediana	0,9 aB	1,0 aA	0,7 aA	0,9 aA
Interna	1,5 aAB	1,0 aA	1,2 aA	0,8 aA
C. V. (%)	80,16			

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

A deposição na parte externa nesta condição de déficit de pressão, principalmente, na posição norte e sul, ocorreu em função do fluxo de ar do ventilador ser maior nesta parte da planta.

A deposição, na condição de déficit de pressão de vapor de 0,76 a 0,86 kPa, foi maior na altura inferior, nas posições norte e sul da parte externa da copa da planta (Tabela 9, 10 e 11).

**Tabela 9** - Efeito da altura no dossel da planta na deposição da calda na pressão de 1.055 kPa considerando o déficit de pressão de 0,76 a 0,86 kPa

Parâmetro	Altura no dossel		
	Superior	Mediana	Inferior
Deposição ( $\mu\text{L cm}^2$ )	2,1 b	2,8 b	3,7 a
C. V. (%)	43,99		

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 10** - Efeito da posição no plano horizontal da planta na deposição da calda na pressão de 1.055 kPa considerando o déficit de pressão de 0,76 a 0,86 kPa

Parâmetro	Posição no plano horizontal da planta			
	Norte	Sul	Leste	Oeste
Deposição ( $\mu\text{L cm}^2$ )	3,0 a	3,2 a	3,2 a	2,1 b
C. V. (%)	43,99			

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 11** - Efeito da altura no dossel da planta na deposição da calda na pressão de 1.055 kPa considerando o déficit de pressão de 0,76 a 0,86 kPa

Parâmetro	Profundidade na copa		
	Externa	Mediana	Interna
Deposição ( $\mu\text{L cm}^2$ )	3,8 a	2,4 b	2,3 b
C. V. (%)	43,99		

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A deposição de calda foi afetada pela arquitetura da planta, sendo observado que nas posições internas e superiores do dossel a deposição foi menor. O fator que contribuiu com maiores valores de depósito nas partes externas do dossel da planta foi a redução do déficit de pressão, concordando com Balan *et al.* (2008), ao trabalharem com pontas de jato cônico vazio.

O déficit de pressão de vapor d'água no ar e a pressão de trabalho afetaram o espectro de gotas da pulverização.

O aumento do déficit de pressão de vapor d'água no ar elevou o risco de evaporação e diminuiu o tamanho das gotas, reduzindo a deposição da calda.

## Conclusões

A morfometria da copa das plantas afetou a pulverização de agrotóxicos na cultura da laranja.

## Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão de bolsa de estudo e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais pelo financiamento desta pesquisa.

