

RONALDO PORTO MADUREIRA

**PULVERIZAÇÃO À TAXA VARIÁVEL EM CITRUS COM  
AUXÍLIO DO SENSOR LIDAR**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

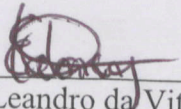
VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2017

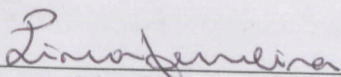
RONALDO PORTO MADUREIRA

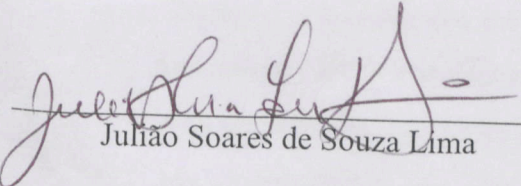
**PULVERIZAÇÃO À TAXA VARIÁVEL EM CITRUS COM  
AUXÍLIO DO SENSOR LIDAR**

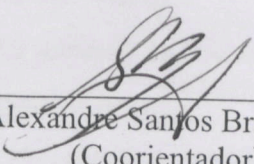
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

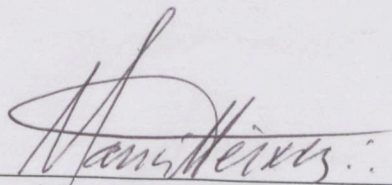
APROVADA: 10 de julho de 2017.

  
\_\_\_\_\_  
Edney Leandro da Vitória

  
\_\_\_\_\_  
Lino Roberto Ferreira

  
\_\_\_\_\_  
Julião Soares de Souza Lima

  
\_\_\_\_\_  
Alexandre Santos Brandão  
(Coorientador)

  
\_\_\_\_\_  
Mauri Martins Teixeira  
(Orientador)

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

Madureira, Ronaldo Porto, 1986-  
M183p Pulverização à taxa variável em citrus com auxílio do  
2017 sensor Lidar / Ronaldo Porto Madureira. – Viçosa, MG, 2017.  
xi, 57 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Mauri Martins Teixeira.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Pulverização. 2. Agricultura de precisão. 3. Cítricos -  
Doenças e pragas - Controle. 4. Análise foliar. I. Universidade  
Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 632.94

*Sem sonhos, a vida não tem brilho. Sem metas, os sonhos não têm alicerces. Sem prioridades, os sonhos não se tornam reais. Sonhe, trace metas, estabeleça prioridades e corra riscos para executar seus sonhos. Melhor é errar por tentar do que errar por omitir.*

Augusto Cury

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, por guiar e iluminar cada passo da minha caminhada, mostrando sempre os melhores caminhos para alcançar meus objetivos e não desanimar com as dificuldades do dia a dia.

Aos meus pais, Aldamir Madureira Lopo e Francisca Porto Madureira, e aos meus irmãos, Marcus Vinicius e Lucas, pelo amor, pelo carinho, pela educação e por sempre estarem ao meu lado, motivando, apoiando e mostrando o quanto é importante e valioso estudar.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos para a realização do curso de doutorado.

Ao Instituto Federal do Norte de Minas Gerais – Campus Arinos, por permitir meu afastamento para conclusão do curso de doutorado.

Ao professor Mauri, pela oportunidade, pelos ensinamentos, tanto no campo profissional como pessoal, e pela paciência durante a pós-graduação.

À professora Leda Rita Faroni, coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela ajuda e compressão durante o período da pós-graduação.

Aos professores da pós-graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração Mecanização Agrícola, pelos ensinamentos transmitidos.

Aos professores Alexandre Brandão e Paulo Roberto Cecon, pela ajuda no desenvolvimento do meu trabalho.

À empresa Montana, por disponibilizar o pulverizador twister “mãozinha”.

À empresa Magnojet, por ceder os materiais utilizados na pesquisa.

Aos amigos da pós-graduação em Mecanização Agrícola, pelos bons momentos compartilhados e pela ajuda nos trabalhos nestes anos em Viçosa.

Aos amigos feitos em Viçosa e aos amigos do norte de Minas Gerais, com quem convivi e/ou reencontrei aqui nesta cidade, pelas alegrias e pela ajuda.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), do Laboratório de Mecanização e do setor de produção Horta do Fundão, pela atenção às solicitações feitas.

A todos aqueles que, de alguma forma, colaboram para o êxito deste trabalho, deixo o meu sincero agradecimento!

## **BIOGRAFIA**

RONALDO PORTO MADUREIRA, filho de Aldamir Madureira Lopo e de Francisca Porto Madureira, nasceu em 22 de março de 1986, em Januária, Minas Gerais,

Em 2005, ingressou no curso superior de engenharia agrônômica na Universidade Estadual de Montes Claros, Campus Janaúba.

Durante o curso de graduação, participou de grupos de pesquisa e projetos de extensão, foi bolsista de iniciação científica, fez estágios em empresas privadas e em propriedades rurais da região. A realização desses estágios lhe deu a certeza que seguiria a carreira voltada para a docência e pesquisa na área de máquinas agrícolas e defesa fitossanitária.

Em 2010, obteve o título de engenheiro-agrônomo.

Em 2011, iniciou o curso de mestrado em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), área de concentração Defesa Fitossanitária.

Em 2013, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em nível de Doutorado, área de concentração Mecanização Agrícola, pela Universidade Federal de Viçosa, tendo defendido a tese em 10 de julho de 2017.

# SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE FIGURAS .....	vi
LISTA DE TABELAS .....	viii
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários em citros .....	3
2.2 Volume de pulverização na cultura de citros .....	4
2.3 Pulverização de produtos fitossanitários à taxa variável .....	5
2.4 Caracterização eletrônica da geometria do dossel de plantas arbóreas.....	7
2.4.1 Técnicas fotográficas digitais .....	7
2.4.2 Sensores ultrassônicos.....	8
2.4.3 Sensor Lidar.....	9
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	11
3.1 <i>Avaliações realizadas em laboratório</i> .....	11
3.1.1 Determinação do volume do dossel de plantas de citros pelo método manual	11
3.1.2 Determinação do volume do dossel de plantas de citros.....	11
3.1.3 Determinação da velocidade do ar do pulverizador.....	15
3.1.4 Determinação do tempo de resposta do sistema de controle da pulverização à taxa variável .....	17
3.2 Pulverização à taxa variável em tempo real na cultura do limão .....	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
4.1 Mensuração manual do volume do dossel .....	27
4.2 Determinação do volume do dossel de plantas de citros em laboratório .....	28
4.3 Pulverização à taxa variável em tempo real na cultura do limão .....	32
4.3.1 Características técnicas do pulverizador .....	32
4.3.2 Deposição de calda.....	34
4.3.3 Diâmetro da mediana volumétrica das pulverizações.....	38
4.3.4 Amplitude relativa .....	42
4.3.5 Cobertura .....	43
4.3.6 Densidade de gotas.....	45
4.3.7 Endoderiva.....	48
5. CONCLUSÃO .....	50
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	51

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1 – Conjunto trator Lidar para mensuração das plantas .....	12
Figura 2 – Distâncias da planta ao conjunto trator Lidar: 2, 3 e 4 m de distância. ....	12
Figura 3 – Diagrama de Blocos 1 – Algoritmo utilizado para realização da pulverização à taxa variável em citros.....	13
Figura 4 – Procedimento de mensuração do dispositivo Lidar.....	14
Figura 5 – Transdutor de velocidade do ar utilizado no ensaio do ventilador do pulverizador.....	16
Figura 6 – Pontos de medição da velocidade do ar.....	17
Figura 7 – Ilustração da câmera digital para o controle do tempo de resposta da pulverização.....	18
Figura 8 – Câmera digital focalizando teclado e manômetro.....	18
Figura 9 – Monitoramento da pulverização. Maior vazão (a) e menor vazão (b).....	19
Figura 10 – Conjunto trator-pulverizador com o sistema de controle da pulverização ..	20
Figura 11 – Pulverizador hidropneumático marca Montana, modelo twister mãozinha 1500. Vista frontal (a) e vista traseira (b).....	21
Figura 12 – Fixação do sensor Lidar no trator.....	21
Figura 13 – Placa de Arduino e placa de redes.....	22
Figura 14 – Válvulas solenoides empregadas no controle da vazão de líquido.....	23
Figura 15 – Divisão da planta de limão em partes para caracterização da distribuição do líquido.....	25
Figura 16 – Laranjeiras utilizadas no ensaio.....	27
Figura 17 – Nuvem de pontos caracterizando o dossel das laranjeiras (vista frontal) na combinação de velocidade de 2,2 km h <sup>-1</sup> (a), 2,9 km h <sup>-1</sup> (b) e 4,7 km h <sup>-1</sup> e distância de 2 m do sensor Lidar ao tronco da laranjeira.....	31
Figura 18 – Nuvem de pontos caracterizando o dossel das laranjeiras (vista frontal) na combinação de velocidade de 2,2 km h <sup>-1</sup> (a), 2,9 km h <sup>-1</sup> (b) e 4,7 km h <sup>-1</sup> e distância de 3 m do sensor Lidar ao tronco da laranjeira.....	31

Figura 19 – Nuvem de pontos caracterizando o dossel das laranjeiras (vista frontal) na combinação de velocidade de 2,2 km h <sup>-1</sup> (a), 2,9 km h <sup>-1</sup> (b) e 4,7 km h <sup>-1</sup> e distância de 4 m do sensor Lidar ao tronco da laranjeira. ....	31
Figura 20 – Velocidade média do ar em função das diferentes distâncias dos bocais de pulverização e alturas do solo. ....	33
Figura 21 – Desenho do modelo de ventilador radial e o homogeneizador do fluxo de ar; (a) vista traseira do pulverizador hidropneumático e ventilador radial ligado aos bocais de pulverização (b).....	34
Figura 22 – Curva de calibração. ....	35

## LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 – Características técnicas do anemômetro AVT55 .....	16
Tabela 2 – Características dos volumes das plantas.....	23
Tabela 3 – Índices volumétricos (IV) utilizados para pulverização de plantas de limão-tahiti.....	24
Tabela 4 – Mensuração manual do volume do dossel das laranjeiras.....	28
Tabela 5 – Volume do dossel de laranjeiras em função das diferentes velocidades de deslocamento e distâncias do Lidar ao tronco da planta.....	28
Tabela 6 – Volume do dossel entre diferentes laranjeiras em função das velocidades de deslocamento e distâncias do Lidar ao tronco da planta.....	30
Tabela 7 – Fatores característicos das pulverizações para diferentes volume do dossel das plantas de limão-tahiti .....	32
Tabela 8 – Valores médios de deposição da calda ( $\mu\text{L cm}^{-2}$ ) para os diferentes terços e profundidades sobre os alvos em plantas com volume do dossel 1,01 a 1,2 $\text{m}^3$ .....	36
Tabela 9 – Valores médios de deposição da calda ( $\mu\text{L cm}^{-2}$ ) para os diferentes índices volumétricos nos alvos em plantas com volume do dossel de 0,8 a 1,0 $\text{m}^3$ e 1,01 a 1,2 $\text{m}^3$ .....	37
Tabela 10 – Desdobramento da interação índices volumétricos x terços x profundidades para o diâmetro da mediana volumétrica (DMV) em plantas com volume do dossel de 0,8 a 1,0 $\text{m}^3$ .....	39
Tabela 11 – Desdobramento da interação índices volumétricos x profundidades x terços para o diâmetro da mediana volumétrica (DMV) em plantas com volume do dossel de 0,8 a 1,0 $\text{m}^3$ .....	41
Tabela 12 – Desdobramento da interação dupla (índices volumétricos x terços) para o diâmetro da mediana volumétrica (DMV) em plantas com volume do dossel de 1,01 a 1,2 $\text{m}^3$ .....	42
Tabela 13 – Desdobramento da interação dupla (índices volumétricos x terços) para a amplitude relativa em plantas com volume do dossel de 0,8 a 1,0 $\text{m}^3$ .....	42
Tabela 14 – Desdobramento da interação dupla (terços $\times$ profundidade) para a cobertura da pulverização em plantas com volume do dossel de 0,8 a 1,0 $\text{m}^3$ .....	43

Tabela 15 – Desdobramento da interação dupla (índices volumétricos x terços) para a cobertura da pulverização em plantas com volume do dossel de 1,01 a 1,2 m <sup>3</sup> .....	44
Tabela 16 – Desdobramento da interação índices volumétricos × terços × profundidades para a densidade de gotas em plantas com volume do dossel de 0,8 a 1,0 m <sup>3</sup> .....	46
Tabela 17 – Desdobramento da interação índices volumétricos × profundidades × terços do parâmetro densidade de gotas em plantas com volume do dossel de 0,8 a 1,0 m <sup>3</sup> .....	46
Tabela 18 – Desdobramento da interação dupla (terços × profundidade) para a densidade de gotas da pulverização em plantas com volume do dossel de 1,01 a 1,2 m <sup>3</sup> .....	47
Tabela 19 – Valores médios de deposição da calda (μL cm <sup>-2</sup> ), para os diferentes índices volumétricos, sobre os alvos artificiais colocados no solo para coleta da endoderiva em plantas com volume do dossel de 0,8 a 1,00 m <sup>3</sup> e de 1,01 a 1,2 m <sup>3</sup> .....	48

## RESUMO

MADUREIRA, Ronaldo Porto, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2017. **Pulverização à taxa variável em Citrus com auxílio do sensor Lidar**. Orientador: Mauri Martins Teixeira. Coorientadores: Haroldo Carlos Fernandes, Alexandre Santos Brandão e Paulo Roberto Cecon.

Determinar o volume das pulverizações de produtos fitossanitários a ser empregado em citros é um desafio. Em uma área de produção existe a variabilidade do volume do dossel das plantas, portanto a adoção de um único volume de pulverização pode resultar em um tratamento ineficiente e ao mesmo tempo desperdiçador. O objetivo deste estudo foi avaliar diferentes distâncias e diferentes velocidades de operação do conjunto trator Lidar na determinação do volume do dossel das plantas de citros, bem como avaliar os parâmetros relacionados com a qualidade da aplicação de produtos fitossanitários proporcionada com um sistema para pulverização à taxa variável em tempo real na cultura do limão. Em um conjunto trator-pulverizador foi montado um sistema para avaliar a variação do volume de pulverização de acordo com o volume do dossel foliar das plantas de citros. Esse sistema foi composto por um sensor Lidar interligado a um notebook, que comunicava com uma placa de Arduino, que, em seguida, acionava uma placa de relés e as válvulas solenoides, que, por sua vez, atuava na mudança do volume de pulverização de acordo a variação do dossel das plantas. Primeiramente, foi realizado um ensaio para avaliar as diferentes distâncias e velocidades de deslocamento na mensuração do volume foliar das plantas de citros. Em seguida, o conjunto trator-pulverizador equipado com sistema de pulverização à taxa variável foi levado a campo, para avaliação da qualidade da pulverização. Os cálculos do volume de pulverização foram realizados com base nas informações de velocidade de deslocamento do conjunto trator-pulverizador em  $\text{km.h}^{-1}$  e no *Tree Row Volume* (TRV), que leva em consideração a altura, a largura e o espaçamento entre as linhas de plantio e um índice volumétrico para cada  $\text{m}^3$  de vegetação. Foram utilizados quatro índices volumétricos 40, 50, 60 e  $80 \text{ mL m}^3$ . Duas faixas de volume do dossel das plantas de citros foram adotadas, sendo elas de  $0,8$  a  $1 \text{ m}^3$  e de  $1,01$  a  $1,2 \text{ m}^3$ . A técnica de mensuração do volume do dossel vegetativo de plantas de citros com a utilização do conjunto trator-Lidar foi eficiente em determinar o volume do dossel das plantas. O sistema para aplicação de produtos fitossanitários à taxa variável em tempo real mostrou-se capaz de ajustar o volume de pulverização estipulado em função do volume foliar do dossel das plantas de citros. O índice volumétrico de pulverização de  $40 \text{ mL m}^3$  de vegetação destacou-se dos demais, apresentando valores semelhantes ao dos outros índices volumétricos, porém utilizando um menor volume de água.

## ABSTRACT

MADUREIRA, Ronaldo Porto, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2017. **Variable rate spraying in Citrus with the assistance of the Lidar sensor.** Adviser: Mauri Martins Teixeira. Co-Advisers: Haroldo Carlos Fernandes, Alexandre Santos Brandão and Paulo Roberto Cecon.

Determining the spray volume of plant protection products to be applied on citrus is a challenge. In a production area there is variability of the canopy volume of the plants. Therefore the adoption of a single spray volume can result in an inefficient and wasteful treatment. The objective of this study was to evaluate different distances and different operating speeds of the Lidar-tractor set in determining the canopy volume of citrus plants, as well as to evaluate the parameters related to the quality of application of plant protection products provided by a variable rate in real time spraying system on lemon crop. On a tractor-mounted spray set a system was set up in order to evaluate the variation of the spray volume according to the volume of the leaf canopy of the citrus plants. This system was comprised of a Lidar sensor connected to a notebook that communicated itself with an Arduino board which then triggered a relay board and the solenoid valves that, in turn, acted to change the spray volume according to the variation of the canopy of the plants. Firstly, an experiment was carried out to evaluate the different distances and travelling speeds in the measurement of leaf volume on citrus plants. Then, the tractor-mounted spray set equipped with a variable rate spray system was taken to the field for evaluation of spray quality. The spray volume calculations were made based on the travelling speed information from the tractor-mounted spray set in  $\text{km.h}^{-1}$  and on the Tree Row Volume (TRV), which takes into account the height, width and spacing between the planting lines as well as on a volumetric index for each  $\text{m}^3$  of vegetation. Four volumetric indexes were used: 40, 50, 60 and  $80 \text{ mL m}^3$ . Two canopy volume ranges of citrus plants were adopted, which were from  $0.8$  to  $1 \text{ m}^3$  and from  $1.01$  to  $1.2 \text{ m}^3$ . The technique for measuring the volume of the vegetative canopy of citrus plants using the Lidar-tractor set was efficient in determining the canopy volume of the plants. The variable rate in real time plant protection products application system was able to adjust the volume of spraying stipulated as a function of the foliar volume of the canopy of citrus plants. The  $40 \text{ mL m}^3$  volumetric index of spraying stood out from the others, presenting similar values as to theirs, but using a smaller volume of water.

