

## **UTILIZAÇÃO DE SENSOR LiDAR NA CULTURA DO CAFÉ: AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DE PLANTAS**

**FELIPPE HOFFMANN SILVA KARP<sup>1</sup>, RODRIGO GONÇALVES TREVISAN<sup>2</sup>, ANDRÉ FREITAS COLAÇO<sup>3</sup>, JOSÉ PAULO MOLIN<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Graduando em Eng. Agrônoma, Laboratório de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, ESALQ, USP, Piracicaba – SP, Fone: (19) 981231210, felippe.karp@usp.br

<sup>2</sup> Engº Agrônomo, Doutorando, Laboratório de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, ESALQ, USP, Piracicaba – SP

<sup>3</sup> Engº Agrônomo, Pesquisador, CSIRO Agriculture and Food, Adelaide, Austrália

<sup>4</sup> Engº Agrícola, Professor, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** A tecnologia LiDAR vem sendo estudada para aplicação em diversas culturas perenes e arbóreas, por exemplo, laranja, maçã e oliveira. Sendo o café uma cultura perene e arbórea, há um potencial de utilização desta tecnologia. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial dos parâmetros geométricos obtidos pelo sensor em um campo comercial de produção de café em diferentes datas de coleta. Utilizou-se de um sensor LiDAR e um receptor GNSS com correção RTK para coleta de dados na colheita e na floração da cultura. A partir dos dados coletados, obteve-se mapas de volume, altura e porosidade de plantas. Os alcances da dependência espacial obtidos na análise geoestatística foram baixos para todas as variáveis ( $A < 5$  m). As maiores correlações entre os mapas gerados foram obtidas na relação entre altura e volume dentro da mesma época de coleta, com valores de 0,66 na colheita e 0,75 na floração. Observou-se baixa correlação entre os mapas obtidos na colheita e na floração ( $r < 0,56$ ). Conclui-se que a utilização do sensor LiDAR permitiu a obtenção de dados consistentes e que podem ser empregados no manejo da cultura do café, além disso, o mapa de porosidade de plantas apresenta potencial de ser utilizado para aumentar a eficiência da pulverização, contudo, novas pesquisas são necessárias para explorar essa oportunidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** volume de copa, modelagem 3D, porosidade de planta

### **USE OF LiDAR SENSOR IN COFFEE: EVALUATION OF THE SPATIAL VARIABILITY FOR PLANTS GEOMETRIC PARAMETERS**

**ABSTRACT:** The use of LiDAR technology in different perennial and tree crops, such as citrus, apple and olive, have been studied. Coffee is a perennial and tree crop, thus, there is a potential use of this technology. Therefore, the aim of this project was to evaluate the spatial variability for plant geometric parameters obtained by a LiDAR sensor in a commercial orchard. For data collection, a LiDAR sensor and a GNSS with RTK correction was used. Two different stages of the culture were chosen for data collection, the stages are harvest and bloom. The data obtained was processed and volume and height maps were obtained. Moreover, a plant porosity map was generated. The semivariogram ranges obtained for an exponential model were very low for all the variables studied. Moreover, the highest correlation obtained was between the height and volume maps inside the same collection date, 0.66 and 0.75, for harvest and bloom, respectively. Besides that, there are some correlation among the others maps for different data collection date. Overall, consistent data was obtained from the sensor and could be used to manage the coffee orchard and in order to the low range of the semivariograms, the use of a sensor is the best alternative to obtain good coffee plant geometric parameters data. Moreover, the porosity map presented a potential to be used in order to raise the spray efficiency, however, it is necessary more researches to explore this opportunity.

**KEYWORDS:** canopy volume, 3D surface reconstruction, plant porosity

### **INTRODUÇÃO**

A tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*) se baseia na emissão de um feixe luz laser em uma determinada direção. Por meio do tempo entre a emissão e recepção deste feixe, obtêm-se a distância

entre o sensor e o objeto. Os autores DEL-MORAL-MARTÍNEZ et al. (2015) propuseram uma metodologia de aquisição de dados para utilização de LiDAR 2D na agricultura, em que o sensor é montado em um veículo e os dados obtidos do sensor são georreferenciados utilizando um GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Por meio desta metodologia é possível a obtenção de nuvens de pontos e criação de modelos tridimensionais das plantas no campo (Figura 1). Esse sistema tem sido referenciado na literatura como MTLs (*Mobile Terrestrial Laser Scanner*).



