

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

MATHEUS AIRES SIRQUEIRA NETO

VOLUMETRIA DE COPA DO CAFEEIRO POR PROCESSAMENTO DIGITAL DE
IMAGENS AÉREAS

Uberlândia – MG

Dezembro - 2017

MATHEUS AIRES SIRQUEIRA NETO

VOLUMETRIA DE COPA DO CAFEEIRO POR PROCESSAMENTO DIGITAL DE
IMAGENS AÉREAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Agronomia, da
Universidade Federal de Uberlândia, para
obtenção do grau de Engenheiro
Agrônomo.

Orientador: Dr. João Paulo Arantes
Rodrigues da Cunha

Uberlândia – MG

Dezembro – 2017

MATHEUS AIRES SIRQUEIRA NETO

VOLUMETRIA DE COPA DO CAFEEIRO POR PROCESSAMENTO DIGITAL DE
IMAGENS AÉREAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Agronomia, da
Universidade Federal de Uberlândia, para
obtenção do grau de Engenheiro
Agrônomo.

Aprovado pela Banca Examinadora em 20 de Dezembro de 2017.

Sandro Manuel Carmelino Hurtado

Membro da Banca

Heli Heros Teodoro de Assunção

Membro da Banca

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha
Orientador

RESUMO

Os cultivos arbóreos, como o café arábica (*Coffea arabica* L.), apresentam enormes desafios técnicos em relação a tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. A correta deposição e distribuição do ingrediente ativo na parte aérea das plantas depende do conhecimento do volume do dossel das plantas. No entanto, a determinação manual deste volume é morosa e imprecisa. Desta forma, este trabalho teve como objetivo desenvolver uma metodologia para determinação do volume da copa da vegetação, a ser empregado na definição da taxa de aplicação de produtos fitossanitários na cultura do café, a partir de imagens digitais captadas por aeronaves remotamente pilotadas. Foram comparadas medições manuais do volume de copa de quatro áreas de cafeeiro com dados obtidos por meio da metodologia apresentada neste trabalho a partir de imagens aéreas. Concluiu-se que é possível determinar o volume de vegetação do cafeeiro, variável de extrema importância na definição da tecnologia de aplicação de fitossanitários, de maneira prática e precisa, por meio do processamento digital de imagens captadas por aeronaves remotamente pilotadas.

Palavras chaves: aeronave remotamente pilotada - ARP, processamento digital de imagens - PDI, volume da copa de árvores, agricultura de precisão.

INTRODUÇÃO

A agricultura está cada vez mais ligada à tecnologia da informação e de automação. Neste contexto, uma ferramenta com muitas aplicações é a Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) (GÓMEZ-CANDÓN et al.; 2014; TORRES-SÁNCHEZ et al., 2013). Trata-se de um veículo aéreo, capaz de voar na atmosfera, projetado ou modificado para não receber um piloto humano e que é operado por controle remoto ou autônomo. As ARPs tiveram seu projeto inicial voltado para uso militar, contudo devido à popularidade que tem ocorrido, a tecnologia tem se difundido e ganhado espaço entre os civis. Os primeiros relatos de ARPs no Brasil ocorreram na década de 80, mas somente nos últimos anos houve um incremento no interesse em sua utilização (JORGE & INAMASU, 2014). COLOMINA & MOLINA (2014) apresentam um detalhado histórico da evolução das ARPs a nível mundial.

Embora seja uma tecnologia que vem sendo desenvolvida há muitos anos, no âmbito agrícola passou despercebida por muito tempo (BALLESTEROS et al., 2014); tem-se falado

em ARP aplicada à agricultura na última década. Muitos usos têm se mostrado viáveis: inspeção de lavouras, detecção de plantas daninhas (PEÑA et al., 2013), identificação de falhas de plantio, volumetria de alvos, NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* (índices de vegetação diferencial normalizada), saúde da vegetação, detecção de reboleiras em áreas cultivadas, dentre outros. Neste contexto, a técnica de fotogrametria com o uso de ARP surge como uma alternativa viável para uso em distintas aplicações agrícolas.