# 1 INTRODUÇÃO

A citricultura tem um papel de destaque dentro da fruticultura brasileira, devido ao seu potencial de criação de empregos diretos e indiretos, de atuação no crescimento socioeconômico e de geração de renda.

O objetivo do citricultor é aumentar sua produtividade cada vez mais e, ao mesmo tempo, a qualidade da sua produção, tudo isso sem aumentar a área de cultivo. Para que o citricultor alcance sua meta com sucesso, ele precisa ter um cuidado especial com o tratamento fitossanitário da sua área de cultivo.

O tratamento fitossanitário de uma lavoura de citros é oneroso, pois demanda a utilização de máquinas e implementos agrícolas e o consumo de óleo diesel, de produtos fitossanitários a serem aplicados, de água e de mão de obra. Em uma safra de citros são realizadas cerca de 16 a 20 aplicações de produtos fitossanitários por hectare, utilizando um volume de calda/ha de aproximadamente 4.000 L de água no controle de insetos-pragas e doenças.

A partir da década de 1990, com o início da agricultura de precisão, iniciaram-se pesquisas voltadas para a aplicação de produtos fitossanitários em quantidades necessárias às áreas de cultivo.

A técnica do *Tree Row Volume* (TRV) consiste em adequar o volume de calda para permitir a maior eficiência dos produtos fitossanitários aplicados nas plantas. Para os cálculos do TRV são necessárias informações como espaçamento da cultura, largura e altura do dossel das plantas. Outra informação importante nos cálculos de pulverização utilizando essa técnica é o índice volumétrico. Este índice estabelece um valor em mL m<sup>3</sup>, que varia de 10 mL m<sup>3</sup> (volume de calda ultrabaixo) até 120 mL m<sup>3</sup> (volume de calda muito alto).

A partir do TRV e do índice volumétrico recomendado para cada cultura é possível estabelecer o volume de calda a ser pulverizado.

Em uma área de produção de citros ocorre alta variabilidade espacial do dossel das plantas, por isso é preciso realizar medições da altura, do diâmetro da copa e do espaçamento entre as linhas de plantio para a utilização correta do método do TRV e adequação do volume de aplicação.

Uma nova tecnologia tem como propósito auxiliar na determinação do volume foliar para cada planta frutífera ou arbustiva individualmente. Trata-se do sensor Lidar,

sigla para o termo em inglês *Light Detection and Ranging* – sensor laser para detecção do alcance da luz.

Alguns grupos de pesquisa vêm desenvolvendo protótipos de pulverizadores terrestres para adequar o volume de pulverização em função das variações nas características do dossel da planta, utilizando sensores a laser ou ultrassônicos.

Um sistema de pulverização que seja capaz de adequar o volume de pulverização de acordo com as características do dossel da planta é uma ferramenta de auxílio ao citricultor no tratamento fitossanitário da sua lavoura, pois proporciona melhorias na eficiência, na qualidade e na precisão do tratamento fitossanitário da citricultura e promove economia no consumo de água, de óleo diesel e de produtos fitossanitários e diminuição dos riscos de contaminação ambiental e humana, bem como colabora para a sustentabilidade da citricultura.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a pulverização à taxa variável, utilizando o sensor Lidar em citros.

Os objetivos específicos foram:

- Verificar o potencial do sensor Lidar em mensurar e diferenciar o volume do dossel de plantas de citros para auxiliar na determinação do volume de pulverização.

- Determinar os índices volumétricos de pulverização que proporcionam os melhores resultados de deposição de calda e as menores perdas por endoderiva para as faixas de volume de plantas de 0,8 a 1,0 m<sup>3</sup> e de 1,01 a 1,2 m<sup>3</sup>.

- Mensurar os parâmetros técnicos de avaliação da qualidade da pulverização, como diâmetro da mediana volumétrica, amplitude relativa, densidade de gotas e cobertura.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### *2.1 Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários em citros*

De origem asiática, as plantas cítricas foram introduzidas no Brasil pelas primeiras expedições colonizadoras, provavelmente na Bahia. Por terem encontrado melhores condições para vegetar e produzir do que nas próprias regiões de origem, as citrinas se expandiram por todo o País (LOPES et al., 2011).

Segundo o Agriannual (2016), a citricultura brasileira apresenta números expressivos que traduzem a grande importância econômica e social que a atividade tem para a economia do País. A produção de citros no Brasil é realizada principalmente no estado de São Paulo, onde encontra-se cerca de 77% da produção brasileira. Outros estados como Bahia, Minas Gerais, Pará, Paraná e Rio Grande do Sul contribuem com a atividade citrícola do País (LOPES et al., 2011).

A cultura dos citros é muito suscetível às mudanças climáticas, bem como ao ataque de pragas e doenças, o que interfere na produtividade, no preço de mercado e, conseqüentemente, em todo andamento da atividade (DELLA VECHIA, 2017).

Estima-se que o controle de pragas e doenças corresponda a aproximadamente 40% do custo de produção, sendo as pulverizações responsáveis por cerca da metade dos custos operacionais (ANDRADE et al., 2014)

Dentro do programa de tratamentos culturais de um pomar cítrico, há necessidade de efetuar aplicações de produtos fitossanitários várias vezes ao ano, uma vez que o controle químico ainda é o método mais conveniente para o tratamento do grande número de problemas fitossanitários. Essas aplicações são realizadas, predominantemente, por pulverização (RAMOS et al., 2007a).

A aplicação de produtos fitossanitários tem por objetivo o controle econômico de insetos, doenças e plantas infestantes, por meio da distribuição exata da quantidade de produto, veiculado em forma de gotas que possibilitem a distribuição relativamente uniforme. Dessa forma, evita-se a perda da rentabilidade dos cultivos e os danos ao ambiente e à própria saúde das pessoas que realizam a aplicação (MINGUELA; CUNHA, 2010).

De acordo com Alvarenga (2012), os pulverizadores hidropneumáticos são os equipamentos mais utilizados na aplicação de inseticidas, acaricidas e fungicidas em

culturas de porte arbóreo. Embora seja atualmente a melhor opção para aplicações em culturas como os citros, quando mal utilizados é evidente o impacto ambiental causado pelas pulverizações com esses equipamentos. Sendo assim, há necessidade de estudos que objetivem melhorar a tecnologia existente, por meio da avaliação do desempenho e da qualidade das aplicações, pois essas possuem baixa eficiência, especialmente quando o alvo está no interior da copa.

Diversos autores relatam os desafios para a tecnologia de aplicação dos produtos fitossanitários na cultura de citros, principalmente no que tange à penetração das gotas no interior do dossel da cultura, à deposição da calda aplicada, à densidade de gotas, à cobertura e à redução da deriva. A forma do dossel da planta e o grande volume foliar dificultam a boa cobertura das folhas. Há também o potencial risco de deriva ocasionado pelo fluxo de ar gerado pelos ventiladores dos pulverizadores hidropneumáticos que auxiliam na fragmentação e no transporte das gotas (ESCOLÀ, 2010; ALVARENGA, 2012; CARVALHO, 2014; SCAPIN et al., 2015; SILVA JUNIOR et al., 2016).

Os produtos fitossanitários utilizados na citricultura são, em geral, aplicados via pulverização, que é utilizada para aplicar desde os acaricidas até os fertilizantes foliares. Os alvos podem requerer características diferentes no ajuste dos equipamentos para que haja eficiência no tratamento realizado. Esses ajustes são denominados de regulagem e calibração de pulverizadores e configuram a atividade responsável pela melhor transferência possível do produto do equipamento até o alvo (CARVALHO, 2014).

## ***2.2 Volume de pulverização na cultura de citros***

O volume de pulverização a ser utilizado será sempre consequência da aplicação eficaz, e nunca de uma condição preestabelecida, pois depende de fatores como: o alvo desejado, o tipo de ponta utilizada, as condições climáticas, a arquitetura da planta e o tipo de produto a ser aplicado. Portanto, não existe valor predefinido para volume de calda apenas em função do produto (ANDEF, 2012).

As aplicações com volume alto são caracterizadas pelo volume que atinge o limite máximo de saturação foliar, denominado ponto de escorrimento. Sendo assim, deve-se considerar o estágio de desenvolvimento da cultura, e não somente o volume de aplicação, independentemente da cultura (RAETANO, 2011).

De acordo com Silva Junior et al. (2016), as pulverizações de produtos fitossanitários em citros são geralmente realizadas usando volumes de pulverização

predeterminados em pomares com diferentes tamanhos e idades, o que leva ao desperdício de produtos fitossanitários e de água. Esses volumes são até três vezes mais elevados do que os utilizados em pomares de citrinos da Espanha e da Florida, EUA (VAN ZYL et al., 2014; DEWDNEY et al., 2015). Em São Paulo, o volume de pulverização varia de 3.000 a 6.000 L/ha (ARAÚJO et al., 2013).

Pulverizações com volumes altos (4.000-4.500 L.ha<sup>-1</sup>) ainda são bastante frequentes nos pomares brasileiros, apesar de relatos de que o volume de pulverização não tem relação direta com a eficácia no controle (RAMOS et al., 2007b).

Sasaki et al. (2011) ressaltaram que, para plantas arbóreas/frutíferas, existem poucos estudos relacionados ao volume de calda. Uma das razões é a grande variabilidade existente entre as diferentes espécies, como altura e densidade de plantas, diâmetro de copa, espaçamento entre linhas da cultura, entre outros. Todos esses fatores contribuem para aumentar a dificuldade de estabelecer qual o melhor volume de calda a ser usado em plantas de porte elevado.

O conceito de *Tree Row Volume* (TRV) foi proposto por Byers et al. (1971), para determinar o volume de água necessário para fornecer cobertura de produtos fitossanitários sobre as folhas das árvores em pomares que diferem do padrão. O TRV baseia-se na suposição de que cada linha é uma caixa retangular, e o volume ocupado pela folha por hectare é calculado com base nesse conceito.

Segundo Sutton e Unrath (1984), o TRV baseia-se no pressuposto de que o volume da folhagem por hectare em um pomar pode ser utilizado como um guia para a determinação do volume de pulverização por hectare. Assim, a partir do espaçamento entre linhas e do diâmetro e altura da copa da planta, determina-se o volume de calda a ser aplicado por unidade de área.

### ***2.3 Pulverização de produtos fitossanitários à taxa variável***

A pulverização à taxa variável é uma das técnicas em desenvolvimento dentro da agricultura de precisão. De acordo com Molin et al. (2015), a terminologia “agricultura de precisão” está fundamentada no fato de que as lavouras não são uniformes no espaço e nem no tempo. Portanto, é necessário o desenvolvimento de estratégias para gerenciar os problemas advindos da desuniformidade das lavouras com variados níveis de complexidade.

Os efeitos das aplicações excessivas de produtos fitossanitários sem preocupação com os danos causados ao ambiente, devido à utilização incorreta da tecnologia de aplicação, combinada com a adoção de altos volumes de pulverização, são relatados em vários estudos (HERMOSÍN et al., 2013; ROBLES-MOLINA et al., 2014; MIRANDA-FUENTES et al., 2015).

De acordo com Viana (2010), a tecnologia de aplicação reside na utilização de um conhecimento científico para maximizar o processo produtivo. Para aumentar a eficiência da pulverização, devem-se minimizar as perdas e o risco de contaminação do ambiente provocado pelos produtos fitossanitários.

A incorporação dos sistemas automatizados de controle da pulverização nos pulverizadores teve início nos anos de 1980. Os objetivos normalmente a serem alcançados com esses dispositivos são: melhorar a uniformidade de distribuição do líquido, diminuir o impacto ambiental e os malefícios à saúde humana e melhorar a eficácia do tratamento fitossanitário (ADELL, 2007).

Dentre os sistemas automatizados para o controle da pulverização, tem-se os sistemas para adaptar o volume de calda em função da velocidade de avanço da máquina e os sensores que detectam a vegetação para aplicar o tratamento de forma localizada e individualizada (ADELL, 2007).

Escolà et al. (2013) desenvolveram um método de dosagem variável para aplicação de produtos fitossanitários para fruticultura de precisão. Nesse método são utilizados um sensor Lidar, uma placa processadora e uma válvula solenoide proporcional, o que possibilita regular eletronicamente o volume de calda pulverizado por unidade de volume do dossel.

Gil et al. (2011) ao validarem em campo um sistema de aplicação de produtos fitossanitários à taxa variável em vinhedos constataram diminuição de 53%, em média, na utilização dos produtos fitossanitários e que não houve diferença significativa no controle das doenças dos vinhedos, quando comparado com o método tradicional.

Llorens et al. (2010) avaliaram um pulverizador com três bocais de pulverização individual, instalando em cada bocal um sensor ultrassônico e uma eletroválvula, o que possibilitou boa precisão do sistema e a economia de 58% no volume de pulverização.

O desempenho de um pulverizador equipado com um sistema de automação para aplicação à taxa variável de produtos fitossanitários foi testado por Li et al. (2017). Uma avaliação comparativa foi realizada entre a pulverização à taxa variável e a pulverização convencional. Os resultados mostraram que, em comparação com o pulverizador

convencional, a aplicação do pulverizador à taxa variável no pomar economizou até 45,7% da solução.

#### ***2.4 Caracterização eletrônica da geometria do dossel de plantas arbóreas***

O conhecimento das características das plantas é essencial para realizar um manejo eficiente e efetivo das culturas. Entre as características das culturas, a geometria merece uma menção especial (altura, largura e volume do dossel) (AUAT CHEEIN et al., 2015).

Esses parâmetros exercem papel fundamental na avaliação da eficiência e eficácia das principais operações realizadas nos pomares, como aplicação de insumos (fertilizantes, irrigação e produtos fitossanitários contra pragas e doenças), podas e colheitas (LEE; EHSANI, 2009), bem como no conhecimento e na previsão do vigor e da qualidade da cultura produzida (SANZ et al., 2011; ROSELL; SANZ, 2012; ARNÓ et al., 2013).

De acordo com Sanz et al. (2013), entre os parâmetros geométricos das plantas, o volume do dossel tem um significado especial porque combina, em uma única variável, a largura, a altura, a forma geométrica e a estrutura das árvores. Por esta razão, sua determinação de forma precisa e acessível, tanto em nível de custo como de tempo, é prioridade no presente e no futuro próximo da agricultura de precisão.

Os parâmetros estruturais e geométricos de árvores, como volume e área vegetativa, são geralmente derivados de medições manuais de altura e largura e de amostragem destrutiva de folhas. Por ser a amostragem destrutiva um processo lento e oneroso para os pomares de fruta, outros métodos remotos alternativos têm sido utilizados ao longo dos últimos dez anos (ROSELL; SANZ, 2011).

A medição e a caracterização estrutural de plantas podem ser realizadas remotamente, usando vários princípios de detecção, incluindo as técnicas de análise de imagem, análise do espectro de luz e ultrassom (ROSELL et al., 2009b).

##### ***2.4.1 Técnicas fotográficas digitais***

Métodos fotográficos para estimar as dimensões de árvores individuais e o volume da copa da árvore descrevem o espaço dossel como uma matriz de células em 3D, que são consideradas semitransparentes. O volume da copa da árvore é definido como o

volume do conjunto de voxels (o equivalente em 3D de um pixel 2D). Esse método fotográfico de reconstrução envolve: a) a estimativa da altura do dossel e do diâmetro a partir da localização dos pixels de nível superior, mais à direita e à esquerda de vegetação; b) a construção de uma caixa delimitadora retangular ao redor da árvore, com base nas dimensões do dossel anteriormente derivadas; c) a divisão da caixa delimitadora em uma matriz de voxels; e d) a divisão de cada imagem da árvore em um conjunto de zonas de imagem (ROSELL; SANZ, 2011).

Cada zona de imagem corresponde à direção de um feixe da câmera para a árvore de destino, cuja equação é calculada a partir da localização da zona na imagem e dos parâmetros da câmera. Após o processamento de todas as zonas de vegetação, presume-se que os voxels que não foram entrecortados por qualquer feixe estão vazios e, portanto, são removidos da caixa delimitadora. As estimativas de volume da copa podem ser refinadas por meio da combinação de várias fotografias, tiradas de diferentes ângulos de visão (PHATTARALERPHONG; SINOQUET, 2005).

#### ***2.4.2 Sensores ultrassônicos***

Os sensores de ultrassom são utilizados para medir distâncias rápida e automaticamente. Esses sensores têm três elementos básicos: um emissor de ondas ultrassônicas, um cronômetro e um receptor de ondas. Seu funcionamento consiste em determinar o tempo de voo de uma onda ultrassônica do ponto de emissão ao ponto de detecção e o seu retorno ao ponto de emissão (ROSELL; SANZ, 2011).