FIGURA 1. Nuvem de pontos obtida com sensor LiDAR para a cultura da laranja (MOLIN, AMARAL e COLAÇO, 2015)

Com base nas nuvens de pontos obtidas pelo MTLs, alguns parâmetros geométricos das plantas podem ser obtidos, tais como altura, volume, densidade foliar e outros. Estes parâmetros podem ser utilizados, por exemplo, para o manejo da irrigação e poda de culturas (SANZ-CORTIELLA et al., 2011), pulverização em taxa variável de calda e aplicação de fertilizantes baseada em volume de plantas (GIL et al., 2013; ZAMAN et al., 2005). Sendo assim possível realizar uma aplicação mais eficiente e até mesmo reduzir impactos ambientais, aplicando apenas o necessário.

Portanto, alguns estudos vêm sendo desenvolvidos no intuito de aplicar esta tecnologia em algumas culturas, como é o caso da cultura da laranja (COLAÇO et al., 2017), uva (ARNÓ et al., 2013; RINALDI et al., 2013; LLORENS et al., 2011), maçã (WALKLATE et al., 2002; WALKLATE et al., 2003), oliveira (MOORTHY et al., 2011; MIRANDA-FUENTES et al., 2015; ESCOLÀ et al., 2015), culturas perenes e de porte arbóreo ou arbustivo. Sendo o café uma cultura de alto valor agregado, perene e de porte arbóreo, há potencial de utilização desta tecnologia.

Sendo assim, na cultura do café poderia ser avaliada a possibilidade de realização do manejo de podas, pulverização e aplicação de fertilizantes baseada na altura e volume das plantas obtidas por sensor LiDAR. Além disso, quando se trata da pulverização, a deposição da calda é um dos fatores de grande importância para uma aplicação eficiente. De acordo com DUGA et al. (2015) uma das características da planta que mais se correlaciona com a deposição da calda na planta é a porosidade, uma variável importante a ser mapeada. Segundo KARP et al. (2018) existe um potencial para utilização do sensor LiDAR para a determinação da porosidade para a cultura do café.

Contudo, a poda é uma prática que vem sendo muito adotada na cultura do café, por facilitar o manejo e colheita, controle de severidade de doenças e obter maiores produtividades (SILVA et al., 2016). Sendo assim, esta prática poderia comprometer a variabilidade espacial das características geométricas das plantas, já que durante a poda as plantas são uniformizadas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi realizar um estudo preliminar da utilização de sensores com tecnologia LiDAR para a cultura do café, avaliar a variabilidade espacial dos parâmetros geométricos obtidos pelo sensor em um campo comercial em diferentes datas de coleta e gerar um mapa de porosidade de plantas.

## MATERIAL E MÉTODOS

As coletas foram realizadas utilizando um sensor LiDAR LSM200 (SICK, Waldkirch, Alemanha) com ângulo de escaneamento de 180°, resolução angular 1°, taxa de aquisição de 75 Hz, com medida de distância máxima de 8 m e resolução de 1 mm. De acordo com o manual do sensor, nestas configuração, o erro na medida distância obtida pelo sensor é de  $\pm 5$  mm. Para obtenção das coordenadas foi utilizando receptor GNSS GR-3 (Topcon, Tokyo, Japão) com correção RTK (*Real Time Kinematic*), com taxa de aquisição de 10 Hz e acurácia de  $\pm 10$  mm quando utilizada a correção. Sendo as taxas de coletas entre o

sensor e o GNSS diferentes, durante a coleta foi necessário realizar uma interpolação das coordenadas no domínio do tempo. A coleta foi realizada por meio de um software desenvolvido na linguagem de programação Python 2, em que os dados do GNSS e do sensor eram coletados de forma sincronizada.

A área utilizada se localiza no município de Rio Paranaíba – MG, na Fazenda Vereda, com coordenadas 19°22'35,40"S e 46°22'10,15"O. A cultivar plantada é a *Coffea arabica* L. cv. Catuaí 144, com espaçamento de 3,8 m x 0,6 m, sendo a área de aproximadamente 2 ha. Duas coletas foram realizadas, uma antes da colheita (24 de junho de 2017) e outra durante a floração (19 de outubro de 2017). Esta área teve a poda realizada no ano de 2011, com o intuito de formatar as plantas para a colheita utilizando máquinas.

