

CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO EM PULVERIZAÇÃO USANDO VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO NA CULTURA DO CAFÉ CONILON

Débora Moro Soela¹; Deborah Hoffmam Crause², Edney Leandro da Vitória³, Ronaldo Furtado de Oliveira⁴, Filipe de Moraes⁵, Ismael Lourenço de Jesus Freitas⁶, Tamara Locatelli⁷

¹Bolsista, MS, UFES, São Mateus - ES, deboramoro.s@hotmail.com

²Pesquisadora, MS, UFES, São Mateus - ES, deborahlife2014@hotmail.com

³Professor, DSc, UFES, São Mateus - ES, vitoria.edney@gmail.com

⁴Pesquisador, UFES, São Mateus – ES, roirriga@gmail.com

⁵Bolsista, MS, UFES, São Mateus – ES, moraes.de.filipe@gmail.com

⁶Pós Doutorando, DSc, UFES, São Mateus – ES, ismaelljf@yahoo.com.br

⁷Doutoranda, M.a, UENF, Campos dos Goytacazes – RJ, tamaralocatelli@gmail.com

RESUMO: Objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade e a variabilidade do controle estatístico de processo, da deposição de calda pulverizada nas folhas do cafeeiro e o escoamento para o solo, promovida pela aplicação com Veículo Aéreo Não Tripulado a diferentes alturas de pulverização no cafeeiro conilon. Foram avaliadas três alturas de operacionais de voo em relação a copa do cafeeiro (1,0, 1,5 e 2,0 m) no genótipo de café conilon A1, com 12 repetições por tratamento. Utilizou-se o traçador azul brilhante para quantificar por espectrofotometria os depósitos de calda nas folhas da parte superior e inferior e o escoamento no solo. Avaliou-se a qualidade estatística das pulverizações, utilizando-se controle estatístico de processo. Através das cartas de controle não se detectaram padrões de não aleatoriedade dentro dos tratamentos, assegurando a boa qualidade das aplicações realizadas na cultura do café. Todos os tratamentos estiveram dentro dos limites, mas à altura de voo de 1,0 m apresentou os melhores resultados de deposição superior e inferior.

PALAVRAS-CHAVE: deposição, escoamento, tecnologia de aplicação.

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate the quality and variability of the statistical process control, the deposition of sprayed syrup on the coffee leaves and the runoff to the soil, promoted by application with Unmanned Aerial Vehicle at different spraying heights in conilon coffee trees. Three flight operating heights were evaluated in relation to coffee canopy (1.0, 1.5 and 2.0 m) in the conilon coffee A1 genotype, with 12 replications per treatment. The bright blue tracer was used to quantify by spectrophotometry the deposits of syrup in the upper and lower leaves and runoff in the soil. Statistical quality of sprays was evaluated using statistical process control. Through the control charts no non-randomness patterns were detected within the treatments, ensuring the good quality of the coffee culture applications. All treatments were within limits, but at flight height of 1.0 m had the best upper and lower deposition results.

KEY WORDS: deposition, draining, application technology.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café. Na colheita de 2018, foram produzidas 61,7 milhões de sacas beneficiadas de café arábica (*Coffea arabica*) e de Conilon (*Coffea canephora* Pierre) (CONAB, 2018). Esta alta produtividade, demonstra a importância dessa atividade no Brasil, sendo fonte de renda e emprego. Contudo, as lavouras estão susceptíveis ao ataque de pragas, doenças e plantas daninhas, e essas interferências reduzem o potencial produtivo, podendo alcançar níveis de danos econômicos, sendo, portanto, necessário o uso da tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. Quanto à tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários, o cafeeiro apresenta diversos desafios, principalmente no que se refere à penetração da calda no dossel, por se tratar de uma cultura que possui arquitetura com grande índice de área foliar, dificultando a boa penetração e cobertura das folhas através da pulverização e o elevado risco de deriva, que pode resultar na baixa eficiência fitossanitária (SILVA, et al., 2016). O desenvolvimento e uso dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), surge como importante opção nesse setor. Sua aplicação na área agrícola, em atividades de pulverização vem sendo favorecida e facilitada pelos avanços tecnológico, trazendo benefícios quanto à redução de custos, tamanho dos equipamentos e necessidade de otimização da produção (JORGE et al., 2014).