As principais vantagens dos sensores ultrassônicos são sua robustez e seu baixo preço. Sua principal desvantagem é o grande ângulo de divergência de ondas ultrassônicas, o que limita a resolução e a precisão das medições realizadas e também requer o uso de várias unidades para cobrir uma cena agrícola comum (ROVIRA-MÁS et al., 2005). Apesar disso, os sensores de ultrassom estão sendo usados para a caracterização da massa vegetal, com bons resultados em determinados cenários.

Alguns pesquisadores estão trabalhando no potencial de utilização dos sensores ultrassônicos para estimar os parâmetros geométricos mais relevantes de árvores e culturas arbóreas, como altura, largura, volume e área foliar, comparando-os com as medições realizadas manualmente. Com os resultados foram determinados a densidade de folhas e os mapas de volume do dossel de plantas em tempo real (LLORENS et al., 2011).

### 2.4.3 Sensor Lidar

Outro princípio de detecção baseia-se na tecnologia *Light Detection and Ranging* (Lidar), que permite a digitalização 3D de todos os tipos de objetos. Essa tecnologia, que é uma técnica de detecção remota não destrutiva para medição de distâncias, fornece uma ferramenta relativamente recente para geração de uma descrição matemática única e completa da estrutura de uma árvore (ROSELL; SANZ, 2012).

As principais vantagens desses sensores são a sua alta velocidade e a precisão da medição, o que facilita a descrição da estrutura geométrica de árvores. Sua capacidade de medir rapidamente (milhares de pontos por segundo) a distância entre o sensor e os objetos em volta permite a obtenção de pontos de turvação 3D (x, y, z), que, mediante a aplicação de algoritmos adequados, torna possível reconstituir digitalmente e descrever a estrutura de árvores com alta precisão (ROSELL et al., 2009a; MAGNUSSEN et al., 2012; HILL et al., 2014).

Apesar de sua limitação para uso em ambientes empoeirados, nos últimos anos os sistemas com a tecnologia Lidar vêm ganhando destaque, sendo empregados na caracterização geométrica de culturas arbóreas (PALACE et al., 2015; TROCHTA et al., 2017; PFEIFFER et al., 2018). A caracterização geométrica tem auxiliado inúmeros estudos em campos de cultivos que necessitam da informação do volume foliar de plantas arbustivas para otimizar a eficiência do manejo da irrigação (DU et al., 2017) e aplicação de produtos fitossanitários (ARNÓ et al., 2015; PASCUZZI et al., 2017).

Rosell et al. (2009b) propuseram o uso de um scanner 2D Lidar na agricultura, para obter características estruturais 3D de plantas. Os resultados obtidos para pomares de citros e vinhas mostraram que essa técnica pode fornecer estimativas rápidas, confiáveis e não destrutivas da estrutura da cultura em 3D.

Os sistemas Lidar podem medir a distância entre o sensor e os objetos ao seu redor muito rapidamente, permitindo a construção de nuvens de pontos tridimensionais. Por meio da aplicação de algoritmos apropriados, essas nuvens podem ser usadas para reconstruir e descrever digitalmente a estrutura de árvores com altos níveis de precisão (ROSELL et al., 2009a; HOSOI et al., 2011; FIEBER et al., 2013; RAUMONEN et al., 2013; MÉNDEZ et al., 2014).

A capacidade de quantificar as variações espaciais, que é um aspecto importante da estrutura da vegetação, é um avanço significativo em relação a alguns métodos

convencionais de mensuração do dossel (SANZ-CORTIELLA et al., 2011; ZAMAN et al., 2011; WANNASIRI et al., 2013; ZALD et al., 2014).

De acordo com Quirino (2014), as mensurações do volume do dossel de plantas arbustivas realizadas de forma manual foram semelhantes às realizadas com o auxílio do sensor Lidar. Sua utilização na mensuração do dossel de plantas arbustivas demonstra que ele é uma ferramenta importante para auxiliar na redução do volume das pulverizações, pois proporciona redução dos gastos financeiros na realização do tratamento fitossanitário de uma cultura.

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Avaliações realizadas em laboratório

Os ensaios foram realizados nas dependências do Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais.

#### 3.1.1 Determinação do volume do dossel de plantas de citros pelo método manual

Os valores de mensuração obtidos com o sensor Lidar foram comparados com os obtidos com um método manual, que faz a aproximação da planta a um esferoide prolato. O método manual é calculado pela Equação 1.

$$V = \frac{\pi D_1^2}{4} \left[ \frac{2(Ht - Hc)}{3} + (Hc - Hs) \right] \quad \text{Equação 1}$$

em que

V = volume da planta (m<sup>3</sup>);

Ht = altura máxima do dossel;

D<sub>1</sub> = diâmetro máximo do dossel paralelo à linha de cultivo;

Hc = altura onde ocorre o maior diâmetro (Hc); e

Hs = altura do solo à saia do dossel (Hs).

#### 3.1.2 Determinação do volume do dossel de plantas de citros

Para realização do ensaio foi utilizado o trator de pneus marca Valtra Valmet, modelo 800, no qual foi montado o sistema de mensuração do volume foliar composto pelo Lidar e por um *desktop*.

O volume do dossel das plantas foi obtido de diferentes distâncias do conjunto trator Lidar ao tronco das plantas e de diferentes velocidades de deslocamento do conjunto. As distâncias utilizadas foram 2, 3 e 4 m (Figuras 1 e 2) em relação ao tronco da planta, combinadas a três velocidades de deslocamento: 2,2, 2,9 e 4,7 km h<sup>-1</sup>. Para auxiliar o direcionamento correto das distâncias do conjunto trator Lidar até as laranjeiras, foram feitas marcações correspondentes às diferentes distâncias de aplicação na

superfície do terreno onde foi realizado o experimento (Figura 2). Duas laranjeiras foram utilizadas no experimento. Foram feitas cinco leituras de mensuração da combinação velocidade e distância, para cada planta.

Figura 1 – Conjunto trator Lidar para mensuração das plantas.



Fonte: dados da pesquisa.

Figura 2 – Distâncias da planta ao conjunto trator Lidar: 2, 3 e 4 m de distância.



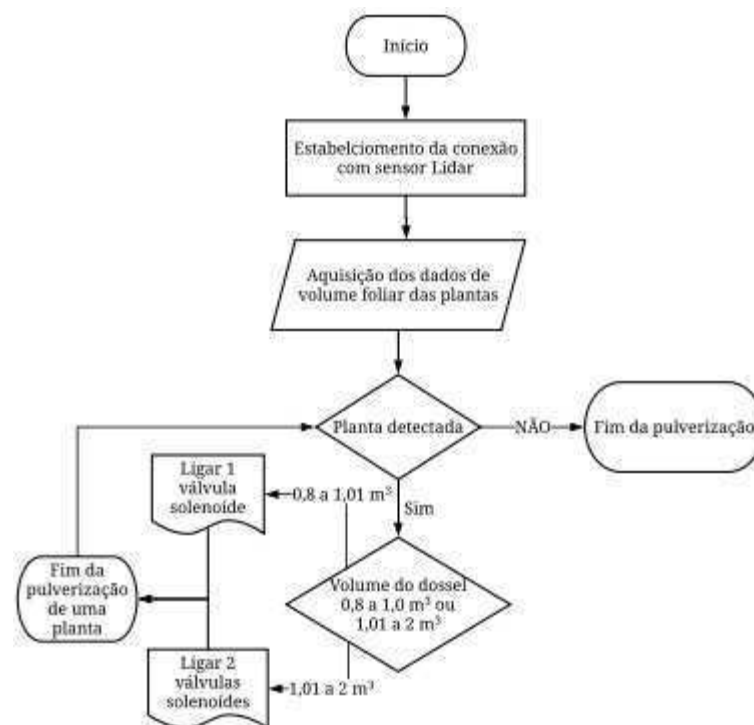
Fonte: dados da pesquisa.

Para determinação do volume do dossel de plantas em tempo real foi utilizado um sistema de mensuração 2D, com base na tecnologia Lidar. O sistema é composto por um sensor de mensuração terrestre SICK LMS111. Este sensor faz as mensurações em duas dimensões, ou seja, em um único plano essa característica faz com que o sistema tenha um custo menor que o dos sistemas de mensuração em três dimensões.

Os dados das dimensões dos pontos de leitura das plantas obtidos com o auxílio do sensor Lidar foram enviados a um *desktop*, através de cabo para transferência de dados. No *desktop* esses dados foram processados no programa computacional Matlab, no qual foi implementado um algoritmo para o cálculo do volume das plantas.

O algoritmo utilizado teve como base o algoritmo proposto por Quirino (2014), que foi aperfeiçoado para atender às demandas da pesquisa. O algoritmo é descrito conforme o diagrama de blocos 1 (Figura 3).

Figura 3 – Diagrama de Blocos 1 – Algoritmo utilizado para realização da pulverização à taxa variável em citros.

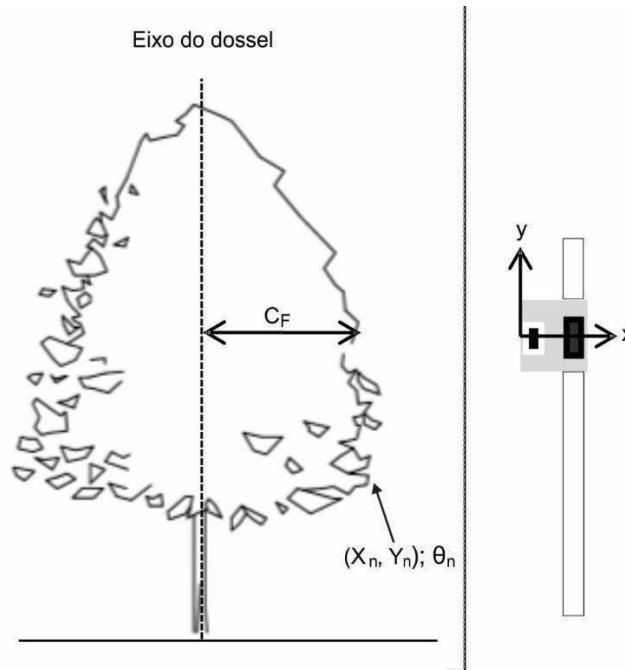


Fonte: dados da pesquisa.

O volume do dossel das laranjeiras foi determinado pelos pontos interceptados pelo Lidar, incididos sobre as folhas, gerando o perfil do dossel da planta. Uma vez gerado o perfil, foi determinado o comprimento médio mensurado do dossel ( $C_F$ ) da planta, em função da distância média obtida de cada ponto à linha central da planta (Figura 4). A

altura do dossel (AD) foi obtida calculando-se a diferença entre as coordenadas ( $Y_i$ ) máxima e mínima e a nuvem de pontos mensurada pelo dispositivo Lidar (LLORENS et al., 2011).

Figura 4 – Procedimento de mensuração do dispositivo Lidar.



Fonte: Llorens (2011).

Uma vez que o perfil de uma fatia simples mensurada pelo Lidar foi conhecido, a área superficial, perpendicular à linha de percurso do dispositivo, foi obtida pela Equação 2, aplicando-se o método de coordenadas superficiais descrito por Brinker (1998).

$$A_s = \frac{1}{2} [x_0(y_n - y_1) + x_1(y_0 - y_2) + x_2(y_1 - y_3) + \dots + x_n(y_n - y_0)] \quad \text{Equação 2}$$

em que

$A_s$  = área da superfície perpendicular ao eixo ( $m^2$ ); e

$(x_n, y_n)$  = coordenadas cartesianas dos pontos do dossel, em que  $\theta$  representa o ponto mais alto do dossel e  $n$  o ponto mais baixo.

O volume do dossel foi calculado pela soma do volume de cada fatia simples, de acordo com a Equação 3, onde todas as fatias no comprimento total da linha de trajetória foram incluídas.

$$V_T = \sum_{i=1}^{A_T C_F^{-1}} (A_s)_i C_F$$

Equação 3

em que

$V_T$  = volume total da metade do dossel ( $m^3$ );

$A_S$  = área superficial perpendicular ao eixo ( $m^2$ );

$C_F$  = comprimento da fatia ( $m$ ); e

$A_T$  = comprimento total da linha mensurada ( $m$ ).

Posteriormente, foram analisados os resultados obtidos nas diferentes velocidades de operação e distância das plantas de laranjeira, a fim de determinar a velocidade de operação e a distância que representam o volume do dossel das plantas o mais próximo do real.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, disposto em esquema fatorial  $3 \times 3 \times 2$  (três velocidade de deslocamento x duas distâncias do conjunto trator Lidar x dois tamanho das plantas), com cinco repetições.

Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo os efeitos dos tratamentos comparados pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. A análise foi realizada com o auxílio do programa estatístico SAEG Versão 9.1 (SAEG, 2007).

### ***3.1.3 Determinação da velocidade do ar do pulverizador***

Para realização do ensaio foram utilizados o trator marca Valtra Valmet, modelo 800, e um pulverizador hidropneumático twister mãozinha 1500, acoplado à barra de tração do trator. Ao trator foi imposta uma aceleração de modo a obter a rotação de 1.800 rpm do eixo do motor, para que fosse atingida a rotação de 540 rpm na tomada de potência para o acionamento do pulverizador.

O ensaio do ventilador do pulverizador foi realizado em um local plano, sem influência da corrente de ar. A mensuração da velocidade do ar foi feita com o auxílio de transdutor de velocidade de ar marca Alnor, modelo ATV55 (Figura 5).

Figura 5 – Transdutor de velocidade do ar utilizado no ensaio do ventilador do pulverizador.



Fonte: dados da pesquisa.

As características de funcionamento do anemômetro AVT55 estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características técnicas do anemômetro AVT55.

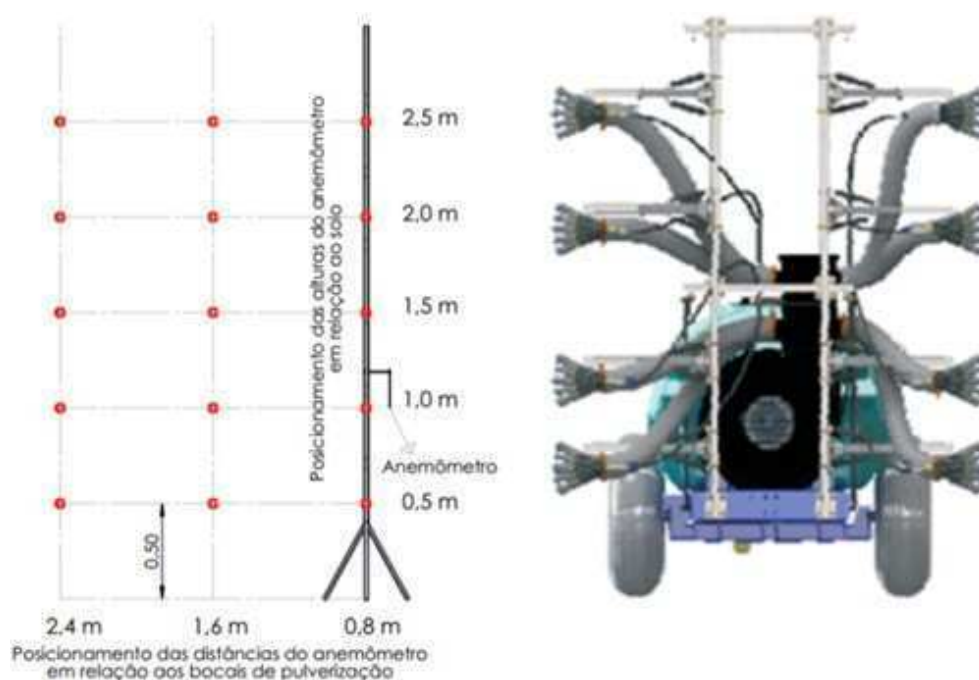
<b>Parâmetros Fornecidos pelo Fabricante</b>	<b>Escala de Leitura</b>
Leitura de velocidade	0 a 50 m s <sup>-1</sup>
Acurácia	± 2,0% da leitura, ± 0,5% da escala de leitura completa do intervalo de tempo selecionado
Repetitividade	< ± 1,0 % da leitura
Tempo de resposta	0,2 s
Temperatura de operação	0 a 93 °C

Fonte: dados da pesquisa.

As mensurações da velocidade do ar foram realizadas conforme metodologia proposta por Sotolongo e Herrera (1986). Os pesquisadores recomendam que a avaliação seja feita em três distâncias, 0,8, 1,6 e 2,4 m, do ramal de pulverização, alinhado ao fluxo de ar produzido pelo ventilador do pulverizador.

No piso do local do ensaio, foram feitas marcações da distância e uma linha para o correto alinhamento com o fluxo de ar. Para cada distância, foram realizadas medições em cinco alturas (0,5, 1,0, 1,5, 2,0 e 2,5 m). As leituras foram feitas para cada altura, nas diferentes distâncias e com quatro repetições. Para auxiliar a instalação do anemômetro nas diferentes posições, foi utilizado um tripé (Figura 6).

Figura 6 – Pontos de medição da velocidade do ar.



Fonte: Montana (2011).

### ***3.1.4 Determinação do tempo de resposta do sistema de controle da pulverização à taxa variável***

Com o objetivo de pulverizar a planta mensurada com precisão e com a quantidade adequada de líquido em relação ao seu volume do dossel, foi necessário determinar o tempo de resposta para o acionamento das válvulas solenoides que controlavam a pulverização.

O tempo de resposta do sistema de controle da pulverização à taxa variável inclui o tempo gasto pelo sensor Lidar para fazer a caracterização do volume do dossel da planta, o tempo para processamento das informações pelo programa MatLab e o acionamento das válvulas solenoides.