O uso de produtos fitossanitários é uma prática muito importante nos cultivos em escala comercial, pois, somente ao controlar com eficácia pragas, doenças e plantas infestantes, a cultura passa a ter plenas condições de expressar seu potencial genético. No entanto, os cultivos arbóreos, como o café arábica (*Coffea arabica* L.), apresentam enormes desafios técnicos em relação a tecnologia de aplicação. A correta deposição e distribuição do ingrediente ativo na parte aérea da planta depende de diversos fatores, tais como, tamanho e forma da planta e densidade de plantio.

A taxa de aplicação do fitossanitário deve ser ajustada de forma a permitir um ótimo molhamento da planta e um mínimo de perda por escorrimento de gotas para o solo. No entanto, grande parte dos produtos recomendados para pulverização foliar apresenta esse dado em sua recomendação de aplicação de forma imprecisa ou vaga, e não adequada a cada estágio da cultura.

Uma alternativa para melhorar a aplicação dos produtos fitossanitários nos cultivos arbóreos é o uso da metodologia do TRV – *Tree-Row Volume* (Volume de Árvores), desenvolvida por Byers et al. (1971). Esse método apresenta bons resultados quando empregado nas calibrações de pulverizadores para aplicações (SUTTON; UNRATH, 1988; RÜEGG et al, 1999; SIEGFRIED et al., 2007).

O método baseia-se na mensuração da copa das árvores e, a partir de um índice de volume, determina-se a taxa de aplicação adequada a cada situação. Tem sido usado com êxito na fruticultura em toda a Europa, contudo seu emprego praticamente inexiste no Brasil, principalmente na cafeicultura.

Em cultivos de fila contínua de árvores, tem-se a equação:

$$\frac{TRV}{H} = \frac{10000}{\square} \quad (1)$$

em que,

TRV: Volume das árvores, m³ ha⁻¹;

H: altura das árvores, m;

L: largura das árvores, m;

D: distância entre linhas, m.

Caso seja conhecida uma recomendação de volume de calda por volume de vegetação (*VC*, L 1000 m⁻³), a taxa de aplicação (*Ta*, L ha⁻¹) resulta:

$$Ta = TRV * VC \quad (2)$$

Um fator que contribui com a não adoção do TRV é o fato de que a metodologia parece complicada a vista do agricultor. Tradicionalmente, esse volume de vegetação é determinado a partir de mensurações manuais a campo, que, além de laboriosas, nem sempre tem resultados satisfatórios, em função da pequena taxa de amostragem. A partir de imagens aéreas, será possível calcular o volume de vegetação das diversas áreas do agricultor e propor uma taxa de aplicação adequada a cada uma delas, resultando em aplicações mais eficientes e seguras ambientalmente.

Desta forma, este trabalho teve como objetivo desenvolver uma metodologia para determinação do volume de vegetação, a ser empregado na definição da taxa de aplicação de produtos fitossanitários em cultivos arbóreos, a partir de imagens digitais captadas por aeronaves remotamente pilotadas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios de campo foram realizados no Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Uberlândia, localizado na Fazenda Experimental do Glória, na cidade de Uberlândia, MG, Zona: 22 K, Longitude UTM: 794184.30 m E e Latitude UTM: 7901258.52 m S. Foram utilizados diferentes talhões, que apresentavam diferentes estágios e condições de condução (Figura 1). Ambos os métodos de estimativa do volume de copa foram realizados no mês de maio do ano de 2017.

A estimativa de volume de copa do cafeeiro foi realizada seguindo duas metodologias: manualmente e por processamento digital de imagens coletadas pela ARP, em talhões de café, com espaçamentos entre fileiras de 3,5 m e espaçamento entre plantas de 0,7 m. Selecionaram-se quatro áreas de café com TRV distintos, entre 5.000 e 15.000 m³ ha⁻¹, em função de ano de plantio e forma de condução de poda, com o objetivo de verificar a adequação da metodologia em diferentes condições do cultivo.

No método manual, a estimativa foi feita em 20 plantas escolhidas aleatoriamente em cada área previamente selecionada, medindo-se a altura das plantas, as médias das larguras

nos terços inferiores, médios e superiores das copas das plantas e distância entre linhas de cultivo e, posteriormente, foi calculado o volume de copa, em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, empregando-se os valores à Equação 1.



FIGURA 1. Foto aérea da área de estudo.