O auxílio de técnicas estatísticas no controle das operações agrícolas tecnificadas, como o Controle Estatístico do Processo (CEP), é uma realidade, pois é uma ferramenta que pode ser definida como um método de prevenção e detecção de problemas nos processos, e eles podem ser corrigidos antes que muitos itens não conformes sejam produzidos, evitando que variações ocorram (MINGOTI; FIDELIS, 2001). Sendo assim, objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade por meio do controle estatístico de processo da deposição de calda pulverizada nas folhas do

cafeeiro e o escorrimento para o solo, promovida pela aplicação com Veículo Aéreo Não Tripulado a diferentes alturas de pulverização em cafeeiro Conilon.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental do Centro Universitário Norte do Espírito Santo, da Universidade Federal do Espírito Santo, latitude 18° 40' 25" S, longitude 40° 51' 23"W. A área experimental possui uma lavoura com espaçamento de 3,0 m entre linhas e 1,0 m entre plantas, de ciclo médio e com idade de 18 meses. A altura média das plantas no momento do experimento era de 1,60 m. O Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) usado no experimento foi um da marca Joyance®. Foram avaliadas três alturas de operacionais de voo em relação a copa do cafeeiro (1,0, 1,5 e 2,0 m) no genótipo de café conilon A1, com 12 repetições por tratamento. O VANT realizou os sobrevoos percorrendo 60,0 m sobre uma linha de plantas de café e ao fim deste percurso retornava na linha seguinte. Para avaliar a deposição nas folhas das plantas, foi utilizado água misturado com traçador azul brilhante (catalogado internacionalmente pela Food, Drug & Cosmetic como FD&C Blue n.1), na dose de 400 g ha⁻¹, em todos os tratamentos, para ser detectado por absorvância em espectrofotometria. Para a avaliação das perdas de calda para o solo, foram posicionadas placas de petri, com 176,7 cm², sob a copa das plantas de café, dentro da área de projeção da copa. Em laboratório, as amostras foram analisadas no espectrofotômetro Thermo Spectronic, modelo Genesys 10 UV/VIS, da Thermo Scientific®, usando-se o comprimento de onda de 630 µm. As áreas das folhas foram medidas individualmente com um medidor de área foliar Li-Cor LI-3100. No momento da aplicação, as variáveis ambientais, umidade relativa do ar e velocidade do vento, foram monitoradas por meio de uma estação meteorológica automática localizada no município de São Mateus, da marca Vaisala e modelo MAWS 301. Os dados coletados se encontram na Tabela 1.

TABELA 1 – Dados meteorológicos do município de São Mateus – Espírito Santo, durante o experimento.

Temperatura (°C)		Umidade relativa (%)		Velocidade do vento (ms ⁻¹)	
Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
21,2	24,0	60,0	68,0	1,0	1,9
21,2	24,1	60,0	67,0	1,2	2,2
21,2	24,1	58,0	66,0	1,1	2,1

Foram confeccionadas cartas de controle para avaliar as deposições de calda e as perdas para o solo por escorrimento. As cartas de controle utilizadas no estudo das repetições, dentro dos tratamentos, foram medidas individualmente para cada tratamento, sendo o tamanho da amostra o número de repetições e medindo-se a variabilidade pela amplitude móvel. Para a checagem e verificação dos resultados obtidos, foram realizadas as análises de variância para cada uma das duas variáveis (deposição das folhas das metades superior e inferior, e escorrimento). Foram calculadas as cartas de controle das repetições, e os seus limites superior e inferior e linha central, os gráficos de controle para valores médios de deposição dos tratamentos com seus respectivos limites e os gráficos de controle para amplitude de deposição dos tratamentos com seus respectivos limites, segundo a metodologia descrita por Montgomery (2008). Todas as análises foram realizadas utilizando o software R CORE TEAM (2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de variâncias e os coeficientes de variação para as deposições, nas folhas das metades superior, inferior e do escorrimento encontram-se na Tabela 2. A interação entre as variáveis altura de voo e genótipo foi significativa, portanto, a confecção das cartas de controle e as discussões foram baseadas nesta significância. Os coeficientes de variação obtidos foram baixos, o que assegura que houve controle efetivo das condições experimentais, segundo as classificações de Pimentel et al. (2009), onde, se o CV for < que 10% é classificado como baixa variabilidade, de 10 a 20% variabilidade média, e acima é classificado alta variabilidade. Silva et al. (2016), utilizando técnicas de controle estatístico em pulverização hidropneumática na cultura do café em função do tipo de ponta de pulverização e volume de calda, obtiveram coeficientes de variação acima de 7%, chegando a 45% na análise de variância, isso é explicado pelo tipo de pulverizador utilizado, pois, segundo Nuytens et al. (2011), pulverizadores hidropneumáticos possuem maior probabilidade de perdas por escorrimento para o solo, ocasionado pela corrente de ar gerada pelos turbo-atomizadores do pulverizador.