Para determinação do tempo de resposta do sistema de pulverização à taxa variável, foi adotada a metodologia proposta por Chen et al. (2011), na qual realiza-se uma filmagem utilizando câmera de vídeo de alta taxa de amostragem para medir o tempo de resposta do sistema de pulverização.

Durante o experimento foi feita uma filmagem em alta taxa de amostragem, com uma câmera marca Casio digital, modelo Exilim EX-FH20, com taxa de amostragem de até 1.000 quadros por segundo (Figura 7). Em um dos ramos de pulverização (mãozinha)

foi colocado um adaptador em uma das pontas de pulverização, para instalação de um manômetro.

Figura 7 – Ilustração da câmera digital para o controle do tempo de resposta da pulverização.



Fonte: dados da pesquisa.

A câmera digital foi fixada a um tripé, e posicionada de frente para o manômetro. A determinação do tempo de resposta do sistema de pulverização à taxa variável foi realizada da seguinte maneira: com o auxílio de um teclado sem fio, conectado ao *notebook* do sistema de pulverização, foi acionada a pulverização. A câmera fez a filmagem focalizando o dedo do operador que ligava o botão do teclado que disparava a pulverização e, simultaneamente, o manômetro (Figura 8), portanto a filmagem continha a imagem da pressão registrada pelo manômetro antes do acionamento do botão do teclado e a imagem da pressão do sistema após o acionamento do botão do teclado.

Figura 8 – Câmera digital focalizando teclado e manômetro.



Fonte: dados da pesquisa.

Os vídeos foram feitos em resolução de  $224 \times 168$  pixels e à taxa de 420 frames por segundo, com quatro repetições para as pressões de 100, 200 e 300 kPa. Após a filmagem os vídeos foram processados em um software que transforma vídeos em fotos. Em seguida, foram identificadas as fotos e seus respectivos números que marcavam a pressão inicial e a pressão final da pulverização.

A taxa de amostragem foi configurada para 420 frames por segundo, portanto cada foto corresponde ao tempo de 0,0024 milésimo de segundo.

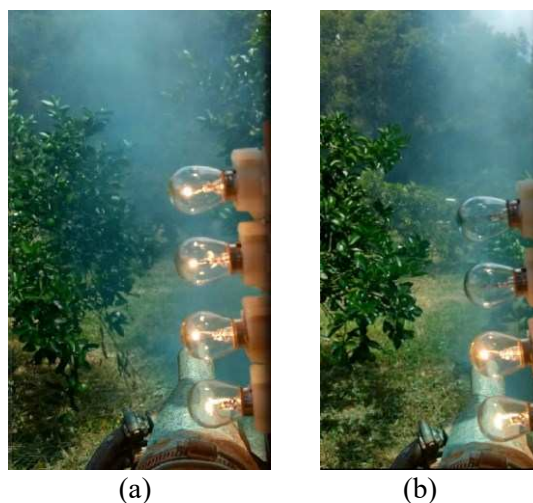
Para a pressão de 100 kPa, foi observado o tempo para resposta de 0,595 milésimo de segundo; para a pressão de 200 kPa, o tempo de 0,785 milésimo de segundo; e para a pressão de 300 kPa, o tempo para resposta de 0,895 milésimo de segundo.

A função do programa MatLab, denominada de Tic Toc, ficou encarregada de mensurar o tempo gasto para a leitura do volume do dossel da planta.

Após a mensuração do volume do dossel, o programa MatLab processou todas as informações. Considerando que a distância do ponto de mensuração do Laser até o bico hidráulico foi de 8,1 m e a velocidade de  $2 \text{ km.h}^{-1}$ , o tempo total para realização do processo de pulverização à taxa variável foi de 14,58 segundos.

Com a informação do tempo total para realização do processo, subtraindo-se o tempo gasto para leitura do dossel da planta, obteve-se o tempo para ativar a pulverização, que coincidiu com o início do dossel da planta, o que garantiu a precisão do sistema de pulverização à taxa variável, como pode ser visualizado na Figura 9. A figura ilustra o conjunto de lâmpadas utilizado, devendo ser ressaltado que cada lâmpada foi ligada à válvula solenoide. Esse conjunto auxiliou no monitoramento da precisão da pulverização.

Figura 9 – Monitoramento da pulverização. Maior vazão (a) e menor vazão (b).



Fonte: dados da pesquisa.

### ***3.2 Pulverização à taxa variável em tempo real na cultura do limão***

O experimento foi realizado no pomar experimental da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 20° 45' S e 42° 51' O, 649 m de altitude.

Em uma área com a cultura do limão-tahiti, com 11 anos de idade, plantada no espaçamento  $7 \times 6$  m, foram selecionadas linhas de cultivo que continham plantas com padrão de vegetação o mais desuniforme possível (Figura 10).

Um conjunto trator-pulverizador (Figura 10) foi utilizado na pesquisa. O pulverizador hidropneumático, marca Montana, modelo twister mãozinha, foi acoplado à barra de tração do trator John Deere, modelo 5705.

Esse pulverizador é dotado de bomba do tipo membrana, com vazão nominal de 90 L/min, dimensões (C  $\times$  L  $\times$  A) de 3,95  $\times$  1,35  $\times$  1,36 m, com duas seções de pulverização e comando elétrico, ventilador do tipo radial e capacidade do tanque de 1.500 L (Figura 10).

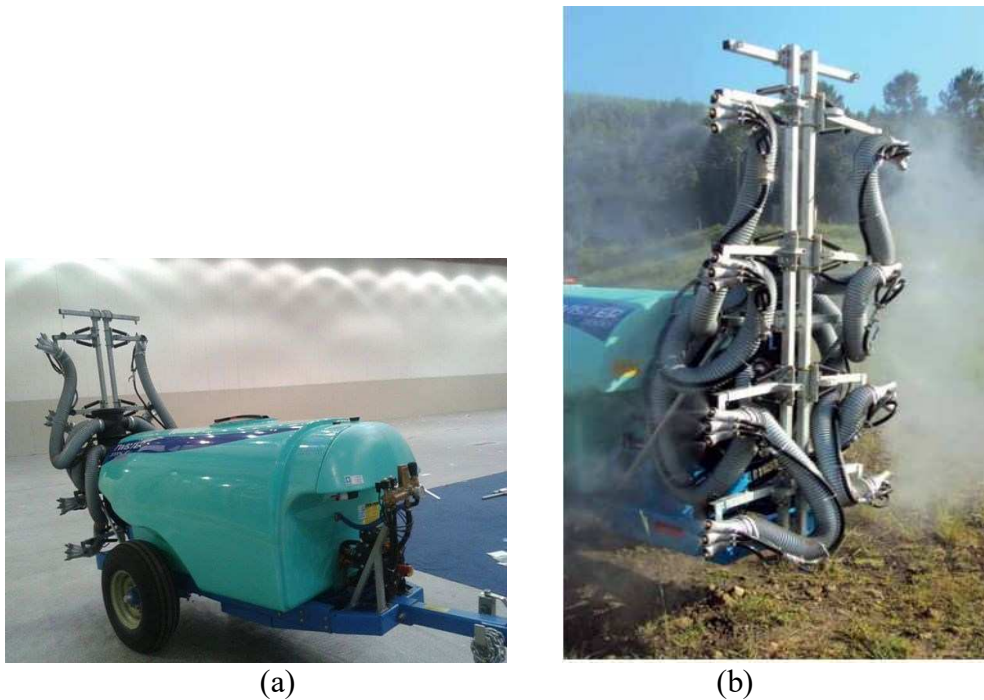
Para realização da pulverização à taxa variável em tempo real, um sistema de controle da pulverização foi construído e instalado no conjunto trator-pulverizador. O sistema é composto por um dispositivo Lidar, fixado a um suporte (Figura 11) instalado na parte dianteira do trator, e por um sistema controlador de vazão da pulverização.

Figura 10 – Conjunto trator-pulverizador com o sistema de controle da pulverização.



Fonte: dados da pesquisa.

Figura 11 – Pulverizador hidropneumático marca Montana, modelo twister mãozinha 1500. Vista frontal (a) e vista traseira (b).



Fonte: Montana (2011).

Figura 12 – Fixação do sensor Lidar no trator.



Fonte: dados da pesquisa.

Os dados referentes à mensuração do volume do dossel de cada planta, coletados pelo Lidar, foram enviados ao programa computacional MatLab, instalado em um notebook embarcado na cabine do trator. No programa Matlab foi implementado uma

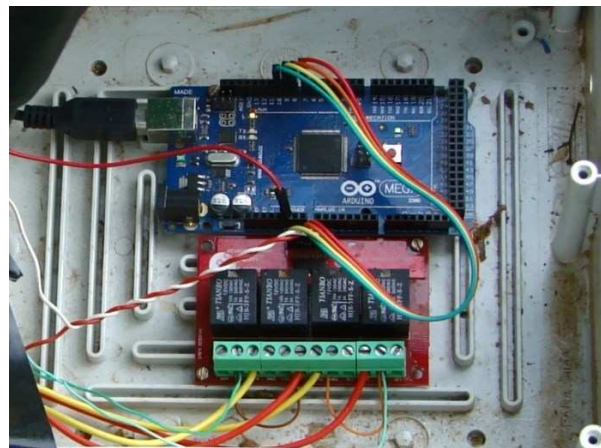
rotina para os cálculos do volume do dossel, bem como do volume de pulverização a ser empregado.

Ao notebook foi conectada uma placa de Arduino, e a essa uma placa de relés (Figura 12), para o controle do sistema de válvulas solenoides (Figura 13) que atuavam no controle da vazão do líquido a ser pulverizado. Esse sistema de válvulas foi proposto por Santos et al. (2014).

O sistema é composto por quatro válvulas solenoides, interligadas aos registros do tipo gaveta. A válvula solenoide é responsável por abrir e fechar a saída do líquido, enquanto o registro do tipo gaveta tem a função de ajustar a pressão desejada. Deste modo, foi possível regular a pressão de saída em cada conjunto de válvula e registro. No final do sistema de válvulas solenoides foi instalado um manômetro, com o intuito de auxiliar na regulagem da pressão e na aferição do sistema.

Para permitir a aplicação da calda à taxa variável em tempo real, de maneira individual e com precisão, foi necessário adequar o tempo de abertura e fechamento do sistema em função da pulverização, a fim de que o ajuste da pulverização da quantidade de líquido desejado começasse exatamente com o início do dossel da planta mensurada e tivesse o encerramento da pulverização coincidindo com o término do dossel da planta.

Figura 13 – Placa de Arduino e placa de redes.



Fonte: dados da pesquisa.

Figura 14 – Válvulas solenoides empregadas no controle da vazão do líquido.



Fonte: dados da pesquisa.

No espaço vazio entre uma planta e outra, o sistema foi programado para entregar a menor vazão de pulverização. Não foi possível programar o sistema para que ele realizasse o fechamento da vazão do líquido entre uma planta e a planta seguinte, porque as válvulas utilizadas não suportariam toda a pressão do sistema hidráulico no momento da restrição da vazão do líquido, uma vez que as solenoides empregadas no sistema são simples e de baixa robustez.

Na área experimental, foram selecionadas linhas de cultivo do limão-tahiti que apresentavam plantas que se enquadravam em duas faixas de volumes de dossel. As características das faixas de volume de plantas estão apresentadas no Tabela 2. Os respectivos índices de área foliar foram determinados com o auxílio de um ceptômetro (ACCUPAR-80). A medição foi realizada pelo método indireto, sendo a leitura do índice de área foliar realizada diretamente no aparelho.

Tabela 2 – Características dos volumes das plantas.

Faixa de Volume de Plantas (m <sup>3</sup> )	Altura do Dossel (m)	Largura do Dossel (m)	Espaçamento Entre Linhas (m)	Índice de Área Foliar (IAF)
0,80 a 1,00	2,40 a 2,70	2,00 a 2,22	6	1,21
1,01 a 1,20	2,70 a 2,85	2,40 a 2,52	6	1,40

Fonte: dados da pesquisa.

Para o cálculo do *Tree Row Volume* (TRV), devem ser realizadas as mensurações da altura e da largura das plantas, bem como do espaçamento entre as linhas de cultivo. Após a coleta dessas informações, utilizou-se a Equação 4 para o cálculo do TRV.

$$TRV = \frac{H \times L \times 10.000}{E} \quad \text{Equação 4}$$

em que

$H$  = altura do dossel (m);

$L$  = largura do dossel (m); e

$E$  = espaçamento entre as linhas (m).

O volume de pulverização foi calculado utilizando a velocidade de 2 km h<sup>-1</sup> do conjunto trator-pulverizador e com base na fórmula do TRV e nos respectivos índices volumétricos, utilizando a Equação 5:

$$VP = \frac{TRV \times IV}{1.000} \quad \text{Equação 5}$$

em que

$VP$  = volume de pulverização (L ha<sup>-1</sup>);

$TRV$  = volume da copa das plantas (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>); e

$IV$  = índice volumétrico (mL m<sup>-3</sup>).

O volume de calda utilizado na pulverização foi determinado conforme os índices volumétricos da Tabela 3.

Tabela 3 – Índices volumétricos (IV) utilizados para pulverização de plantas de limão-tahiti.

VOLUME DE CALDA	IV (mL m <sup>-3</sup> )
1	40
2	50
3	60
4	80

Fonte: dados da pesquisa.

Para a avaliação técnica da pulverização à taxa variável em tempo real, foram utilizados os seguintes parâmetros: deposição, DMV, amplitude relativa (AR), densidade de gotas, cobertura e endoderiva.

A avaliação da deposição foi realizada conforme metodologia proposta por (PALLADINI, 2000). Nessa metodologia é acrescido o corante alimentício azul brilhante

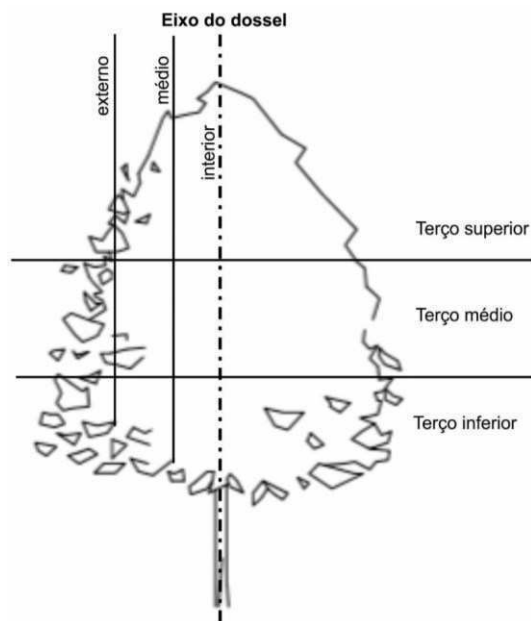
(FD & C nº 1) à solução aquosa de pulverização, na dose de 3,0 g L<sup>-1</sup>. Segundo o autor, o corante pode ser utilizado pela possibilidade de avaliação da distribuição e de quantificação dos depósitos, simultaneamente, sem a interferência nas propriedades físico-químicas da calda.

Depois de realizadas as pulverizações, três folhas, localizadas nos terços inferior, médio e superior, além das partes externa, média e interna (Figura 14), foram cuidadosamente retiradas, acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados, armazenados em caixa de isopor e transportadas para o laboratório, para posterior análise. Assim, foi possível realizar a caracterização da uniformidade de distribuição do líquido sobre a massa foliar da planta.

No laboratório, foram adicionados 100 mL de água destilada a cada um dos sacos plásticos contendo folhas das plantas, agitando-os em seguida por 30 segundos. Alíquotas foram retiradas e as amostras foram analisadas em espectrofotômetro Coleman® (D 33), para determinação da leitura de absorbância, no comprimento de onda de 630 nm, conforme metodologia de Viganò et al. (2007).

Para determinar a concentração dos depósitos do corante na amostra, foi confeccionada uma curva de calibração com a mesma calda utilizada para aplicação a campo. A confecção da curva de calibração foi elaborada com leituras de absorbância provenientes da diluição da calda aplicada.

Figura 15 – Divisão da planta de limão em partes para caracterização da distribuição do líquido.



Fonte: dados da pesquisa.

A área foliar das folhas coletadas foi determinada com um medidor de área foliar portátil CI-202. O volume retido no alvo foi dividido pela área das folhas recolhidas, obtendo-se o resultado do depósito da pulverização por unidade de área,  $\mu\text{L cm}^{-2}$  de folha.

Para avaliação da cobertura foram fixadas etiquetas de papel hidrossensível sobre a folha da planta, dispostas nas mesmas projeções da planta onde foram avaliadas as deposições.

As etiquetas, medindo  $26 \times 76$  mm, foram impregnadas com o corante azul de bromofenol, que na sua forma não ionizada apresenta coloração amarela e em contato com água ionizada adquire coloração azul.

Depois de realizadas as pulverizações, as etiquetas foram retiradas e acondicionadas em envelopes de papel devidamente identificados, a fim de evitar a perda do papel hidrossensível, em virtude da ação da umidade, e em seguida foram levados para o laboratório, para análise.

No laboratório, as imagens foram digitalizadas com o auxílio de um escâner marca HP, modelo 3510, com resolução de 600 DPI, e processadas em programa computacional CIR versão 1.5, software este desenvolvido para análise do espectro de gotas coletadas em etiquetadas de papel hidrossensível. Durante a avaliação dos papéis hidrossensíveis, foram obtidas as informações sobre a qualidade da pulverização, como: DMV, densidade de gotas, cobertura e amplitude relativa.

A quantificação da deposição de calda nos alvos artificiais foi realizada, a fim de estimar a perda da calda para o solo (endoderiva). Para a coleta dos depósitos, foram dispostas três caixas plásticas do tipo gerbox, com as dimensões  $11 \times 11 \times 3,5$  cm, no sentido do tronco em direção à linha de plantio, com espaçamento de 11 cm uma da outra, no sentido da linha de plantio indo de encontro ao tronco.