O segundo método de estimativa foi desenvolvido através do processamento digital das imagens aéreas. A ARP utilizada foi um quadricoptero da DJI *Phantom 4*. Ela foi escolhida por ter a característica de voo estabilizado, geração de imagens georeferenciadas, alta tecnologia embarcada, modo de voo manual e/ou automático, conjunto de motores de alta eficiência e bateria que oferece 5.350 mAh de energia, fornecendo ao ARP autonomia de voo de aproximadamente 28 minutos em condições ideais de voo (baixa velocidade de vento). Seu sistema de câmeras (modelo FC330 - fabricante DJI) conta com um estabilizador de imagens nos 3 eixos (x,y e z), captura de vídeo 4K a 30 quadros por segundo e *Full HD* 1080p a 120 quadros por segundo, lente asférica com campo de visão de 94° (FOV) e imagens de alta qualidade. O rádio controle opera na frequência de 2.4 GHz, permitindo voo sem interferência de aproximadamente 3,5 km de distância horizontal (na ausência de obstáculos), e a distância vertical é limitada segundo a legislação vigente para o país em 120 m. Para operação do equipamento foi utilizado um *smartphone* octa core (1.5 GHz), 16 GB de memória e sistema operacional android versão 6.0.1.

Inicialmente, para realizar o plano de voo, criou-se um polígono no *Google Earth Pro* delimitando a região que a ARP deveria percorrer. Em um segundo momento, enviou para o *software DroneDeploy* instalado no *smartphone* o polígono salvo em extensão .kml (Figura 2). Para finalizar o planejamento do voo foi necessário inserir no *software* alguns parâmetros como: altitude de voo, direção do voo, sobreposição frontal e lateral das imagens e, por fim, a velocidade máxima de voo, determinou-se 11 m s^{-1} . Após a inserção dos parâmetros, foi gerado um relatório contendo informações do voo a ser realizado, como área a ser sobrevoada, GSD *pixel* (*Ground Sampling Distance*, cm pixel^{-1}) e quantidade de baterias necessárias para realizar o voo.



FIGURA 2. Polígono do voo autônomo ilustrado no *software DroneDeploy*.

Para o processamento das imagens georeferenciadas obtidas pela ARP, foi utilizado o *software PIX4D Mapper* versão *trial* 3.2.23. O *hardware* usado para o processamento foi um computador *desktop* com processador Intel(R) Core (TM) i7 CPU 3.07 GHz, memória RAM de 16 GB e placa de vídeo dedicada NVIDIA GeForce série 210. O processamento das imagens foi realizado em três etapas: 1) Processamento inicial; 2) Nuvem de pontos e geração de malha; e 3) Modelo digital de superfície, ortomosaico e índices (RGB).

Inicialmente as imagens obtidas foram selecionadas e alinhadas na sequência em que foram capturadas (Figura 3). Posteriormente, foi feita a calibração das imagens no método

padrão do *software* de acordo com seus parâmetros e a densificação da nuvem de pontos com escala de imagem de resolução em modo múltipla escala ($\frac{1}{2}$ de resolução). A densidade de pontos foi otimizada com reprojeção de no mínimo três fotos. A resolução espacial foi automática para a ortofoto, variando de acordo com o seu valor de GSD.



FIGURA 3. Alinhamento das fotos para processamento de imagem e geração de modelos para estimativa de volume.

Posteriormente, mensurou-se o volume de copa dos cafeeiros, nos mesmos talhões que realizou-se a coleta de dados do método manual (Figura 4), empregando-se o *software PIX4D Mapper*. O software possui uma rotina computacional específica que permite a estimativa de volume do alvo de interesse (Figura 5). A mesma é composta por basicamente cinco passos:

1. Na barra de Menus, funções *View*, *Volumes* e *New Volume*;
2. Na vista 3D, marcar os vértices da superfície da base do alvo que deseja mensurar o volume;
3. Finalizar o vértice para criar a base de volume;
4. Visando maior precisão, corrigir o posicionamento dos vértices para a posição de interesse;
5. Para finalizar, processar o cálculo de volume com a função *Compute*.