TABELA 2 - Análises de variância das variáveis deposições nas folhas das metades superior e inferior e do escorrimento para o solo.

FV	Deposição nas folhas da metade inferior das plantas	
	GL	QM
Altura de voo	2	298,50*
Resíduo	33	0,25*

CV (%) = 3,59 W = 0,607* F = 1,1855 ^{ns} DW = 2,152 ^{ns}		
Deposição nas folhas da metade superior das plantas		
FV	GL	QM
Altura de voo	2	1515,04*
Resíduo	33	0,47*
CV (%) = 3,82 W = 0,756* F = 2,0995 ^{ns} DW = 3,4552 ^{ns}		
Escorrimento		
FV	GL	QM
Altura de voo	2	1294,04*
Resíduo	33	0,47*
CV (%) = 2,09 W = 0,895* F = 1,225 ^{ns} DW = 1,998 ^{ns}		

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância; CV - Coeficiente de variação; W, F, DW e F - Estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos, Levene para homogeneidade das variâncias, Durbin-Watson para independência dos resíduos e teste de F; nsResíduos normalmente distribuídos, variâncias homogêneas, resíduos independentes e aceitação da hipótese H0, todos à significância de 0,05; * Resíduos não normalmente distribuídos, variâncias não homogêneas, resíduos não independentes

Na Figura 1, têm-se as cartas de controle referentes à aplicação com a altura de voo de 1,0 m. Nelas não foram detectados padrões de não aleatoriedade, pois as repetições estão dentro dos limites de controle, evidenciando valores próximos das medidas em cada repetição, em relação à média do processo, assegurando boa qualidade do ponto de vista estatístico e sugere ainda uma maior confiabilidade dos dados gerados. Alta deposição tanto na metade superior, como na inferior no genótipo A1 e menor escorrimento para o solo, pode ser explicado devido as características morfológicas do genótipo. Segundo Giles et al. (2018), a área foliar do genótipo A1 é maior que de outros genótipos, portanto, houve maior deposição nas folhas e menor escorrimento para o solo no genótipo A1.