O experimento foi conduzido segundo o esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os índices volumétricos de aplicação (40, 50, 60, 80 mL  $\text{m}^3$ ), nas subparcelas as alturas (superior, médio e inferior da planta) e nas subsubparcelas as profundidades (externa, média e interna da planta), no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições.

Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo os efeitos dos tratamentos comparados pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. A análise foi realizada com o auxílio do programa estatístico SAEG Versão 9.1 (SAEG, 2007).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Mensuração manual do volume do dossel

Na Figura 16 estão as duas laranjeiras utilizadas na mensuração em laboratório. Olhando da esquerda para a direita, tem-se a primeira planta identificada como “planta 1” e a segunda, como “planta 2”.

Figura 16 – Laranjeiras utilizadas no ensaio.



Fonte: dados da pesquisa.

O resultado obtido com o método de mensuração manual é apresentado na Tabela 4. Constatase que os valores de mensuração do volume do dossel das laranjeiras obtidos com o sensor Lidar são bem inferiores aos obtidos pelo método manual. Esse fato já era esperado, uma vez que o sensor Lidar consegue moldar a estrutura do dossel, desconsiderando seus espaços vazios.

Tabela 4 – Mensuração manual do volume do dossel das laranjeiras.

Volume do Dossel (m <sup>3</sup> )	
Planta 1	Planta 2
2,46	2,84

Fonte: dados da pesquisa.

#### 4.2 Determinação do volume do dossel de plantas de citros em laboratório

Fez-se a mensuração do volume do dossel de laranjeiras para verificar o potencial do sensor Lidar em caracterizar o dossel das plantas em diferentes condições operacionais. As informações sobre a caracterização do volume do dossel com esse sensor são de extrema importância para o cálculo do volume a ser pulverizado.

Verificou-se efeito significativo entre as distâncias das plantas, as velocidades e as dimensões das plantas para o volume do dossel. Para a característica avaliada, as interações significativas entre os fatores em estudo foram desdobradas e analisadas.

Analisando a velocidade do trator em função das diferentes distâncias das plantas, nota-se redução no volume do dossel quando a velocidade de deslocamento é aumentada (Tabela 5).

Tabela 5 – Volume do dossel de laranjeiras obtido pelo sensor Lidar em função das diferentes velocidades de deslocamento e distâncias do sensor ao tronco da planta.

Velocidade (km h <sup>-1</sup> )	Planta 1			Planta 2		
	Distâncias (m)			Distâncias (m)		
	2	3	4	2	3	4
2,2	1,162 aA	0,986 aB	0,997 aB	1,275 aC	1,657 aB	1,884 aA
2,9	1,040 aA	0,728 bB	0,901 aA	1,206 aB	1,258 bB	1,814 aA
4,7	1,158 aA	0,949 aB	1,019 aAB	1,261aB	1,802 aA	1,895 aA

Fonte: dados da pesquisa.

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

A velocidade de 2,9 km h<sup>-1</sup> diferiu significativamente das demais para a distância de 3 m do tronco da planta, em ambas as plantas. Nessa configuração de velocidade e distância, o volume do dossel apresentou redução de 68% para a planta 1 e de 56% para a planta 2, comparando-se os valores mensurados com o sensor Lidar com os obtidos com o método manual.

Os resultados obtidos no presente estudo diferem dos encontrados por Quirino (2014), que também trabalhando com o sensor Lidar em diferentes velocidades de avanço, na mensuração do volume de plantas de café, não encontrou diferença significativa nos valores de volumes de dossel das plantas nas velocidades estudadas, o que evidencia que a velocidade de avanço não influencia o resultado da mensuração do volume das plantas de café.

Analisando o parâmetro distância do sensor Lidar para as plantas nas diferentes velocidades, verificou-se para a planta 1 que conforme a distância aumenta ocorre diminuição moderada do volume do dossel e que a distância de 2 m proporcionou o maior valor de volume do dossel da planta de laranjeira.

Na planta 2, constatou-se que o aumento da distância resultou em maiores volumes do dossel, observados para a distância de 4 m. Essa planta apresentou as maiores irregularidades no dossel, como maiores clareiras (espaços vazios no dossel) e protuberâncias, irregularidades que podem mascarar o processo de mensuração mais fidedigno em distâncias mais próximas das plantas.

Esses efeitos de variação na mensuração do volume do dossel podem ser explicados pelo fenômeno conhecido como “efeito de borda”, que acontece quando o feixe emitido pelo sensor Lidar incide sobre a borda de uma superfície. Uma parte do laser incide sobre a borda e a outra parte passa da distância da borda, assim o laser calcula uma distância média, subestimando o valor do volume do dossel. Esse fenômeno também foi relato por Sanz-Cortiella et al. (2011) e Quirino (2014).

Comparando os resultados de volume do dossel da planta 1 com os da planta 2, constata-se a capacidade do sensor Lidar em diferenciar com clareza o volume do dossel das diferentes plantas, notando-se intervalo de diferença mais pronunciado na distância de 3 m (Tabela 6).

De acordo com Méndez et al. (2012), foi encontrada boa correlação entre os volumes das árvores e os volumes detectados pelo sensor Lidar. Os autores relataram que a boa correlação suporta a precisão de leitura do volume foliar realizada com o auxílio do Lidar.

Somente para a distância de 2 m nas velocidades de 2,2 e 4,7 km.h<sup>-1</sup> não houve diferença significativa entre os valores do volume do dossel das duas plantas.

O sensor Lidar é capaz de realizar uma varredura de 270° ao redor do ambiente. Essa varredura é feita empregando-se um conjunto da interação diodo-emissor, espelho rotativo e fotodiodo receptor.

Tabela 6 – Volume do dossel entre diferentes laranjeiras em função das velocidades de deslocamento e distâncias do Lidar ao tronco da planta.

Velocidade (km.h <sup>-1</sup> )	Distância 2 m		Distância 3 m		Distância 4 m	
	Planta 1	Planta 2	Planta 1	Planta 2	Planta 1	Planta 2
2,2	1,162 A	1,275 A	0,986 B	1,657 A	0,997 B	1,884 A
2,9	1,040 B	1,206 A	0,728 B	1,258 A	0,901 B	1,814 A
4,7	1,158 A	1,261A	0,949 B	1,802 A	1,019 B	1,895 A

Fonte: dados da pesquisa.

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha, para cada distância, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

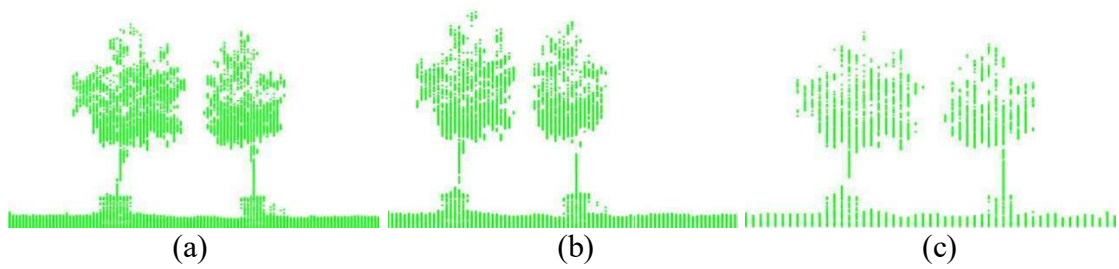
Nas Figuras 17, 18 e 19 estão as nuvens de pontos para as respectivas velocidades e distâncias utilizadas no trabalho. A nuvem de pontos foi gerada utilizando-se a resolução angular de 0,5°. Analisando uma fatia individual, constatou-se que essa configuração permitiu sua confecção com um número de 541 valores (pontos).

Nas Figuras 17(a), 18(a) e 19(a), que ilustram as menores velocidades de trabalho, observa-se o maior número de fatias nas imagens e que há concordância entre as dimensões e a forma física. A mesma concordância foi observada por Rossel et al. (2009a), quando realizaram estudos em culturas de pera, maçã, uva e citros.

Nota-se nas Figuras 17(c), 18(c) e 19(c), que ilustram as maiores velocidades de trabalho, menor número de fatias. No entanto, esse menor número de fatias não influenciou a redução do volume do dossel das plantas. Os resultados encontrados neste trabalho corroboram os obtidos por Quirino (2014). O autor também constatou que a diminuição do número de fatias em função do aumento da velocidade de trabalho não influenciou a determinação do volume de plantas de café.

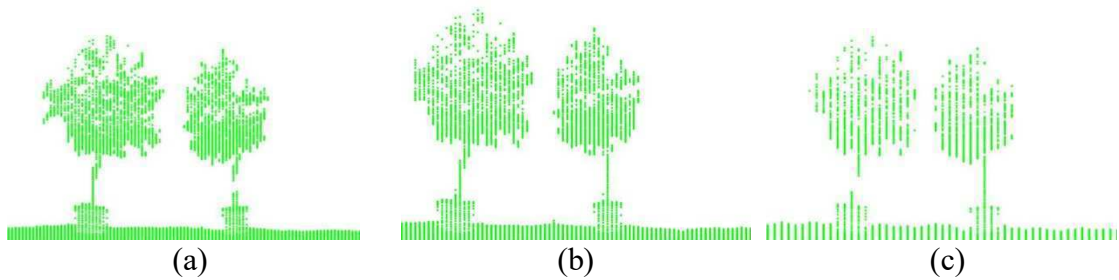
A coleta de informações sobre as características do dossel das plantas por meio da metodologia do sensoriamento remoto, incluindo a metodologia Lidar, pode melhorar a interpretação de características como o crescimento das plantas, tornando-se uma ferramenta útil para melhorar seu planejamento e gerenciamento, de forma individual, dentro de uma lavoura, além de reduzir os custos (ROSELL et al., 2009b).

Figura 17 – Nuvem de pontos caracterizando o dossel das laranjeiras (vista frontal) na combinação de velocidade de 2,2 km h<sup>-1</sup> (a), 2,9 km h<sup>-1</sup> (b) e 4,7 km h<sup>-1</sup> e distância de 2 m do sensor Lidar ao tronco da laranjeira.



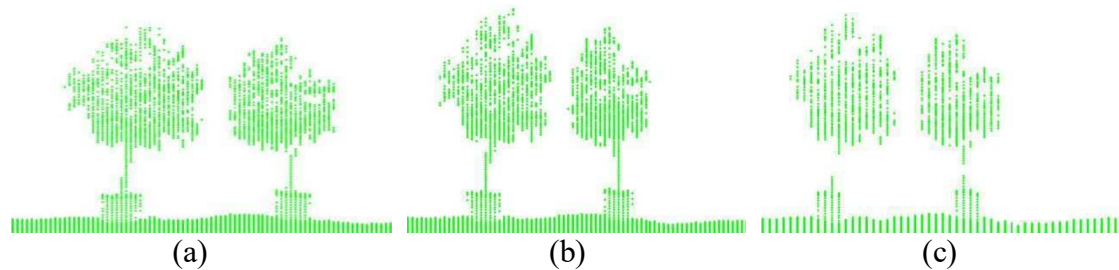
Fonte: dados da pesquisa.

Figura 18 – Nuvem de pontos caracterizando o dossel das laranjeiras (vista frontal) na combinação de velocidade de 2,2 km h<sup>-1</sup> (a), 2,9 km h<sup>-1</sup> (b) e 4,7 km h<sup>-1</sup> e distância de 3 m do sensor Lidar ao tronco da laranjeira.



Fonte: dados da pesquisa.

Figura 19 – Nuvem de pontos caracterizando o dossel das laranjeiras (vista frontal) na combinação de velocidade de 2,2 km h<sup>-1</sup> (a), 2,9 km h<sup>-1</sup> (b) e 4,7 km h<sup>-1</sup> e distância de 4 m do sensor Lidar ao tronco da laranjeira.



Fonte: dados da pesquisa.

### 4.3 Pulverização à taxa variável em tempo real na cultura do limão

Realizou-se a avaliação da deposição e perda de calda para o solo (endoderiva) e da qualidade da pulverização à taxa variável, com a intenção de analisar os diferentes índices volumétricos utilizados nas duas faixas de volume do dossel.

As condições meteorológicas no momento da pulverização foram: velocidade do vento entre 1,0 e 2,9 km h<sup>-1</sup>, umidade relativa do ar entre 64 e 87% e temperatura do ambiente no momento das pulverizações entre 25 e 29 °C.

#### 4.3.1 Características técnicas do pulverizador

##### 4.3.1.1 Volume de pulverização

A relação das pontas de pulverização empregadas na pulverização à taxa variável, suas respectivas pressões de trabalho, o índice volumétrico e o volume de pulverização por hectare, para os dois volumes do dossel dos limoeiros, estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7 – Fatores característicos das pulverizações para diferentes volume do dossel das plantas de limão-tahiti.

Volume do Dossel de Plantas 1					
Ponta de Pulverização	Pressão de Trabalho	Vazão (L min <sup>-1</sup> )	TRV (m <sup>3</sup> )	IV (mL m <sup>-3</sup> )	Volume de Pulverização/ha
MGA 8002	200 kPa	0,445	10.000	40	400
MGA 8001	500 kPa	0,555	10.000	50	500
MGA 80015	500 kPa	0,670	10.000	60	600
MGA 8002	500 kPa	0,890	10.000	80	800
Volume do Dossel de Plantas 2					
Ponta de Pulverização	Pressão de Trabalho	Vazão (L min <sup>-1</sup> )	TRV (m <sup>3</sup> )	IV (mL m <sup>-3</sup> )	Volume de Pulverização/ha
MGA 8002	300 kPa	0,530	12.000	40	480
MGA 8001	900 kPa	0,665	12.000	50	600
MGA 80015	900 kPa	0,800	12.000	60	720
MGA 8002	900 kPa	1,050	12.000	80	960

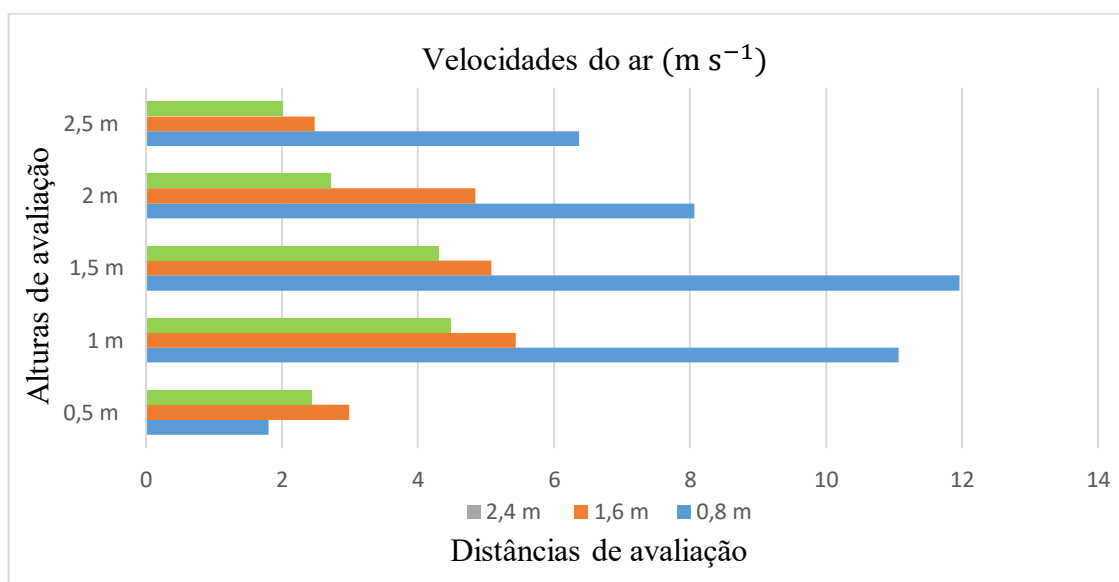
Fonte: dados da pesquisa.

#### 4.3.1.2 Velocidade do ar do ventilador do pulverizador

A avaliação da velocidade do ar foi necessária para verificar sua uniformidade nos ramais de pulverização.

Na Figura 20 estão as médias de velocidades do ar em função das distâncias e alturas avaliadas. Nota-se que na distância de 0,8 m do bocal de pulverização ocorreram os maiores valores médios de velocidade do ar, apresentando um perfil da distribuição maior no centro das distâncias avaliadas e diminuindo em direção aos bordos.

Figura 20 – Velocidade média do ar em função das diferentes distâncias dos bocais de pulverização e alturas do solo.



Fonte: dados da pesquisa.

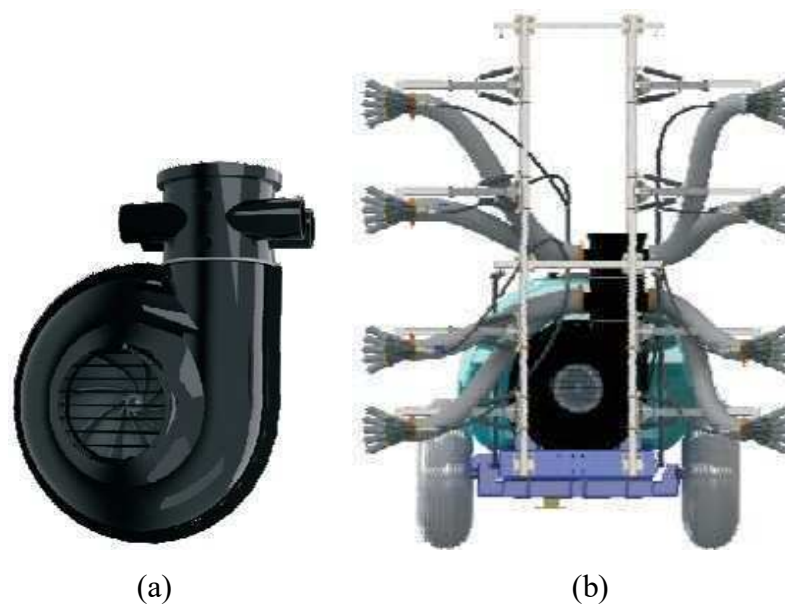
O comportamento do perfil da distribuição da velocidade do ar do pulverizador segue a mesma linha de tendência nas três distâncias avaliadas, no entanto a velocidade do ar diminui conforme a distância de avaliação aumenta.