A Figura 2 apresenta a estrutura e disposição dos equipamentos utilizada durante as coletas. O método utilizado para a coleta, processamento, obtenção das nuvens de pontos, cálculo do volume e altura é o mesmo descrito por COLAÇO (2017). Contudo, cada fileira da cultura foi separada em seções, cortes transversais à fileira da cultura (Figura 3), com largura de 0,2 m (três seções por planta) e apenas o algoritmo Convex Hull, da biblioteca rgeos do software R, foi utilizado para cálculo do volume das plantas.



FIGURA 2. Estrutura e disposição dos equipamentos utilizados durante a coleta dos dados

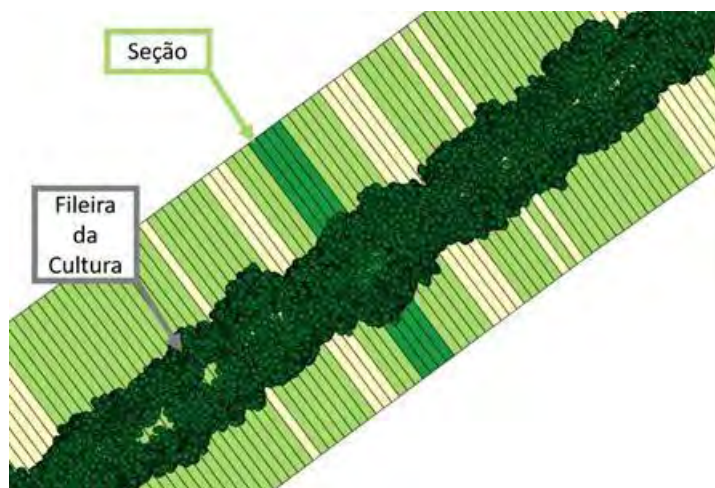


FIGURA 3. Seções transversais à cultura utilizadas para o cálculo da altura e volume da cultura

Após a realização da coleta e o processamento dos dados no software R (v. 3.4.2), a altura e volume das seções foram obtidos e o centroide de cada uma das seções foi extraído utilizando o software QGIS (v. 2.14.13). Posteriormente, os dados foram filtrados conforme o critério da média mais ou menos dois desvios padrão. Então, para cada uma das coletas foram geradas as estatísticas descritivas para altura e volume das seções e realizada a interpolação por krigagem utilizando o software R. Por fim, gerou-se uma matriz de correlações entre os resultados obtidos e uma classificação utilizando o algoritmo kmeans do software R foi realizada para cada variável, gerando mapas com duas classes.

O cálculo e geração dos mapas de porosidade, baseou-se na definição de porosidade apresentada por DUGA et al. (2015) em que a porosidade da planta é definida pela razão entre os espaços livres e aqueles ocupados pelos galhos e folhas. Logo, considerou-se como sendo porosidade, para cada uma das faces da cultura, o feixe de laser emitido pelo sensor que atingisse um objeto a uma distância maior que a distância entre o sensor e a linha central da cultura (Figura 4). Portanto, as nuvens de pontos obtidas foram processadas sem a utilização de um filtro de distância máxima utilizado no método proposto por COLAÇO (2017). Sendo assim, utilizando o software R calculou-se a porosidade por meio da razão entre os pontos que excederam a distância entre o sensor e a linha central da cultura e os pontos que atingiram as diferentes partes da planta.