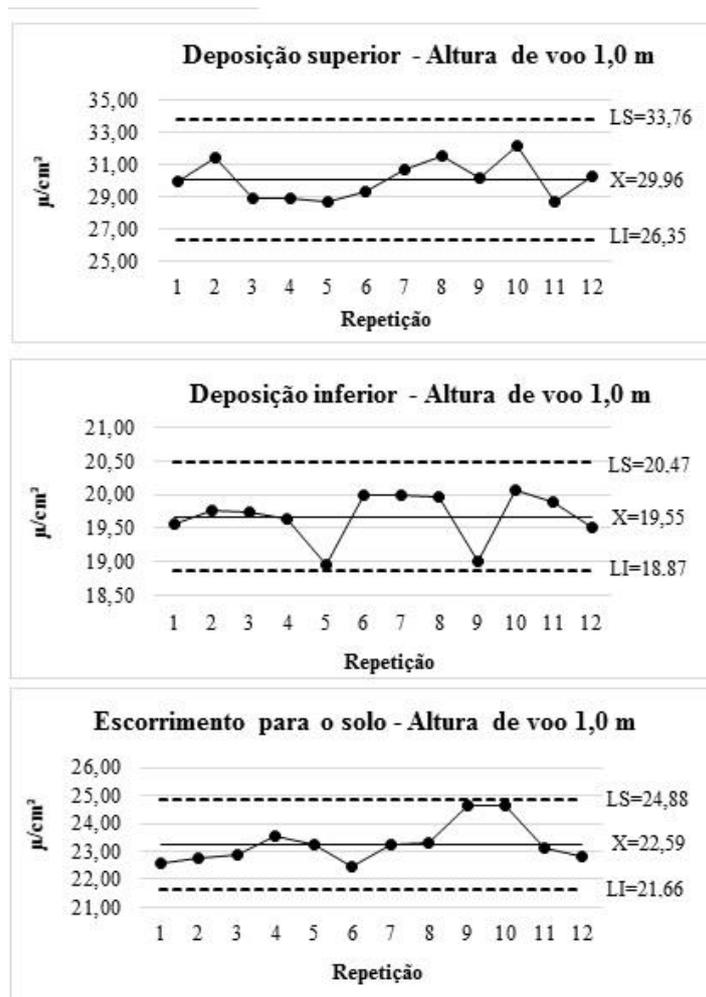


Figura 1 - Gráficos de deposição superior, inferior e escorrimento (μg cm-2): Altura de voo 1,0. Genótipo A1. *LS: limite superior de controle; LI: limite inferior de controle e X: linha central de controle.

As cartas de controle, na Figura 2 referentes à aplicação com a altura de voo de 1,5 m, não foram detectados padrões de não aleatoriedade, e que apesar das oscilações, se encontram dentro dos limites indicando uma deposição adequada ao longo da altura do dossel da planta de café promovido pela pulverização com VANT. Segundo Silva et al. (2016), oscilações na deposição nas folhas e escorrimento para o solo são esperadas desde que não ultrapassem os limites de controle, sendo que a razão do estudo através de cartas de controle é averiguar a proporção dessas diferenças e classificar o processo como sob controle ou não, do ponto de vista estatístico.

Os valores de deposição na altura de voo de 1,0 m foram maiores que na altura de voo de 1,5 m. Os valores de escorrimento também aumentaram, devido a menor deposição nas folhas. Segundo Tang et al. (2018) a deposição de gotículas nas copas está intimamente relacionada com a altura de operação do VANT. Essa influência leva a menos deriva das gotículas, mas à baixa deposição de gotículas, principalmente porque as folhas, especialmente dentro da copa superior, são influenciadas pelo vento descendente, gerado pelo VANT, o que dificulta a aderência das gotículas.

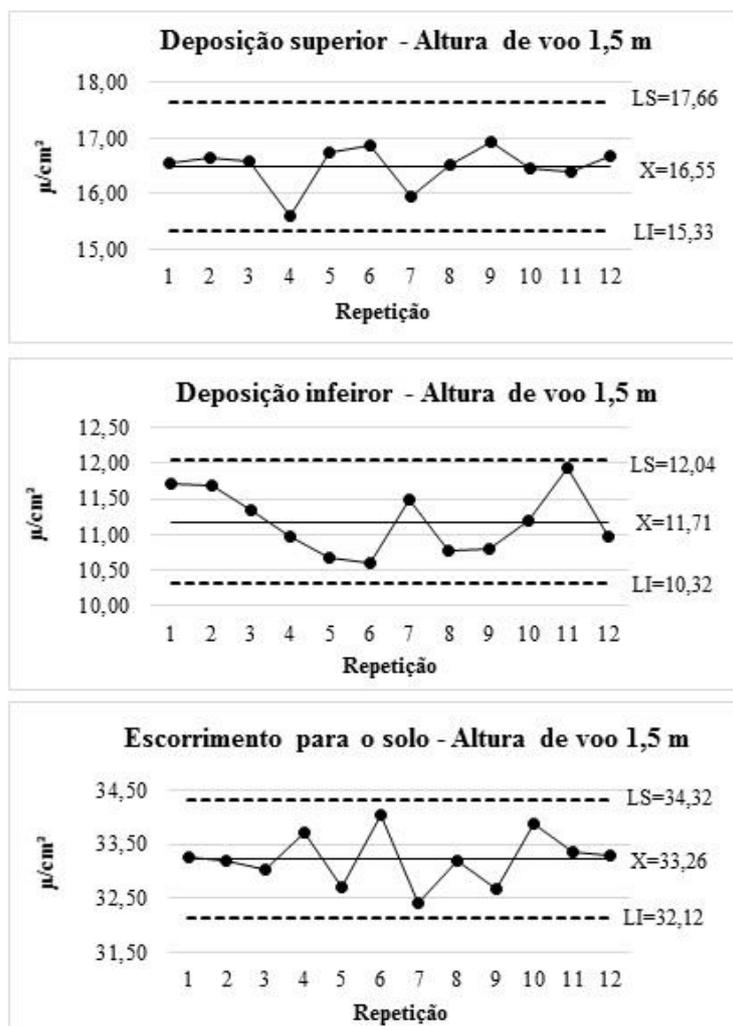


Figura 2 - Gráficos de deposição superior, inferior e escorrimento ($\mu\text{g cm}^{-2}$): Altura de voo 1,5. Genótipo A1. *LS: limite superior de controle; LI: limite inferior de controle e X: linha central de controle.