Os resultados obtidos dos perfis da distribuição da velocidade do ar diferem dos encontrados por Rodrigues (2005), que avaliou as características aerodinâmicas de um pulverizador hidropneumático para aplicação de agroquímicos em plantas arbustivas, utilizando a mesma metodologia de avaliação adotada na presente pesquisa. Para o mesmo lado de avaliação (lado esquerdo do pulverizador), o autor constatou aumento da velocidade do ar no sentido de cima para baixo, apresentando valor de aproximadamente

de  $4 \text{ km h}^{-1}$  à altura de 2,5 m do solo, chegando a uma velocidade de  $15 \text{ km h}^{-1}$  na altura de 0,5 m do solo.

A diferença entre os resultados encontrados neste trabalho e os descritos por Rodrigues (2005) está relacionada ao tipo de ventilador que equipa os pulverizadores. O ventilador do pulverizador usado por Rodrigues (2005) foi do tipo axial, cujo fluxo de ar produzido vai de encontro a uma chapa metálica, que exerce a função de uma parede, e assim o fluxo de ar é direcionado para as laterais do pulverizador, seguindo o fluxo da pulverização feita pelos bicos hidráulicos. Já o ventilador que equipa o pulverizador utilizado na presente pesquisa foi do tipo radial, com um sistema de homogeneização da velocidade do ar que distribui o fluxo de maneira mais uniforme possível nos bocais de pulverização (Figura 21).

Figura 21 – Desenho do modelo de ventilador radial e o homogeneizador do fluxo de ar; (a) vista traseira do pulverizador hidropneumático e ventilador radial ligado aos bocais de pulverização (b).

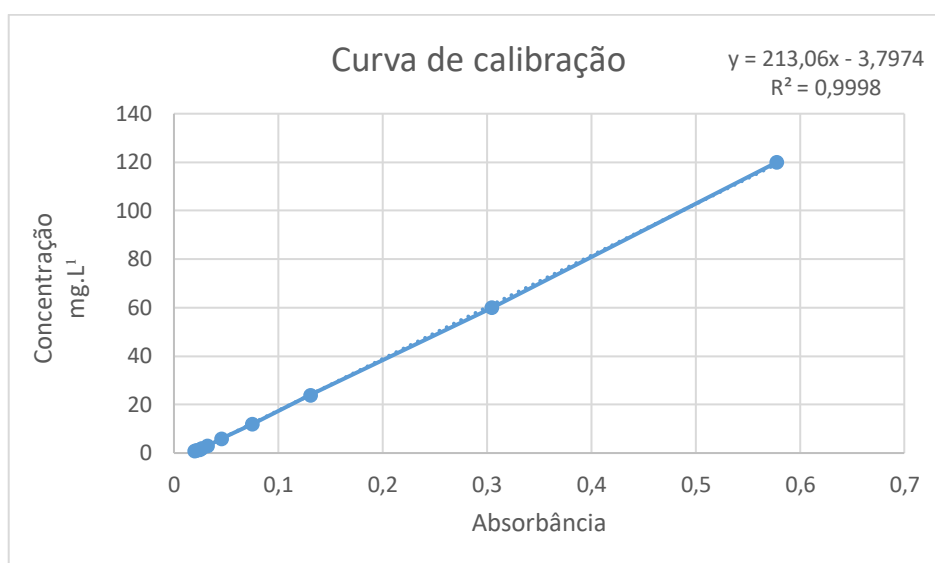


Fonte: Montana (2011).

#### ***4.3.2 Deposição de calda***

Na Figura 22 tem-se a curva de calibração obtida para concentração do marcador em função da absorvância. A partir dessa curva foi possível obter, por regressão linear simples, a seguinte equação de ajuste  $y = 0,2132x - 0,0038$ .

Figura 22 – Curva de calibração.



Fonte: dados da pesquisa.

Por meio da equação de regressão foram transformados os valores de absorbância das amostras analisadas em valores de concentração ( $\text{mg L}^{-1}$ ). Com os valores da concentração inicial de  $3.000 \text{ mg L}^{-1}$  e do volume de diluição da amostra, foi possível determinar o volume retido sobre o alvo, conforme a Equação 6.

$$C_i \times V_i = C_f \times V_f \quad \text{Equação 6}$$

em que

$C_i$  = concentração inicial do marcador na calda (ppm);

$V_i$  = volume retido pelo alvo ( $\mu\text{L}$ );

$C_f$  = concentração detectada em densidade óptica (ppm); e

$V_f$  = volume de diluição da amostra de cada planta ( $\mu\text{L}$ ).

Em relação às plantas com volume do dossel de  $1,01$  a  $1,2 \text{ m}^3$ , os fatores terços e profundidades apresentaram significância (Tabela 8).

A deposição do terço inferior foi significativa quando comparada com as dos terços médio e inferior, tendo sido 37,3 e 31,3% maior, respectivamente. O possível escorrimento dos terços acima do inferior pode ter aumentado sua deposição de forma significativa.

Tabela 8 – Valores médios de deposição da calda ( $\mu\text{L cm}^{-2}$ ) para os diferentes terços e profundidades sobre os alvos em plantas com volume do dossel de 1,01 a 1,2  $\text{m}^3$

Terço da Planta	Volume do Dossel ( $\text{m}^3$ ) de 1,01 a 1,2
Superior	0,0830 b
Médio	0,0794 b
Inferior	0,1090 a
DMS	0,01808
Profundidade	
Externa	0,0994 a
Média	0,0966 a
Interna	0,0753 b
DMS	0,0152

Fonte: dados da pesquisa.

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Dms = diferença mínima significativa.

Em relação à deposição nas diferentes profundidades, houve diferença estatística somente para a profundidade interna, que apresentou o menor valor. Esse menor valor de deposição no interior do dossel pode ser explicado pelo “efeito parede”, que é ocasionado pelas folhas mais externas, criando um obstáculo na penetração das gotas no interior do dossel da cultura.

Scapin et al. (2015), utilizando a técnica do TRV para as pulverizações em citros, com os índices volumétricos de 150, 100, 70 e 40  $\text{mL m}^{-3}$ , constataram que a deposição e, para a parte externa da planta, somente o índice volumétrico de 150  $\text{mL m}^{-3}$  diferiram estatisticamente. Já para a parte interna, houve redução da deposição quando o índice volumétrico diminuiu.

Escolà (2010) avaliou a pulverização à taxa variável em tempo real utilizando o sensor Lidar, em comparação com a pulverização convencional para a cultura da pera, e constatou que, com relação à deposição da calda pulverizada, o tratamento com a pulverização à taxa variável, apesar de ter sido utilizado menor volume de calda por hectare, não resultou em decréscimo nos níveis de depósitos.

De acordo com Silva Junior et al. (2016), a adoção da técnica do TRV representa um importante passo na produção de citros com maior sustentabilidade. Os autores demonstraram que é possível reduzir com segurança a água necessária para as pulverizações em até 40%, sem interferir no controle da mancha-preta dos citros.

Na Tabela 9 estão os valores médios de deposição da calda de pulverização em função dos diferentes índices volumétricos avaliados.

Tabela 9 – Valores médios de deposição da calda ( $\mu\text{L cm}^{-2}$ ) para os diferentes índices volumétricos nos alvos em plantas com volume do dossel de 0,8 a 1,0  $\text{m}^3$  e 1,01 a 1,2  $\text{m}^3$ .

Índices Volumétricos ( $\text{mL m}^3$ )	Volume do Dossel ( $\text{m}^3$ )	
	0,8 a 1,0	1,01 a 1,2
40	0,0698 a	0,0687 a
50	0,0849 a	0,0850 a
60	0,1614 a	0,1282 a
80	0,0947 a	0,0798 a
DMS	0,1359	0,0604

Fonte: dados da pesquisa.

Entre os índices volumétricos avaliados, o índice volumétrico de 60  $\text{mL m}^3$  foi o que apresentou o maior valor de deposição, tanto para o volume do dossel de 0,8 a 1,0  $\text{m}^3$  quanto para o volume do dossel de 1,01 a 1,2  $\text{m}^3$ .

O índice volumétrico de 80  $\text{mL m}^3$  proporcionou valores de deposição inferiores aos do índice volumétrico de 60  $\text{mL m}^3$ , para os dois volumes de plantas avaliados.

O índice volumétrico de 80  $\text{mL m}^3$  também foi o que apresentou os maiores valores de endoderiva para os dois volumes de dossel avaliados. Pode-se verificar, pelos dados obtidos, que esse índice volumétrico ultrapassou o ponto de molhamento foliar, promovendo o escorrimento da calda aplicada sobre as folhas para o solo (Tabela 10).

De acordo com Cunha et al. (2005), em geral, incrementos no volume da calda aplicada propiciam aumento na quantidade de calda retida, até certo ponto, a partir do qual a superfície tratada não mais retém o líquido. O excesso da calda que a folha não comporta escorre, o que resulta na contaminação do solo.

As pulverizações em volume alto são empregadas na cultura dos citros visando cobrir toda a superfície foliar das plantas, o que resulta em perdas por escorrimento, devido ao excesso de calda aplicada, uma vez que esta é maior do que a máxima retenção de líquido pelas folhas da planta (BARBOSA et al., 2013).

Como não houve diferença significativa entre os valores de deposição de calda da pulverização, é possível adotar o índice volumétrico de 40  $\text{mL m}^3$  para a pulverização em plantas de limão-tahiti com os volumes do dossel de 0,8 a 1,0  $\text{m}^3$  e 1,01 a 1,2  $\text{m}^3$ , o que irá influenciar a viabilidade técnica da pulverização, diminuir o consumo de água

utilizada por hectare pulverizado e aumentar a capacidade operacional do conjunto trator pulverizador, proporcionando, assim, economia de óleo diesel e aumento da quantidade de hectares tratados em virtude da diminuição das paradas para reabastecimento do tanque do pulverizador.

Estes resultados corroboram os dados alcançados por Araújo et al. (2013), que demonstram que é possível adotar menores volumes de pulverizações no tratamento fitossanitário da citricultura, sem influenciar a produção final do pomar e reduzindo os custos de produção.

#### ***4.3.3 Diâmetro da mediana volumétrica das pulverizações***

No volume do dossel de 0,8 a 1,0 m<sup>3</sup>, houve efeito significativo para a interação tripla (índices volumétricos × terços × profundidade), em relação ao diâmetro da mediana volumétrica.

Ao analisar as diferentes profundidades dentro dos terços no que se refere ao volume do dossel de 0,8 a 1,0 m<sup>3</sup>, constata-se que houve diferença significativa entre as profundidades para o terço inferior, nos índices volumétricos de 40 e 80 mL m<sup>-3</sup> (Tabela 10).

De acordo com o resultado, constata-se o poder de penetração das gotas finas, tendo os menores valores de DMV sido obtidos na profundidade interna. Sendo assim, em virtude da densidade de folhas do dossel do limoeiro, somente as gotas de menor diâmetro conseguem superar o “efeito barreira” e atingir o interior do dossel das plantas de limão.

Os diâmetros da mediana volumétrica verificados no presente trabalho corroboraram os encontrados por Escolà et al. (2013). Os autores, ao trabalharem com um sistema de pulverização à taxa variável em função do volume dossel de plantas frutíferas, relataram um diâmetro da mediana volumétrica de 156,20 µm, a uma pressão variando de 0 a 8 bar, com uma ponta do tipo cônica, marca Albus, modelo ATR, cor laranja.

Estudando os diferentes índices volumétricos dentro de cada terço, constata-se que houve efeito significativo. O índice volumétrico de 40 mL m<sup>3</sup> apresentou os maiores valores de DMV. Nesse índice foi utilizada uma pressão de trabalho de 200 kPa, pressão essa menor que a do índice volumétrico de 80 mL m<sup>3</sup>, trabalhando à pressão de 500 kPa. Desta maneira, é possível notar a influência da pressão de trabalho no diâmetro das gotas produzidas pelas pontas de pulverização.

Tabela 10 – Desdobramento da interação índices volumétricos x terços x profundidades para o diâmetro da mediana volumétrica (DMV) em plantas com volume do dossel de 0,8 a 1,0 m<sup>3</sup>

Índices Volumétricos (mL m <sup>3</sup> )	Terço Superior			Terço Médio			Terço Inferior		
	Externa	Média	Interna	Externa	Média	Interna	Externa	Média	Interna
40	144,99Aa	158,96Aa	134,45Aa	162,97Aa	141,27Aa	128,13Aa	202,74Aa	145,46Aa	127,05 Ba
50	129,63Aa	106,48Ab	104,88Aa	118,33Ab	109,67Aa	121,67Aa	116,95Ab	115,05Ab	106,88Aa
60	141,23Aa	128,96Aab	114,51Aa	129,42Aa	131,11Aa	125,91Aa	125,81Aa	121,60 Aa	112,70Aa
80	115,62Ab	101,62Ab	103,75Aa	105,06Ab	97,51Aa	90,39Aa	134,02Ba	122,57ABa	89,55Ab

Fonte: dados da pesquisa.

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

Esperava-se que com o aumento da vazão dos modelos das pontas de pulverização ocorresse o aumento do diâmetro das gotas, que é verificado nas gotas produzidas pelas pontas de pulverização entre os índices volumétricos de 50 e 60 mL m<sup>3</sup>. No entanto, a mesma tendência de aumento de diâmetro das gotas não foi verificada no índice volumétrico de 80 mL m<sup>3</sup>, pois pode ter ocorrido interação entre as gotas produzidas por esse índice volumétrico e o fluxo de ar do ventilador radial do pulverizador. O fluxo de ar do ventilador pode ter atuado de maneira mais pronunciada na fragmentação das gotas, gerando, assim, gotas de menor diâmetro.

Boller e Raetano (2011) ressaltaram que a variação da pressão sobre o líquido pode afetar a qualidade da pulverização, uma vez que ela pode ser uma ferramenta para obter a taxa de aplicação desejada, ao mesmo tempo que também influencia a qualidade da pulverização pela mudança no tamanho das gotas.

Houve diferença significativa entre os terços na profundidade externa, utilizando o índice volumétrico de 40 mL m<sup>3</sup>, e na profundidade interna, utilizando o índice volumétrico de 80 mL m<sup>3</sup> (Tabela 11).

Estudando o volume do dossel de 1,01 a 1,2 m<sup>3</sup>, verificou-se interação entre índices volumétricos e terços (Tabela 12), tendo sido detectada diferença significativa entre os terços no índice volumétrico de 40 mL m<sup>3</sup>.

Analisando os índices volumétricos, constatou-se diferença significativa no terço médio, no qual o índice volumétrico de 40 mL m<sup>3</sup> apresentou diferença estatística em relação aos índices volumétricos de 50 e 80 mL m<sup>3</sup>.

Os resultados demonstram a influência da pressão de trabalho das pontas de pulverização no diâmetro da mediana volumétrica, uma vez que o índice volumétrico de 40 mL m<sup>3</sup> foi pulverizado com a pressão de 300 kPa, pressão inferior à de 900 kPa dos demais índices volumétricos.

Diferenças no diâmetro da mediana volumétrica em função da variação da pressão do líquido em pontas do tipo jato cônico vazio também foram detectadas (VITÓRIA et al., 2014).

Tabela 11 – Desdobramento da interação índices volumétricos x profundidades x terços para o diâmetro da mediana volumétrica (DMV) em plantas com volume do dossel de 0,8 a 1,0 m<sup>3</sup>

Índices Volumétricos (mL m <sup>3</sup> )	Profundidade Externa			Profundidade Média			Profundidade Interna		
	Terço Superior	Terço Médio	Terço Inferior	Terço Superior	Terço Médio	Terço Inferior	Terço Superior	Terço Médio	Terço inferior
40	144,99A	162,97A	202,74B	158,96A	141,27A	145,46A	134,45A	128,13A	127,05A
50	129,63A	118,33A	116,95A	106,48A	109,67A	115,05A	104,88A	121,67A	106,88A
60	141,23A	129,42A	125,81A	128,96A	131,11A	121,60A	114,51A	125,91A	112,70A
80	115,62A	105,06A	134,02A	101,62A	97,51A	122,57A	103,75AB	90,39B	89,55A

Fonte: dados da pesquisa.

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha, para cada profundidade, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 12 – Desdobramento da interação dupla (índices volumétricos x terços) para o diâmetro da mediana volumétrica (DMV) em plantas com volume do dossel de 1,01 a 1,2 m<sup>3</sup>

Índices Volumétricos (mL m <sup>3</sup> )	Terços		
	Superior	Médio	Inferior
40	111,29 aB	136,34 aA	104,36 aB
50	105,30 aA	107,80 bA	103,64 aA
60	105,76 aA	121,38 abA	105,54 aA
80	96,80 aA	100,66 bA	115,49 aA

Fonte: dados da pesquisa.

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade.