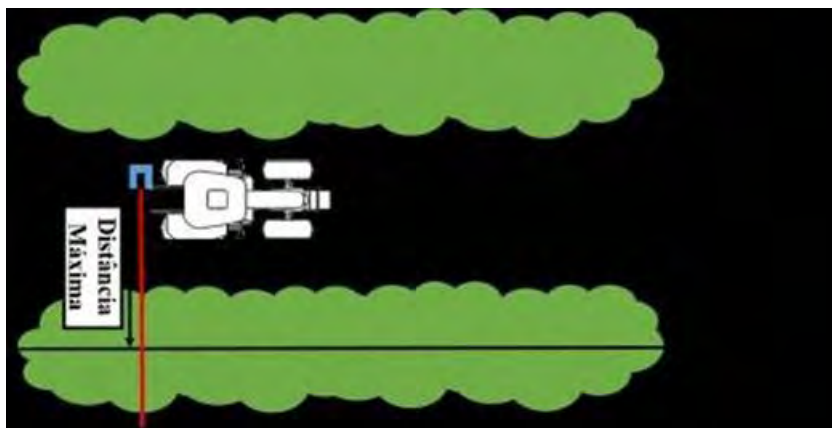


FIGURA 4. Ilustração da máxima distância considerada para determinação de porosidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva dos dados de altura e volume para as épocas de colheita e floração após a realização da filtragem. Verifica-se que tanto a altura quanto o volume são menores na época de floração do que os na colheita. Este fato pode estar relacionado à bienalidade do cafeeiro. De acordo com CAMARGO E CAMARGO (2001) o cafeeiro favorece o crescimento vegetativo em um ano e no outro a produção de frutos. Quando se realizou as coletas na época da colheita, o cafeeiro estava em ano de baixa produção (favorecimento de crescimento vegetativo), ou seja, plantas mais altas e volumosas. Já na época de floração, o cafeeiro estava entrando em um ano de alta produção (favorecimento da produção de frutos). Ou seja, maior parte da energia do cafeeiro é direcionada para a floração e produção de frutos e não desenvolvimento vegetativo, o que em conjunto com um volume irregular de precipitação que estava ocorrendo durante a floração, pode explicar essa redução na altura e volume das plantas.

TABELA 1. Estatística descritiva para volume e altura para as datas de coleta referentes à colheita e floração.

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	C.V.(%)
Altura na Colheita	2,91	0,19	2,92	2,41	3,37	6,55
Volume na Colheita	0,78	0,12	0,79	0,48	1,06	15,77
Altura na Floração	2,77	0,16	2,78	2,34	3,16	5,76
Volume na Floração	0,70	0,12	0,71	0,43	0,97	16,68

\* C.V. = coeficiente de variação

Na Figura 4 são apresentados os histogramas para cada uma das variáveis apresentados na Tabela 1. Os histogramas apresentam distribuição muito próxima à distribuição normal, possuindo formatos parecidos entre si. Na cultura da laranja, COLAÇO (2016) encontrou histogramas com dois diferentes picos, ocasionados por um grande número de plantas pequenas existentes em alguns talhões. Portanto, diferentemente do resultado encontrado na cultura da laranja, o cafeeiro possui uma maior uniformidade quanto à altura e volume das seções, gerando os histogramas apresentados na Figura 5.



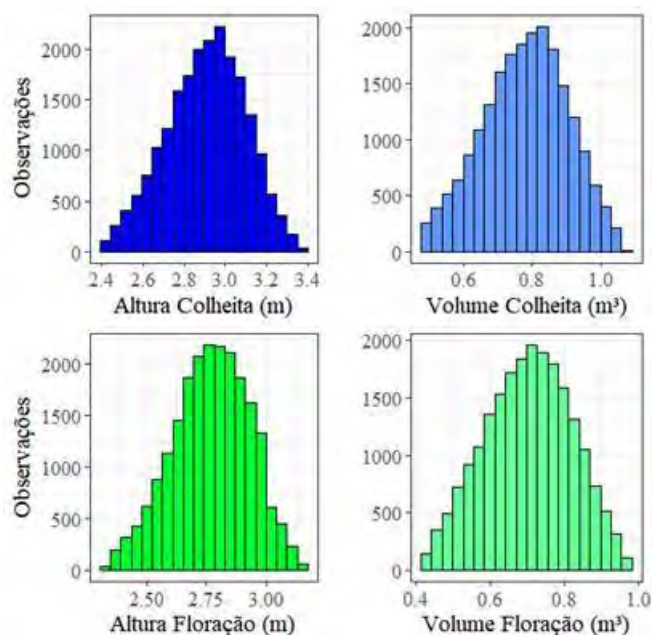


FIGURA 5. Histogramas para as variáveis volume e altura referente às épocas de coleta (colheita e floração).

O ajuste da krigagem foi obtido utilizando o modelo exponencial para todas as variáveis e épocas de coleta. A Tabela 2 apresenta os resultados da análise geoestatística obtida. É possível perceber um alcance muito baixo para todas as variáveis. Isso está relacionado à mudança de volume e altura de uma planta para outra, dependência espacial limitada à curtas distâncias, o que indica a necessidade da utilização de sensores para obtenção destes parâmetros geométricos estudados para que se tenha uma boa representação da variabilidade espacial. Além disso, é possível concluir que para as duas épocas de coleta, dentro do alcance a dependência espacial é alta, já que efeito pepita é baixo. Os mapas obtidos a partir da krigagem são apresentados na Figura 3.