Na Figura 3, referentes à aplicação com a altura de voo de 2,0 m, observa-se que não foram encontrados padrões de não aleatoriedade, e se encontram dentro dos limites. No entanto, os valores de deposição foram menores que na altura de voo de 1,0 m. A deposição inferior do genótipo A1 aproximou-se do limite inferior, mas ficou dentro do limite. A alta altura de operação, é facilmente interferida pelos fatores climáticos, como vento e umidade, o que resulta em um desvio de gotícula. Esse desvio faz com que as camadas inferiores das copas recebam uma menor quantidade de gotas, e aumentem o escorrimento para o solo (XUE, et al., 2014).

Apesar do valor de deposição na parte superior decair com o aumento da altura de trabalho, todas elas se mantêm dentro dos limites. O vórtice causado pela asa do rotor em ambas as extremidades da lança pulverizadora muda a morfologia original e a trajetória das gotículas, diminuindo a deposição na folha e aumentando a deriva, porém, dentro dos padrões aceitáveis (QIN, et al., 2016).

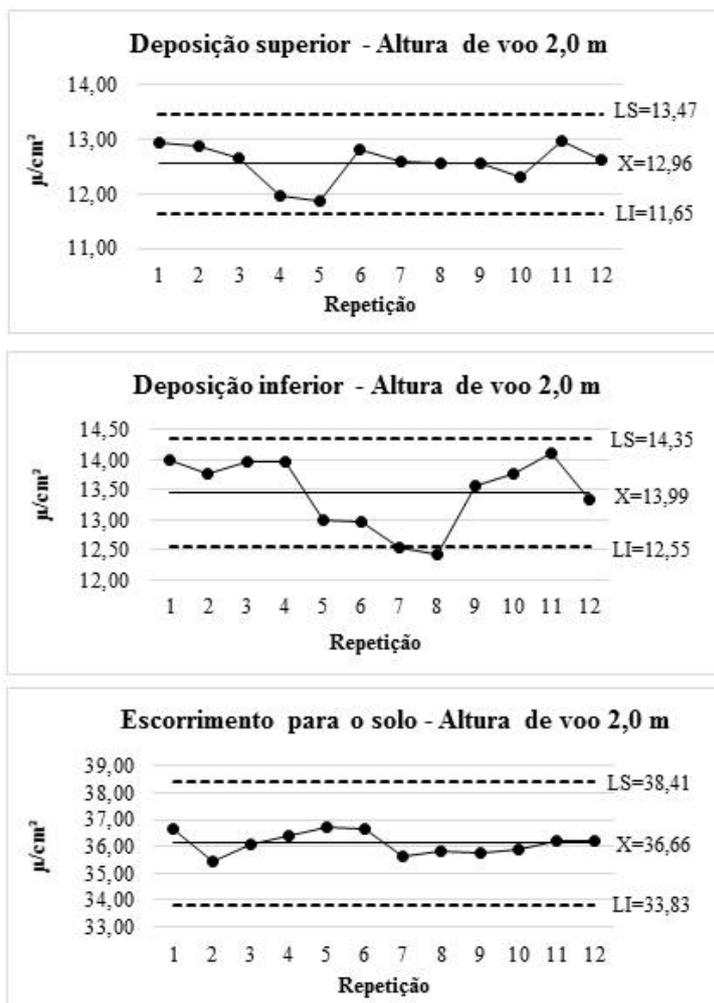


Figura 3 - Gráficos de deposição superior, inferior e escorrimento ($\mu\text{g cm}^{-2}$): Altura de voo 2,0. Genótipo A1. *LS: limite superior de controle; LI: limite inferior de controle e X: linha central de controle.