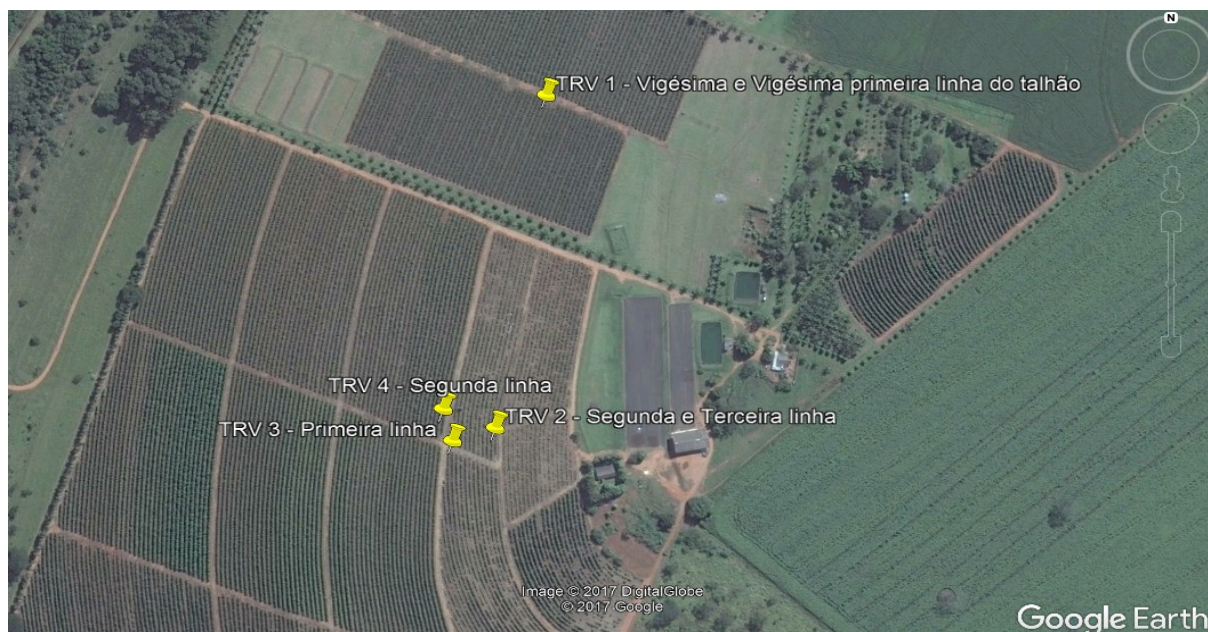


FIGURA 4. Talhões de estudo.



FIGURA 5. Estimativa do volume de vegetação do cafeeiro pelo método computacional.

Para verificar a adequação do valor de TRV medido por meio da imagem aérea de cada talhão com os valores de TRV medidos manualmente no campo, aplicou-se um teste t para uma amostra (*One-Sample Test*) ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A hipótese estatística analisada consistiu em verificar a igualdade de valores ao comparar os dois métodos de estimativa de volume vegetal do cafeeiro. Os resultados

encontrados pelo Test t para uma amostra ($p \leq 0,05$) foram significativos (Tabela 1), mostrando não haver diferença significativa entre ambos os métodos de determinação dos volumes de vegetação.

TABELA 1. Test t para uma amostra ($p \leq 0,05$) comparativa de TRV manual e por processamento digital de imagem de cada um dos talhões avaliados a campo.

Amostra	TRV manual ¹ ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	TRV PDI ² ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	Teste t	Significância
1	9.653,2100	9.767,0300	-0,4250	0,6760
2	6.137,8500	6.382,7300	-1,1670	0,2578
3	6.394,9800	6.700,8400	-1,2990	0,2096
4	10.094,4000	9.379,8900	1,4850	0,1540

¹TRV MANUAL: Método de mensuração do volume da copa das árvores do cafeeiro manual à campo. (Byers et al. (1971)).

² TRV PDI: Método de mensuração do volume da copa das árvores do cafeeiro por meio de processamento digital de imagens (PDI) obtidas por ARP.

Em áreas de produção de café, a copa nem sempre segue uma uniformidade constante, podendo variar até dentro de um mesmo talhão. Realizar a determinação do TRV pelo método manual em áreas extensivas torna-se oneroso, exigindo maior tempo de execução e podendo gerar imprecisão nos dados coletados. Quando se está a campo coletando os dados no método manual, são escolhidas plantas aleatoriamente podendo seu número não ser representativo para as dimensões do seu talhão. Pelo método do processamento digital de imagens, o número amostral pode ir de uma planta a todas as plantas do talhão, resultando em maior precisão dos resultados encontrados.