TABELA 2. Análise geoestatística para volume e altura para as datas de coleta referentes à colheita e floração.

Variáveis	C0*	C1*	A (m)*
Altura na Colheita	0,0014	0,032	5,3
Volume na Colheita	0,0008	0,014	4,5
Altura na Floração	0	0,026	4,0
Volume na Floração	0,0004	0,013	3,8

\* C0 = efeito pepita; C1 = dependência da variabilidade espacial; A = alcance;

Na Figura 6A é possível perceber alguma correlação entre altura e volume dentro de uma mesma época de coleta. Além disso, visualmente há uma correlação entre os mapas obtidos na colheita e floração. Ainda, algumas regiões com plantas menores e de menor volume são coincidentes nos quatro mapas apresentados. A Tabela 3 apresenta a matriz de correlação dos dados apresentados na Figura 6A e as correlações entre altura e volume, em uma mesma data de coleta, se assemelham muito aos coeficientes encontrados por COLAÇO (2016) para a cultura da laranja. Além disso, apesar de as correlações encontradas entre os mapas serem baixas, quando realizada a classificação dos mapas em dois níveis, verificou-se que muitas regiões são coincidentes. Apenas as classes geradas para a variável altura na colheita é que difere das demais (Figura 6B).

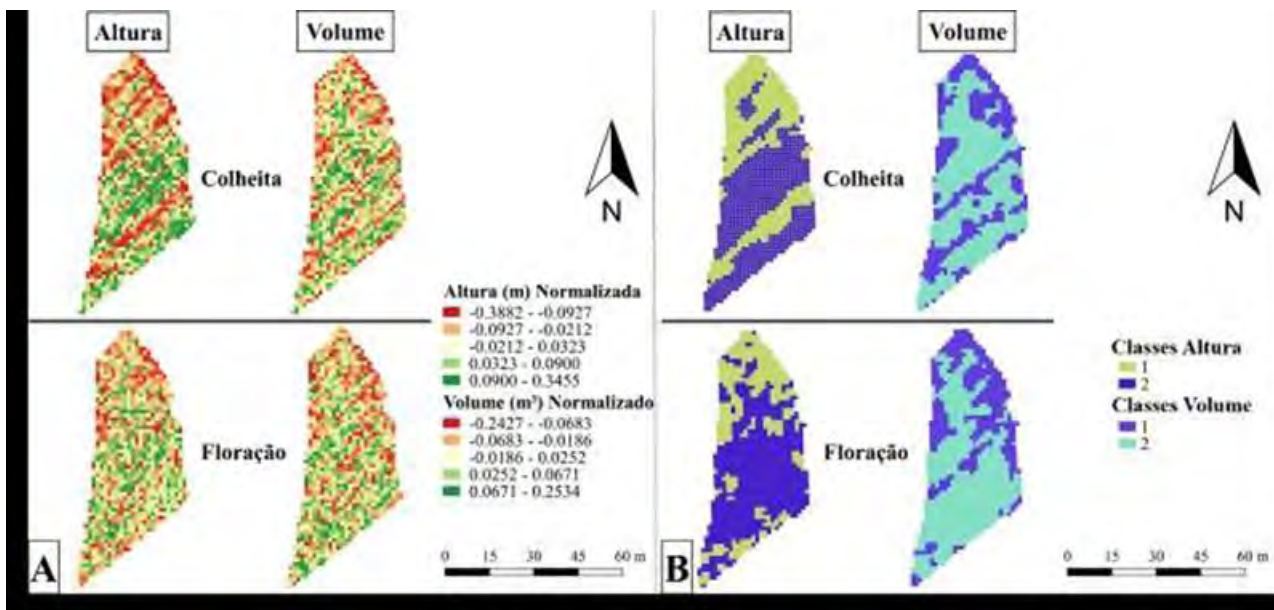


FIGURA 6. A- Mapas para as variáveis volume e altura referente as épocas de coleta (colheita e floração). B- Classificação em dois níveis de cada uma das variáveis.

TABELA 3. Matriz de correlação para volume e altura para as datas de coleta referentes à colheita e floração.