#### 4.3.4 Amplitude relativa

Observa-se efeito significativo para a interação dupla índices volumétricos x terços, para o volume do dossel de 0,8 a 1,0 m<sup>3</sup> (Tabela 13).

Tabela 13 – Desdobramento da interação dupla (índices volumétricos x terços) para a amplitude relativa em plantas com volume do dossel de 0,8 a 1,0 m<sup>3</sup>

Índices Volumétricos (mL m <sup>3</sup> )	Terços		
	Superior	Médio	Inferior
40	1,08 aA	1,00 abA	1,21 aA
50	0,93 aA	0,98 abA	0,94 abA
60	1,03 aA	1,17 aA	0,98 abA
80	1,13 aA	0,81 bB	0,70 bB

Fonte: dados da pesquisa.

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade.

A amplitude relativa apresentou diferença significativa entre os terços avaliados no índice volumétrico de 80 mL m<sup>3</sup>. Houve diferença significativa entre os índices volumétricos para os terços médio e inferior, tendo os menores valores de amplitude relativa sido verificados no índice volumétrico de 80 mL m<sup>3</sup>.

A amplitude relativa representa a homogeneidade das gotas produzidas durante uma pulverização, devendo ser ressaltado que para obter melhor homogeneidade das gotas são necessários menores valores da amplitude relativa.

Souza Júnior (2016), avaliando diferentes índices volumétricos de pulverização para o cafeeiro, constatou que a amplitude relativa foi menor com o maior índice volumétrico de pulverização.

De acordo com Reis et al. (2010), espectro de gotas homogêneo tem valor de amplitude relativa tendendo a zero. Os valores de amplitude relativa e DMV devem ser analisados conjuntamente para a caracterização da pulverização. Isoladamente, o DMV fornece um valor de referência, sem indicar a dispersão dos dados em torno da média.

#### 4.3.5 Cobertura

Estudando o parâmetro de avaliação porcentagem de cobertura de plantas com volume do dossel de 0,8 a 1,0 m<sup>3</sup>, verifica-se que houve efeito significativo para a interação dupla entre os terços e as profundidades.

Com base no desdobramento da interação dupla (terços x profundidade) apresentado no Tabela 14, constata-se diferença significativa entre as profundidades dentro do terço inferior.

Tabela 14 – Desdobramento da interação dupla (terços × profundidade) para a cobertura da pulverização em plantas com volume do dossel de 0,8 a 1,0 m<sup>3</sup>

Terço	Profundidade		
	Externa	Média	Interna
Superior	16,17 aA	14,31 aA	13,01 aA
Médio	17,15 aA	13,79 aA	13,19 aA
Inferior	17,65 aA	12,76 aB	11,83 aB

Fonte: dados da pesquisa.

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade.

Devido à maior largura do dossel em relação ao terço inferior, cria-se um obstáculo maior para a penetração das gotas no interior do dossel dos limoeiros. Assim, somente gotas de tamanho menor e em baixas quantidades conseguem atingir esse ponto. A associação dos fatores baixa quantidade de gotas e gotas de tamanho menor irá resultar em reduzido valor de porcentagem de cobertura.

Na Tabela 15 tem-se o desdobramento da interação dupla (índices volumétricos x terços) para a cobertura da pulverização referente ao volume de dossel de 1,01 a 1,2 m<sup>3</sup>.

Tabela 15 – Desdobramento da interação dupla (índices volumétricos x terços) para a cobertura da pulverização em plantas com volume do dossel de 1,01 a 1,2 m<sup>3</sup>

Índices Volumétricos (mL m <sup>3</sup> )	Terços		
	Superior	Médio	Inferior
40	13,37 aA	13,22 abA	12,38 aA
50	11,63 aA	9,28 bA	8,36 aA
60	13,04 aA	14,81 aA	10,22 aA
80	16,95 aA	10,34 aB	8,25 aB

Fonte: dados da pesquisa.

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade.

Constatou-se diferença significativa entre os terços em que foi utilizado o índice volumétrico de 80 mL m<sup>3</sup>, com o terço inferior apresentando o menor valor de cobertura.

Entre os índices volumétricos, verifica-se diferença significativa no terço médio, no qual o índice volumétrico de 50 mL m<sup>3</sup> apresentou o menor valor de cobertura.

O menor índice volumétrico em estudo proporcionou os maiores valores de porcentagem de cobertura nos dois volumes de plantas estudados, o que demonstra maior eficiência do índice 40 mL m<sup>3</sup> em relação aos outros índices volumétricos.

Jeon e Zhu (2011), avaliando a utilização do sensor ultrassônico para pulverização à taxa variável, constataram que a variação na porcentagem de cobertura foi de 1,9 a 41,1% e 1,8 a 34,7% para aplicações à taxa variável e constantes, respectivamente.

Scapin et al. (2015), ao trabalharem com pulverização utilizando a técnica do TRV em citros, relataram que a variação dos índices volumétricos de pulverização não refletiu em diferenças significativas na cobertura na parte externa da planta. Entretanto, quando a parte interna da planta foi considerada, houve maiores valores de cobertura nos maiores índices volumétricos de pulverização.

O local de ocorrência e o grau de infestação e de movimentação das pragas têm grande interferência no tratamento fitossanitário, cuja eficácia depende da distribuição do produto pela copa das plantas. Pragas que se movimentam menos necessitam de maior cobertura da área-alvo pelas gotas, a fim de aumentar a probabilidade de contaminação do organismo-alvo com as moléculas do produto fitossanitário aplicado (CARVALHO, 2014).

#### **4.3.6 Densidade de gotas**

Verificou-se efeito significativo da interação tripla entre índices volumétricos × terços × profundidade sobre a densidade de gotas avaliadas em plantas com volume do dossel de 0,8 a 1,0 m<sup>3</sup>.

Houve diferença significativa entre as profundidades no terço superior nos índices volumétricos de 50 e 60 mL m<sup>3</sup> e no terço inferior no índice volumétrico de 50 mL m<sup>3</sup> (Tabelas 16 e 17).

Observa-se diferença significativa entre os índices volumétricos de 60 e 80 mL m<sup>3</sup> na maioria das profundidades dentro dos terços.

O pior resultado de densidade de gotas obtido com o índice volumétrico de 80 mL m<sup>3</sup> pode estar associado aos fenômenos de perda das gotas ocasionados por deriva e/ou evaporação produzidas nesse índice volumétrico, que apresentaram valores de DMV no intervalo de 134 a 89 µm, diâmetro de gotas suscetível aos fenômenos de perda mencionados.

Thomson e Lyn (2011) e Maciel et al. (2017) relataram o efeito das condições meteorológicas como fatores cruciais que influenciam negativamente a evaporação das gotas em função do diâmetro das gotas.

Os resultados de densidade de gotas obtidos são um indicativo de que índices volumétricos menores que os utilizados nesta pesquisa terão resultados satisfatórios, o que contribui para uma aplicação mais sustentável de produtos fitossanitários e proporciona ao produtor de citros incrementos nos rendimentos operacionais das máquinas de pulverização, resultando, conseqüentemente, em melhorias no sistema de produção e maiores retornos econômicos.

Tabela 16 – Desdobramento da interação índices volumétricos × terços × profundidades para a densidade de gotas em plantas com volume do dossel de 0,8 a 1,0 m<sup>3</sup>

Índices Volumétricos (mL m <sup>3</sup> )	Terço Superior			Terço Médio			Terço Inferior		
	Profundidade Externa	Profundidade Média	Profundidade Interna	Profundidade Externa	Profundidade Média	Profundidade Interna	Profundidade Externa	Profundidade Média	Profundida de Interna
40	589,00Aa	568,75Aab	591,50Aa	554,25Aab	463,00Aab	584,00Ab	698,00Ab	586,75Ab	631,25Ab
50	731,50Ba	523,75ABab	491,50Aa	662,50Aab	611,25Aabc	647,75Ab	810,00Bb	436,25Aab	507,00Aab
60	771,50Ba	717,00ABb	525,50Aa	714,25Ab	780,25Ac	689,75Ab	640,75Ab	617,50Ab	517,25Aab
80	549,75Aa	409,50Aa	428,00Aa	443,75Aa	352,75Aa	286,00Aa	230,75Aa	297,25Aa	243,75Aa

Fonte: dados da pesquisa.

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

Tabela 17 – Desdobramento da interação índices volumétricos × profundidades × terços do parâmetro densidade de gotas em plantas com volume do dossel de 0,8 a 1,0 m<sup>3</sup>

Índices Volumétricos (mL m <sup>3</sup> )	Profundidade Externa			Profundidade Média			Profundidade Interna		
	Terço Superior	Terço Médio	Terço Inferior	Terço Superior	Terço Médio	Terço Inferior	Terço Superior	Terço Médio	Terço Inferior
40	589,00 B	554,25 A	698,00 B	568,75 A	463,00 A	586,75 A	591,50 A	584,00 A	631,25 A
50	731,50 A	662,50 A	810,00 A	523,75 A	611,25 A	436,25 A	491,50 A	647,75 A	507,00 A
60	771,50 A	714,25 A	640,75 A	717,00 A	780,25 A	617,50 A	525,50 A	689,75 A	517,25 A
80	549,75B	443,75 AB	230,75 A	409,50 A	352,75 A	297,25 A	428,00 A	286,00 A	243,75 A

Fonte: dados da pesquisa.

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

Na Tabela 18, tem-se o desdobramento da interação dupla (terços x profundidade) para a densidade de gotas da pulverização no volume do dossel de 1,01 a 1,2 m<sup>3</sup>.

O desdobramento da interação dupla (terços x profundidade), para avaliar a densidade de gotas da pulverização no volume do dossel de 1,01 a 1,2 m<sup>3</sup>, mostra diferença significativa entre as profundidades apenas dentro dos terços superior e médio (Tabela 18).

Tabela 18 – Desdobramento da interação dupla (terços × profundidade) para a densidade de gotas da pulverização em plantas com volume do dossel de 1,01 a 1,2 m<sup>3</sup>

Terço	Profundidade		
	Externa	Média	Interna
Superior	625,93 Aab	537,18 ABab	495,75 Ba
Médio	660,06 Aa	566,93 ABa	502,06 Ba
Inferior	524,31 Ab	454,37 Ab	502,87 Aa

Fonte: dados da pesquisa.

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

A profundidade externa apresenta os maiores valores de densidade de gotas, fato decorrente do fenômeno conhecido como “efeito barreira”, provocado pelo arranjo das folhas do dossel dos limoeiros.

Estudando o efeito dos terços dentro de cada profundidade, constata-se diferença significativa entre os terços médio e interno apenas nas profundidades externa e média (Tabela 18), tendo o terço médio apresentado os maiores valores de densidade de gotas.

De acordo com Santos (2006), para culturas arbustivas tem-se uma recomendação de densidade de gotas para fungicidas de contato de 60 a 70 gotas cm<sup>-2</sup>, para fungicidas sistêmicos de 40 a 60 gotas cm<sup>-2</sup> e para inseticidas/acaricidas no mínimo de 40 gotas cm<sup>-2</sup>.

Em todos os volumes do dossel de plantas e nas diferentes combinações de índices volumétricos, terços e profundidades estudados na presente pesquisa, foram obtidos valores de densidade de gotas bem acima dos recomendados por Santos (2006).

Portanto, mais estudos relacionados à determinação de índices volumétricos de pulverização para os volumes do dossel adotados nesta pesquisa devem ser realizados, com o intuito de avaliar índices volumétricos menores, uma vez que nesta pesquisa foram detectados valores de densidade de gotas cinco a nove vezes superiores ao recomendado por Santos (2006), em comparação com a menor densidade de gotas obtidas no índice

volumétrico de 80 mL m<sup>3</sup> no volume do dossel de plantas de 0,8 a 1,0 m<sup>3</sup>, e valores dez a 11 vezes superiores ao volume do dossel de plantas de 1,01 a 1,2 m<sup>3</sup>.

#### 4.3.7 Endoderiva

Verifica-se efeito significativo, para os diferentes índices volumétricos, sobre a deposição de calda nos alvos artificiais colocados no solo sob a projeção do dossel para coleta da endoderiva nos volumes do dossel das plantas de 0,8 a 1,0 m<sup>3</sup> e de 1,01 a 1,2 m<sup>3</sup> (Tabela 19).

Tabela 19 – Valores médios de deposição da calda (μL cm<sup>-2</sup>), para os diferentes índices volumétricos, sobre os alvos artificiais colocados no solo para coleta da endoderiva em plantas com volume do dossel de 0,8 a 1,00 m<sup>3</sup> e de 1,01 a 1,2 m<sup>3</sup>

Índices Volumétricos (mL m <sup>3</sup> )	Volume do Dossel	
	0,8 a 1,0 m <sup>3</sup>	1,01 a 1,2 m <sup>3</sup>
40	0,0165 b	0,0119 a
50	0,0304 ab	0,0123 a
60	0,0319 ab	0,0445 ab
80	0,0353 a	0,0570 b
DMS	0,1680	0,0321

Fonte: dados da pesquisa.

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Dms = diferença mínima significativa.

Analisando o volume do dossel de 0,8 a 1,00 m<sup>3</sup>, verifica-se diferença significativa entre os índices volumétricos. A deposição de calda sobre os alvos artificiais (endoderiva) proporcionada pelo índice volumétrico de 80 mL m<sup>3</sup> foi significativamente maior, 53, 14 e 10%, respectivamente, que a dos índices volumétricos de 40, 50 e 60 mL m<sup>3</sup>.

Estudando o volume do dossel de 1,01 a 1,2 m<sup>3</sup>, constatou-se que o índice volumétrico de 80 mL m<sup>3</sup> resultou em maior porcentagem de deposição de calda sobre os alvos artificiais, 22, 78 e 79%, comparado aos índices volumétricos de 40, 50, 60 mL m<sup>3</sup>, respectivamente.

O pior resultado de endoderiva verificado demonstra que o índice volumétrico de 80 mL m<sup>3</sup> ultrapassou o ponto de molhamento foliar em relação aos dois volumes de dossel, ou seja, com esse índice volumétrico o escoamento da calda de pulverização

ocorrerá, fazendo com que parte do líquido depositado sobre as folhas seja perdida para o solo, culminando no aumento da contaminação do solo e de águas subterrâneas.

Os dados de endoderiva do presente trabalho corroboram os obtidos por Veliz (2007), que avaliou dois sistemas de pulverização em citros e detectou maiores valores de endoderiva para o sistema de pulverização com maior volume de pulverização.

Esses dados confirmam a diminuição da deposição da calda de pulverização sobre as folhas dos limoeiros, utilizando o índice volumétrico de  $80 \text{ mL m}^3$ .

## 5. CONCLUSÃO

O sensor Lidar é capaz de mensurar e diferenciar o volume do dossel de laranjeiras, utilizando a combinação de velocidade de 2,9 km h<sup>-1</sup> e distância de 3 m do tronco da planta.

O sensor Lidar demonstra potencial para auxiliar na determinação do volume de pulverização.

O índice volumétrico de 60 mL m<sup>3</sup> apresentou os resultados mais promissores em relação à deposição de calda, e as menores perdas por endoderiva foram constatadas no índice volumétrico de 40 mL m<sup>3</sup>.

O índice volumétrico de 40 mL m<sup>3</sup> apresentou os melhores valores de diâmetro da mediana volumétrica, cobertura e densidade de gotas. Os melhores resultados de amplitude relativa foram obtidos no índice volumétrico de 80 mL m<sup>3</sup>.

A pulverização à taxa variável em citros com o auxílio do sensor Lidar demonstra uma nova técnica de aplicação de produtos fitossanitários que terá como benefício para a sociedade a redução da contaminação do meio ambiente, devido à utilização do volume de pulverização adequado e individualizado para cada planta, diminuindo as perdas dos produtos aplicados, o volume de água consumido por aplicação e os custos de produção, viabilizando a citricultura mais sustentável e competitiva.

Novas pesquisas devem ser realizadas na tentativa de conseguir trabalhar a pulverização à taxa variável em duas linhas de cultivos de citros de forma simultânea, o que aumentaria de maneira significativa a capacidade operacional da pulverização à taxa variável em citros com o auxílio do sensor Lidar.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADELL, P. C. **Mecanización de métodos de control de *Ceratitis capitata* (Wiedemann) en cítricos**. 2007. 246 f. (*Tesis Doctoral*) – Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2007.

AGRIANUAL 2016. **Anuário estatístico da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2016. p. 241-269.

ALVARENGA, C. B. **Automatização de um pulverizador hidropneumático visando o controle do espectro de gotas em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar**. 2012. 128 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

ANDRADE, D. J.; FERREIRA, M. C.; MARTINELLI, N.M. **Aspectos da Fitossanidade em Citros**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014. 265p.

ARNÓ J.; ESCOLÀ, A.; VALLÈS, J. M. et al. Leaf area index estimation in vineyards using a ground-based LiDAR scanner. **Precis. Agric.**, v. 14, p. 290-306, 2013.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL (ANDEF). **Manual de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**. Campinas: Linea Criativa, 2012. 76 p.

AUAT CHEEIN, F. A.; GUIVANT, J.; SANZ, R. et al. Real-time approaches for characterization of fully and partially scanned canopies in groves. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 118, p. 361-371, 2015. Disponível em: [Khttps://doi.org/10.1016/j.compag.2015.09.017](https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.09.017)>. Acesso em: 18 out. 2016.

ARAÚJO, D.; RAETANO, C. G.; RAMOS, H. H. et al. Interferência da redução no volume de aplicação sobre o controle da mancha-preta (*Guignardia citricarpa* Kiely) em frutos de laranja 'Valência'. **Summa Phytopathologica**, v. 39, p. 172-179, 2013.