Neste sentido, espera-se que em um futuro próximo, com auxílio de ARPs, seja possível determinar o volume da copa de cultivos arbóreos, de forma a otimizar a aplicação de fitossanitários em taxa variável e com isso reduzir o impacto ambiental causado por perdas por escorrimento, bem como aumentar a capacidade operacional dos conjuntos mecanizados.

CONCLUSÃO

É possível determinar, conforme metodologia apresentada neste trabalho, o volume de vegetação do cafeeiro, variável de extrema importância na definição da tecnologia de aplicação de fitossanitários, de maneira prática e precisa, por meio do processamento digital de imagens captadas por aeronaves remotamente pilotadas.

REFERÊNCIAS

AGROFIT. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, [Brasília], 2012. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 20 de Out. de 2016.

BAESSO, M. M.; TEIXEIRA, M. M.; RUAS, R. A. A.; BAESSO, R. C. E. Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 780-785, 2014.

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

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

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

CARRÉ-MISSIO, V.; RODRIGUES, F.Á.; SCHURT, D.A.; REZENDE, D.C.; MOREIRA, W.R.; KORNDÖRFER, G.H.; ZAMBOLIM, L. Componentes epidemiológicos da ferrugem do cafeeiro afetados pela aplicação foliar de silicato de potássio. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 37, v. 1, p.50-56, 2012.

CARVALHO, V. L.; CUNHA, R. L.; SILVA, N. R. N. Alternativas de controle de doenças do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 42-49, 2012.

CHECHETTO, R. G.; ANTUNIASSI, U. R.; MOTA, A. A. B.; CARVALHO, F. K.; COELHO FILHO, M. A. et al. Estimativa da área foliar de plantas de lima ácida ‘Tahiti’ usando métodos não-destrutivos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 163-167, 2005.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de café – 1ª estimativa safra/2017**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 04 jun. 2017.

COOKE, B. K.; HISLOP, E. C. Spray tracing techniques. In: MATTHEWS, G. A.; HISLOP, E. C. (ed.). **Application Technology for Crop Protection**. U.K.: CAB, 1993. p. 85-100.

CUNHA, J. P. R. da; GITIRANA NETO, J.; BUENO, M. R. Evaluation of a device for the application of pesticides on mechanized coffee crops (*Coffea arabica* L.), **Interciência**, Caracas, v. 36, n. 4, p. 312-316, 2011.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, R. F.; FERNANDES, H. C.; COURRY, J. R. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulica de jato plano e jato cônico vazio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 19, p. 977-985, 2004.

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

De SCHAMPHELEIRE, M.; SPANOGHE, P.; BRUSSELMAN, E.; SONK, S. Risk assessment of pesticide spray drift damage in Belgium. **Crop Protection**, London, v. 26, n. 4, p. 602-11, 2007.

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

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

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

FERREIRA, M. C. Caracterização da cobertura de pulverização necessária para controle do ácaro *Brevipalpus phoenicis* (G., 1939) em citros. 2003. 64 f. **Tese** (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

FRANÇA, J. A. L.; GONÇALVES, W. S.; ROMEIRO, B. P.; BENETT, C. G. S.; SILVA, A. R. Desenvolvimento e avaliação de um pulverizador hidráulico de barras rígidas horizontais de baixo custo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 2, n. 1, p. 17-23, 2015.

GIL, E.; ESCOLÀ, A.; ROSELL, J.R.; PLANAS, S.; VAL, L. Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. **Crop Protection**, Amsterdam, v.26, n. 8, p.1287-1297, 2007.

HALL, F. Application to plantation crops. In: MATTHEWS, G. A.; HISLOP, E. C. (ed.). **Application technology for crop protection**. U.K.: CAB, 1993, p. 187-214.

HUIJSMANS, J.; PORSKAMP, H.; HEIJNE, B. Orchard tunnel sprayers with reduced emission to the environment. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PESTICIDES APPLICATION, 3., Strasbourg, 1993. **Anais...** Strasbourg: BCPC, 1993. p. 297-304.