Silva et al. (2016), em pulverização hidropneumática na cultura do café, concluíram que através das cartas de controle, não se detectam padrões de não aleatoriedade em função do tipo de ponta e volume de calda, assegurando a boa qualidade das aplicações realizadas na cultura do café. Ainda existem poucos trabalhos de controle estatístico de processo com pulverização. Na área de colheita mecanizada, Cunha et al. (2018) utilizando o controle estatístico de processo aplicado na colheita mecanizada do sorgo, verificaram que o processo foi eficiente na identificação do comportamento dos pontos fora de controle para as perdas provenientes da colhedora, porém estiveram dentro dos padrões aceitáveis. Tavares et al. (2015) avaliaram quali-quantitativamente o recolhimento de café em regulagens da rotação de trabalho da recolhedora, utilizando o controle estatístico do processo, e concluíram que o controle estatístico de processo permite analisar, separadamente cada fase do processo, identificando pontos a serem melhorados, aumentando a qualidade da operação. Então, pode-se inferir, que através das cartas de controle é possível identificar erros, e solucionar problemas, nas diferentes áreas de atuação. A pulverização realizada com Veículo Aéreo não Tripulado, apresentou boa qualidade estatística de deposições, dentro dos limites calculados, indicando que a aplicação possibilita uma melhor eficiência e menor risco de deriva.

CONCLUSÕES

1. A pulverização utilizando Veículo Aéreo Não Tripulado, sob o ponto de vista estatístico, apresenta bom padrão de qualidade quanto a deposições nas folhas e baixa deriva de escorrimento no solo ao longo da aplicação, significando uma aplicação eficiente.
2. A altura de voo que apresentou melhor deposição superior e inferior e menor escorrimento foi a de 1,0m.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da Safra Brasileira de Café, v.5 Safra 2018, n.4, Quarto Levantamento, Dezembro/2018. Brasília, 2018 P. 1-80.
- CUNHA, P. B.; CASTRO, M. S.; COSTA, A. G.; BARROS, M. M.; MACHADO, T. A.; HONORATO, L. P.; DUARTE, C. M. Controle estatístico de processo (CEP) aplicado na colheita mecanizada do sorgo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.17, n.3, p. 490-501, 2018.
- GILES, J.A.D.; PARTELLI, F. L.; FERREIRA, A.; RODRIGUES, J. P.; OLIOSI, G.; SILVA, F. H.L. Genetic diversity of promising ‘Conilon’ coffee clones based on morpho-agronomic variables. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. v.90, n.2, 2018.
- JORGE, L. A. C.; BRANDÃO, Z. N.; INAMASU, R. Y. Insights and recommendations of use of UAV platforms in precision agriculture in Brazil. **SPIE Remote Sensing**, v.9239, 18p, 2014.
- MINGOTI, S. A.; FIDELIS, M. T. Aplicando a geoestatística no controle estatístico de processo. **Revista Produto & Produção**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 55-70, 2001.
- MONTGOMERY, D. C. Introduction to statistical quality control. 6th ed. New York: **J. Wiley**, p.734, 2008.
- NUYTTENS, D.; SCHAMPHELEIRE, M. DE; BRUSSELMAN, E.; DEKEYSER, D.; VERBOVEN, P. Drift from field crop sprayers using an integrated approach: results of a five-year study. **Transactions of the ASABE**, v.54, p.403-408, 2011.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15.ed. Piracicaba: FEALQ, 451p. 2009.
- QIN, W.C.; QIU, B.J.; XUE, X.Y.; CHEN, C.; XU, Z.F.; ZHOU, Q.Q. Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers. **Crop Protection**, v. 85, p. 79–88, 2016.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2010). **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: **R Foundation for Statistical Computing**, Disponível em: <http://www.R-project.org>>. Acesso em: Outubro, 2018.
- SILVA, J. E. R.; CUNHA, J. P. A. R.; SIQUEIRA, Q.; NOMEINI, S. Controle estatístico de processo em pulverização hidropneumática na cultura do café. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 11 - 21, 2016.
- TANG, Y.; HOU, C. J.; LUO, S. M.; LIN, J. T.; YANG, Z.; HUANG, W. F. Effects of operation height and tree shape on droplet deposition in citrus trees using an unmanned aerial vehicle. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 148, p. 1-7, 2018.
- TAVARES, T. O.; SANTINATO, F.; SILVA, R. P.; VOLTARELLI, M. A.; PAIXÃO, C. S. S.; SANTINATO, R. Qualidade do recolhimento mecanizado do café. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 4, p. 455-463, 2015.
- XUE, X. Y.; TU, K.; QIN, W. C.; LAN, Y. B.; ZHANG, H. H. Drift and deposition of ultra-low altitude and low volume application in paddy field. **Int. Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 7, n. 4, p. 23-28, 2014.