## Literatura científica citada

- ASAE S572. **Spray nozzle classification by droplet spectra**. In: ASAE Standards. St. Joseph, 2000. p.389-91.
- BALAN, M. G.; ABI-SAAB, O. J. G.; SILVA, C. G.; RIO, A. Deposição da calda pulverizada por três pontas de pulverização sob diferentes condições meteorológicas. **Semina: Ciências agrárias**, v. 29, n. 2, p. 293-298, 2008.
- BALSARI, P.; MARUCCO, P.; TAMAGNONE, M. A crop identification system (CIS) to optimise pesticide applications in orchards. **The Journal of Horticultural Science e Biotechnology**, v. 84, n. 6, p. 113-116, 2009.
- BARTHELEMY, P.; BOISGOINTER, D.; JOUY, L.; LAJOUX, P. **Choisir les outils de pulverisation**. Paris: Institut Technique des Céréales et des Fourrages, 1990. 160p.
- CITRUS BR. **Produção de laranja e suco**. Disponível em <<http://www.citrusbr.com/exportadores-citricos/setor/producao-192415-1.asp>>. Acesso em 30 de janeiro de 2012.
- EBERT, T. A.; DOWNER, R. A. A different look at experiments on pesticide distribution. **Crop Protection**, v. 25, n. 4, p. 299-309, 2006.
- ESCOLA, A.; CAMP, F.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; GARCIA, F.; ROSSE, J. R.; GIL, E.; VAL, L. **Spray application volume in apple pear orchards in catalonia (spain) and variable rate technology for dose adjustment**. St. Joseph, Mich.: ASAE, 2006. (Paper, 1620).
- FOX, R. D.; DERKSEN, R. C.; ZHU, H.; BRAZEE, R. D.; SVENSSON, S. A. A history of air-blast sprayer development and future prospects. **Transactions of the ASABE**, v. 51, n. 2, p. 405-410, 2008.
- GARCIA-RAMOS, F. J.; VIDAL, M.; BONE, A. Field evaluation of an air-assisted sprayer equipped with two reversed rotation fans. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 25, n. 4, p. 481-494, 2009.
- HOMER, I.; OLIVET, J.; RIQUELME, J. **Regulación de equipos pulverizadores**. In:\_\_\_\_\_. Tecnología de aplicación de agroquímicos. 1ª Edição. Alto Valle, Argentina: Red CYTED “Técnicas sostenibles de distribución de agroquímicos” Área de comunicaciones del INTA Alto Valle, 2010. 196 p. Cap. 10.
- HORTIFRUTI BRASIL. **Defensivos: hortifrutis são o terceiro maior**. Disponível em < [http://cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/107/mat\\_capa.pdf](http://cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/107/mat_capa.pdf)> acesso em 27 de janeiro de 2012.
- JAMAR, L.; MOSTADE, O. HUYGHEBAERT, B.; PIGEON, O.; LATEUR, M. Comparative performance of recycling tunnel and conventional sprayers using standard and drift-mitigating nozzles in dwarf apple orchards. **Crop Protection**, v. 29, n. 6, p. 561-566, 2010.
- LLORENS, J.; GIL, E.; LLOPJ.; ESCOLÀ, A. Variable rate dosing in precision viticulture: use of electronic devices to improve application efficiency. **Crop Protection**, v. 29, n. 3, p. 239-248, 2010.
- MANHANI, G. G. Automatização de pulverizador pneumático visando à eficiência da aplicação e redução de impactos ambientais. 2011. 98 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
- PALLADINI, L. A.; RAETANO, C. G.; VELINI, E. D. Choice of tracers for the evaluation of spray deposits. **Scientia Agrícola**, v. 62, n. 5, p. 440-445, 2005.
- POLO, J. R. R.; SANZ, R.; LLORENS, J.; ARNÓ, J.; ESCOLÀ, A.; RIBES-DASI, M.; MASIP, J.; CAMP, F.; GRÀCIA, F.; SOLANELLES, F.; PALLEJÀ, T.; VAL, L. PLANAS, S. GIL, E.; PALACÍN, J. A tractor-mounted scanning LIDAR for the non-destructive measurement of vegetative volume and surface area of tree-row plantations: A comparison with conventional destructive measurements. **Biosystems Engineering**, v. 102, n. 2, p. 128-134, 2009.
- RAETANO, C. G. **Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (Org.). Tecnologia de aplicação para culturas anuais. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2011. 279p.
- ROSELL, J. R.; LLORENS, J.; SANZ, R.; ARNÓ, J.; RIBES-DASE, M.; MASIP, J.; ESCOLÀ, A.; CAMP, F.; SOLANELLES, F.; GRÀCIA, F.; GIL, E.; VAL, L.; PLANAS, S.; PALACÍN, J. Obtaining the three-dimensional structure of tree orchards from remote 2D terrestrial LIDAR scanning. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 9, p. 1505-1515, 2009.
- SCUDELER, F.; RAETANO, C. G.; ARAÚJO, de D.; BAUER, F. C. Cobertura da pulverização e maturação de frutos do cafeeiro com ethephon em diferentes condições operacionais. **Bragantia**, v. 63, n. 1, p. 129-139, 2004.
- SIEGFRIED, W.; VIRET, O.; HUBER, B.; WOHLHAUSER, R. Dosage of plant protection products adapted to leaf area index in viticulture. **Crop Protection**, v. 26, p. 73-82, 2007.
- SOLANELLES, F.; ESCOLÀ, A.; PLANAS, S.; ROSELL, J. R.; CAMP, F.; GRÀCIA, F. An electronic control system for pesticide application proportional to the canopy width of tree crops. **Biosystems Engineering**, v. 95, n. 4, p. 473-481, 2006.
- 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.
- SYNGENTA. **Water-sensitive paper for monitoring spray distributions**. CH-4002. Basle, Switzerland: Syngenta Crop Protection, 2002.
- TETENS, V. O. Über einige meteorologische Begriffe, **Zeitschrift Geophysic**, Wurzburg, v. 6, p. 297-309, 1930.
- THOMSON, S. J.; LYN, M. E. Environmental and spray mixture effects on droplet size represented by water-sensitive paper used in drift studies. **Transactions of the ASABE**, v. 54, n. 3, p. 803-807, 2011.

WISE, J. C.; JENKINS, P. E.; SCHILDER, A. M. C.; VANDERVOORT, C.; ISAACS, R. Sprayer type and water volume influence pesticide deposition and control of insect pests and diseases in juice grapes. **Crop Protection**, v. 29, n. 4, p. 378-385, 2010.

YU, Y.; OZKAN, H. E.; DERKSEN, R. C.; KRAUSE, C. R. Evaporation and deposition coverage area of droplets containing insecticides and spray additives on hydrophilic, hydrophobic, and crabapple leaf surfaces. **Transactions of the ASABE**, v. 52, n. 1, p. 39-49, 2009a.

YU, Y.; ZHU, H.; FRANTZ, J. M.; REDING, M. E.; CHAN, K. C.; OZKAN, H. E. Evaporation and coverage area of pesticide droplets on hairy and waxy leaves. **Biosystems Engineering**, v. 104, n. 3, p. 324-334, 2009b.