ISO. **Equipment for crop protection** - Methods for field measurement of spray drift. Geneva: ISO, 2005. 22 p. ISO/FDIS 22866.

MAGDALENA, J. C. **Determinación de la tasa de aplicación de agroquímicos en Pomáceas**. Valencia: UPV, 2001. 93 p.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. G.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2010. 542 p.

MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. Viçosa: Aprenda fácil, 2010. 588p.

NUYTTENS D.; De SCHAMPHELEIRE, M.; BAETENS, K.; SONK, B. The influence of operator controlled variables on spray drift from field crop sprayers. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 50, n. 4, p. 1129-1140, 2007.

PEZZI, F.; ADE, G. Studio dell'erogazione su un prototipo di irroratrice per frutteto. **Rivista di Ingegneria Agraria**, Roma, v. 30, n. 1, p. 39-45, 1999.

PLANAS, S.; SOLANELLES, F.; FILLAT, A.; PIFARRE, C. A proposal of methodology for air-assisted sprayer assessment in apple orchards. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1., Madrid, 1996. **Anais...** Madrid: UPM, 1996. 8 p.

RAETANO, C. G. Condições operacionais de turboatomizadores na distribuição e deposição da pulverização em citros. 1996. 93 f. **Tese** (Doutorado em Entomologia Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

ROSELL-POLO, J.R.; SANZ, R.; LLORENS, J.; ARNÓ, J.; ESCOLÀ, A.; RIBES-DASI, M.; MASIP, J.; CAMP, F.; GRÀCIA, F.; SOLANELLES, F. A tractor mounted scanning LIDAR for the non-destructive measurement of vegetative volume and surface area of tree-row plantations: a comparison with conventional and destructive measurements. **Biosystems Engineering**, Bedford, v.102, n.2, p.128-134, 2009.

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

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

SCAPIN, M.S.; BEHLAU, F.; SCANDELAI, L.H.M.; FERNANDES, R.S.; SILVA JUNIOR, G.J.; RAMOS, H.H. Tree-row-volume-based sprays of copper bactericide for control of citrus canker. **Crop Protection**, London, v. 77, n. 1, p. 119-126, 2015.

SIEGFRIED, W.; VIRET, O.; HUBER, B.; WOHLHAUSER, R. Dosage of plant protection products adapted to leaf area index in viticulture. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 26, n. 2, p.73-82, 2007.

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

SILVA JUNIOR, G.J.; SCAPIN, M.S.; SILVA, F.P.; SILVA, A.R.P.; BEHLAU, F.; RAMOS, H.H. Spray volume and fungicide rates for citrus black spot control based on tree canopy volume. **Crop Protection**, London, v. 85, p. 38-45, 2016.

SMELT, J.; SMIDT, R.; HUIJSMAN, J. Comparison of spray deposition on apple leaves of captazn and the dye brilliant sulfoflavine. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PESTICIDES APPLICATION, 2., Strasbourg, 1993. **Anais...** Strasbourg: BCPC, 1993. 8 p.

SMITH, D. B.; ASKEW, S. D.; MORRIS, W. H.; SHAW, D. R.; BOYETTE, M. Droplet size and leaf morphology effects on pesticide spray deposition. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 43, n. 2, p. 255-259, 2000.

SOLANELLES, F.; FILLAT, A.; PIFARRÉ, C.; PLANAS, S. A method of drift measurement for spray applications in tree crops. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1., Madrid, 1996. **Anais...** Madrid: UPM, 1996. p. 133.

SOUZA, J. C.; REIS, P. R.; RIGITANO, R. L. O. **Bicho mineiro do cafeeiro**: biologia, danos e manejo integrado. Belo Horizonte: EPAMIG, 1998. 48 p. (Boletim técnico, 54).

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

TEIXEIRA, M. M. Influencia del volumen de caldo y de la uniformidad de distribución transversal sobre la eficacia de la pulverización hidráulica. 1997. 310 f. **Tese** (Doutorado em Agronomia) – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

VALENCIA, G. A. Relación entre el índice de area foliar y la productividad del cafeto. **Cenicafe**, Chinchiná, v. 24, n. 4, p. 78-89, 1973.

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