BAIO, F. H. R. **Aplicação localizada de defensivos baseada na variabilidade espacial das plantas daninhas**. 2001. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

BALASTREIRE, L. A. **O estado da arte da agricultura de precisão no Brasil**. Piracicaba: L. A. Balastreire, 2000. 224 p.

BARBOSA, G. F.; NAIS, J.; FERREIRA, M. C. Estimativa da área e capacidade de retenção foliar de calda em citros. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1226-1231, 2013.

BOLLER, W.; RAETANO, C. G. Bicos e pontas de pulverização de energia hidráulica, regulagem e calibração de pulverizadores de barra. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (Org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2011, p. 51-80.

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

- CARVALHO, G. F. G. **Aplicação de produtos fitossanitários na cultura dos citros utilizando pulverizador envolvente**. 2014. 77 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2014.
- CHEN, Y.; ZHU, H.; OZKAN, H. E. Development of LIDAR-guided sprayer to synchronize spray outputs with canopy structures. **Asabe**, n. 11, p.1-7, 2011.
- CUNHA, J. P. R.; TEIXEIRA, M. M. Escolha a dedo. **Cultivar Máquinas**, n. 18, p.8-11, 2003.
- CUNHA, J. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, R. F.; FERNANDES, H. C. Deposição e deriva de calda fungicida aplicada em feijoeiro, em função de bico de pulverização e de volume de calda. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 133-138, 2005.
- DELLA VECHIA, J.; F. **Interação entre produtos fitossanitários no manejo de *brevipalpus yothersi* e *diaphorina citri* na cultura dos citros**. 2017. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2017.
- DEWDNEY, M. M.; SCHUBERT, T. S.; ESTES, M. R.; ROBERTS, P. D.; PERES, N. A. **Florida citrus pest management guide: Citrus black spot series of the plant pathology department**. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 2015. p. 279. Disponível em: <<http://edis.ifas.ufl.edu>>. Acesso em: 19 out.2015.
- DU, S.; KANG, S.; LI, F.; DU, T. Water use efficiency is improved by alternate partial root-zone irrigation of apple in arid northwest China. **Agric. Water Manag.**, v. 179, p. 184-192, 2017.
- ESCOLÀ, A. **Method for real-time variable rate application of plant protection products in precision horticulture/fructiculture**. 2010. 480 F. Thesis (Doctorate in Engineering Agroforestry) – Universitat de Lleida, Lérida, ES-CT, 2010.
- ESCOLÀ, A.; POLO, J. R. R.; PLANAS, S.; G. E.; POMAR, J.; CAMP, F.; LLORENS, J.; SOLANELLES, F. Variable rate sprayer. Part 1 – Orchard prototype: Design, implementation and validation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 95, p.122-135, 2013.
- FIEBER, D. K.; DAVENPORT, I. J.; FERRYMAN, J. M. Analysis of full-waveform LiDAR data for classification of an orange orchard scene. **ISPRS J. Photogram. And Remte Sensing**, v. 82, p. 63-82, 2013.
- GIL, E. LLORENS, J.; LANDERS, A. et al. Field validation of dosaviña, a decision support system to determine the optimal volume rate for pesticide application in vineyards. **European Journal of Agronomy**, v. 35, n. 1, p.33-46, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2011.03.005>>. Acesso em: 23 jul. 2015.
- HERMOSÍN, M. C.; CALDERON, M. J.; REAL, M. J. Cornejo impact of herbicides used in olive groves on waters of the Guadalquivir River basin (southern Spain). **Agric. Ecosyst. Environ.**, v. 164, p. 229-243, 2013.

- HILL, A.; BRESCHAN, J.; MANDALLAZ, D.; Accuracy Assessment of Timber Volume Maps Using Forest Inventory Data and lidar Canopy Height Models. **Forests**, v. 5, p. 2253-2275, 2014.
- HOSOI, F.; NAKABAYASHI, K.; OMASA, K. 3-D Modeling of tomato canopies using a high-resolution portable scanning lidar for extracting structural information. **Sensors**, v. 11, p. 2166-2174, 2011.
- JEON, H. Y.; ZHU, H. Ultrasonic sensor controlled sprayer for variable rate liner applications. **Journal of Biosystems Engineering**, v. 36, n. 1, p. 15-22, 2011.
- KÖPPEN, W. **Climatologia como un estudio de los climas de tierra**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478 p.
- LEE, K. H.; EHSANI, R. A laser scanner based measurement system for quantification of citrus tree geometric characteristics. **Appl. Eng. Agric.**, v. 25, n. 5, p. 777-788, 2009.
- LI, L.; HE, X.; SONG, J.; LIU, Y.; WANG, Z.; LI, J.; JIA, X.; LIU, Z. Comparative experiment on profile variable rate spray and conventional air assisted spray in orchards. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering** v. 33, p. 56-63, 2017.
- LOPES, J. M. S.; DÉO, T. F. G.; ANDRADE, B. J. M.; GIROTO, M. Importância econômica do citros no Brasil. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 10, n. 20, p.1-4, 2011.
- LLORENS, J.; GIL, E.; LLOP, J. et al. Variable rate dosing in precision viticulture: Use of electronic devices to improve application efficiency. **Crop Protection**, v. 29, n. 29, p. 239-248, 2010.
- LLORENS, J.; GIL, E.; LLOP, J. et al. Ultrasonic and LIDAR sensors for electronic canopy characterization in vineyards: Advances to improve pesticide application methods. **Sensors**, v. 11, n. 2, p. 2177-2194, 2011.
- MACIEL, C. F. S.; TEIXEIRA, M. M.; ZOLNIER, S. et al. Sprayed liquid loss due to evaporation in different psychrometric conditions. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, p. 244-250, 2017.
- MAGGIONE, C. S. Planejamento e custo citrícola. *Citricultura Atual*, v. 1, n. 5, p. 6, 1998.
- MAGNUSSEN, S.; NAESSET, E; GOBAKKEN, T.; FRAZER, G. A fine-scale model for area-based predictions of tree-size-related attributes derived from LiDAR canopy heights Scandinavian. **Journal of Forest Research**, v. 27, p. 312-322, 2012.
- MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal, Funep, 1990. 130 p.
- MÉNDEZ, V.; CATALÁN, H.; ROSELL, JR.; ARNÓ, J.; SANZ, R.; TARQUIS, A. SIMLIDAR - Simulation of LIDAR performance in artificially simulated orchards. **Biosystems Engineering** v. 111, p. 72-82, 2012.

- MÉNDEZ, V.; ROSELL-POLO, J.; SANZ, R. Deciduous tree reconstruction algorithm based on cylinder fitting from mobile terrestrial laser scanned point clouds. **Biosyst. Eng.**, v. 124, p. 78-88, 2014.
- MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. Viçosa. Aprenda Fácil, 2010. 588 p.
- MIRANDA-FUENTES, A.; RODRÍGUEZ-LIZANA, A.; GIL, E. et al. Influence of liquid-volume and airflow rates on spray application quality and homogeneity in super-intensive olive tree canopies. **Sci. Total Environ.**, v. 537, p. 250-259, 2015.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- MONTANA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS LTDA. **Twister mãozinha**. Manual do proprietário. 2011. Disponível em: <[www.montana.ind.br](http://www.montana.ind.br)>. Acesso em: 18 jul. 2016.
- PALLADINI, L. A. **Metodologia para avaliação da deposição em pulverizações**. 2000. 111 f. Tese (Doutorado em Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.
- PALACE, M.; SULLIVAN, F.; DUCEY, M.; TREUHAFT, R.; HERRICK, C.; SHIMBO, J.; MOTA, J. Estimating forest structure in a tropical forest using field measurements, a synthetic model and discrete return lidar data **Remote Sensing of Environment**, v. 161, p.1-11, 2015.
- PFEIFFER, S. A.; GUEVARA, J.; AUAT CHEEIN, F.; SANZ, R. Mechatronic terrestrial LiDAR for canopy porosity and crown surface estimation. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 146, p. 104-113, 2018.
- PFEIFER, N.; GORTE, B.; WINTERHALDER, D. Automatic reconstruction of single trees from terrestrial laser scanner data. In: IAPRS, Istanbul, Turkey, v. XXXV, p. 114-119, 2004.
- PHATTARALERPHONG, J.; SINOQUET, H. A method for 3D reconstruction of tree canopy volume from photographs: assessment from 3D digitised plants. **Tree Physiology**. v.25, p. 1229-1242. 2005.
- PASCUZZI, S.; CERRUTO, E.; MANETTO, G. Foliar spray deposition in a “tendone” vineyard as affected by airflow rate, volume rate and vegetative development. **Crop Prot.**, v. 91, p 34-48, 2017.
- QUIRINO, A. L. S. **Volume foliar de plantas arbóreas com sensor laser na aplicação de agrotóxico**. 2014. 55 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) –Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014. Disponível em: <<http://locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/785/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 ago. 2015.
- 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. p. 15-26.

- RAMOS, H. H.; YANAI, K.; ARAÚJO, D. et al. Estado da arte na tecnologia de aplicação em frutíferas – volume de aplicação e diâmetro de gotas. **Summa Phytopathologica**, v.33, p. 110-112, 2007a. [supl.].
- RAMOS, H. H.; YANAI, K.; CORRÊA, I. M. et al. Características da pulverização em citros em função do volume de calda aplicado com turbopulverizador. **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 56-65. jan. 2007b. [Edição especial].
- RAUMONEN, P.; KAASALAINEN, M.; AKERBLOM, M. Fast automatic precision tree models from terrestrial laser scanner data. **Remote Sens.**, v. 5, n. 2, p. 491-520, 2013.
- REIS, E. F.; QUEIROZ, D. M.; CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, S. M. F. Qualidade da aplicação aérea líquida com uma aeronave agrícola experimental na cultura da soja (*Glycine Max L.*). **Engenharia Agrícola**, [s.l.], v. 30, n. 5, p. 958-966, 2010.
- ROBLES-MOLINA, J.; GILBERT-LÓPEZ, B.; GARCÍA-REYES, J. F. Monitoring of selected priority and emerging contaminants in the Guadalquivir River and other related surface waters in the province of Jaén South East Spain. **Sci. Total Environ.**, v. 479-480, p. 247-257, 2014.
- RODRIGUES, G. J. **Crítérios rastreáveis na aplicação de inseticida no controle do bicho mineiro do cafeeiro**. 2005. 118 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- ROSELL, J. R.; LLORENS, J.; SANZ, R. et al. Obtaining the three-dimensional structure of tree orchards from remote 2D terrestrial LIDAR scanning. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, p. 1505-515, 2009a.
- ROSELL, J. R.; SANZ, R.; LLORENS, J. et al. 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, 2009b.
- ROSELL, J. R.; SANZ, R. A review of methods and applications of the geometric characterization of tree crops in agricultural activities. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 81, p. 124-141, 2012.
- SANTOS, J. M. F. Princípios básicos na aplicação de agrotóxicos. **Visão Agrícola**, v. 6, p. 59-63, 2006.
- SANTOS, C. F. F.; OLIVEIRA, M. V. M.; FERRAZ, G. A. S. et al. Desenvolvimento de um sistema de controle e automação de aplicação de defensivos em taxas variáveis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 42., 2014, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Sbea, 2014. p. 24 - 28. Disponível em: <<http://www.sbea.org.br/conbea/2014/anais/R0224-1.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2017.
- SISTEMA PARA ANÁLISES ESTATÍSTICAS (SAEG). **Sistema para análises estatísticas**. Versão 9.1, Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, 2007.
- SANZ, R.; LLORENS, J.; ESCOLÀ, A. et al. Innovative LIDAR 3D dynamic measurement system to estimate fruit-tree leaf area. **Sensors**, v. 11, n. 6, p. 5769-5791, 2011.

- SANZ, R.; ROSELL, J. R.; LLORENS, J. et al. Relationship between tree row LIDAR-volume and leaf area density for fruit orchards and vineyards obtained with a LIDAR 3D Dynamic Measurement System. **Agric. For. Meteorol.**, v. 171, n. 172, p. 153-162, 2013.
- SANZ-CORTIELLA, R.; LLORENS-CALVERAS, J.; ROSELL-POLO, J. R. et al. Characterization of the LMS laser beam under the influence of blockage surfaces. Influence on 3D Scanning of tree orchards. **Sensors**, n. 11, p. 2751-2772, 2011.
- SASAKI, R. S.; TEIXEIRA, M. M.; ALVARENGA, C. B. **Volume diferenciado.** Cultivar Máquinas, Pelotas, 2011. p. 8-10.
- SCAPIN, M. S.; BEHLAU, F.; SCANDELAI, L. H. M. et al. Tree-row-volume-based sprays of copper bactericide for control of citrus canker. **Crop Protection**, [s.l.], v. 77, p. 119-126, nov. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2015.07.007>>. Acesso em: 18 jan. 2015.
- SCHUMANN, A. W.; ZAMAN, Q. U. Software development for real-time ultrasonic mapping of tree canopy size. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 47, p. 25-40, 2005.
- SCHUTTE, G. C.; KOTZÉ, C.; VAN ZYL, J. G.; FOURIE, P.H. Assessment of retention and persistence of copper fungicides on orange fruit and leaves using fluorometry and copper residue analyses. **Crop Protection**, Surrey, v. 42, p. 1-9, 2012.
- SILVA JUNIOR, G. J.; SCAPIN, M. S.; SILVA, F. P. et al. Spray volume and fungicide rates for citrus black spot control based on tree canopy volume. **Crop Protection**, [s.l.], v. 85, p.38-45, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2016.03.014>>. Acesso em: 13 maio 2016.
- SILVA, M. M. Defensivo bem dosado é economia na certa. In: **AGRIANUAL 97. Citros: laranja.** São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 1996. p. 203-204.
- SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; ESCOLÀ, A. et al. Spray application efficiency of an electronic system for proportional application to the canopy volume. **Aspect. Appl. Biol.**, v. 66, p. 139-146, 2002.
- SOLANELLES, F.; ESCOLÀ, A.; PLANAS, S. et al. An electronic control system for pesticide application proportional to the canopy width of tree crops. **Biosystems Engineering**, v. 95, n. 4, p. 473-481, dez. 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.08.004>>. Acesso em: 21 out. 2016.
- SOUSA JÚNIOR, J. M. **Determinação do índice de volume de pulverização para a cultura do café.** 2016. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Produção Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba, 2016.
- SOTOLONGO, I.; HERRERA, M. Caracterización de la corriente de aire de una asperjadora de ventilador en el plano horizontal. **Ciencias Técnicas Agropecuarias**, v. 1, p. 1-12. 1986.
- SUTTON, T. B.; UNRATH, C. R. Evaluation of the tree-row-volume concept with density adjustments in relation to spray deposits in apple orchards. **Plant Disease**, v. 68, n. 6, p. 480-484, 1984.

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.

Trochta, J.; Krucek, M.; Vrska, T.; Kraal, k. 3D forest: an application for descriptions of three-dimensional forest structures using terrestrial LiDAR. **PLOS ONE**, v. 12, p. 1-17, 2017.

TUMBO, S. D.; SALYANI, M.; WHITNEY, J. D. et al. Investigation of laser and ultrasonic ranging sensors for measurements of citrus canopy volume. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 18, n. 3, p. 367-372, 2002.

VAN DER ZANDE, D.; HOET, W.; JONCKHEERE, I. et al. Influence of measurement set-up of ground-based LIDAR for derivation of tree structure. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 141, p. 147-160. 2006.

VAN ZYL, J. G.; SIEVERDING, E. G.; VILJOEN, D. J. et al. Evaluation of two organosilicone adjuvants at reduced foliar spray volumes in South African citrus orchards of different canopy densities, **Crop Protection**, v. 64, p. 198-206, 2014.

WANNASIRI, W.; NAGAI, M.; HONDA, K.; SANTITAMNONT, P. Extraction of mangrove biophysical parameters using airborne LiDAR. **Remote Sensing**, v. 5 p.1787-1808, 2013.

VELIZ, R. D. C. **Avaliação de dois sistemas para aplicação de agrotóxicos em citros**. 2007. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2007.

VIGANO, L. L. S.; RAETANO, C. G. Assistência de ar e volumes de aplicação na deposição de calda e no controle do arroz vermelho (*Oryza sativa* L.). **Engenharia Agrícola**, v. 27, p.734-741, 2007.

VITÓRIA, E. L.; ROCHA NETO, F. C.; CHAGAS, K. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de jato cônico vazio DDC2 novas e usadas. **Revista Agro@ambiente**, On-line, v. 8, n. 3, p. 368-376, 2014.

WALKLATE, P.; CROSS, J.; RICHARDSON, G. et al. Optimising the adjustment of label-recommended dose rate for orchard spraying. **Crop Prot.**, v. 25, p. 1080-1086, 2006.

ZALD, H. S. J.; OHMANN, J. L.; ROBERTS, H. M.; GREGORY, M. J.; HENDERSON, E. B.; MCGAUGHEY, R. J.; BRAATEN, J. 2014. Influence of lidar, Landsat imagery, disturbance history, plot location accuracy, and plot size on accuracy of imputation maps of forest composition and structure. **Remote Sensing of Environment** v. 143, p. 26-38, 2014.

ZAMAN, Q. U.; ESAU, T. J.; SCHUMANN, A. W.; PERCIVAL, D. C.; CHANG, Y. K.; READ, S. M.; FAROOQUE, A. A. 2011. Development of prototype automated variable rate sprayer for real-time spot-application of agrochemicals in wild blueberry fields. **Computers and Electronics in Agriculture** v. 76, 175-182, 2011