Variáveis	Volume na Colheita	Volume na Floração	Altura da Colheita
Volume na Floração	0,51	-	-
Altura da Colheita	0,66	0,45	-
Altura na Floração	0,47	0,75	0,56

A avaliação da porosidade foi realizada apenas para os dados coletados na floração. Com base na Figura 7, é possível afirmar que o sensor LiDAR empregado na cultura do café consegue fornecer dados de porosidade das plantas, confirmando o potencial de utilização deste sensor para esta finalidade apresentado por KARP et al. (2018). A Figura 7B apresenta uma aproximação de uma região do mapa da Figura 7A, as duas linhas de pontos existentes de cada lado da linha da cultura correspondem às duas faces das plantas lidas pelo sensor e a imagem em destaque apresenta nuvem de pontos referente aquela região apontada. Com base nesta figura é possível concluir que os dados de porosidade gerados são fiéis ao que se pode observar a partir da nuvem de pontos. A Tabela 4 apresenta a estatística descritiva dos dados de porosidade.

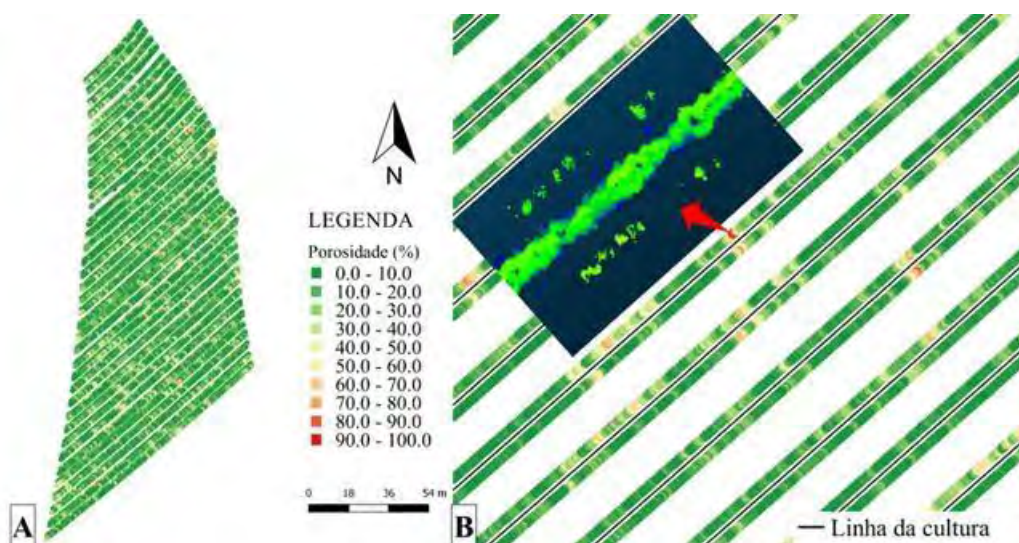


FIGURA 7. A- Mapa de porosidade para os dados coletados na floração. B-Aproximação de uma região do mapa da Figura 5A e apresentação da nuvem de pontos de uma das linhas

TABELA 4. Estatísticas descritivas dos dados de porosidade na floração.

Variável	Média	Desvio Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo
Porosidade Floração (%)	11,0	13,5	6,1	0	100

Com base na Tabela 4 e no mapa apresentado na Figura 7A é possível concluir que nesta área existe variabilidade da porosidade de plantas, com locais em que não há porosidade, ou seja, os pontos não ultrapassaram a linha da cultura e outros locais com porosidade de 100%. Contudo a porosidade média da área é de 11%, portanto os resultados comprovam a necessidade de desenvolver um método de aplicação que considere a porosidade nos cálculos para pulverização e assim avaliar se há uma diferença significativa na deposição de calda quando levado em consideração os dados obtidos. Além disso, é necessário o desenvolvimento de uma metodologia para que os dados de porosidade obtidos pelo sensor sejam avaliados.

## CONCLUSÃO

A utilização do sensor LiDAR permitiu a obtenção de dados consistentes e que podem ser utilizados para o manejo da cultura do café. Além disso, a partir da análise da dependência espacial, é possível concluir que os parâmetros geométricos dos dados do campo comercial estudado possuem uma variação planta a planta, o que confirma a necessidade da utilização de sensores para obtenção de dados confiáveis. Observou-se baixa correlação entre os mapas obtidos na colheita e na floração ( $r < 0,56$ ). Por fim, o mapa de porosidade de plantas apresenta potencial de ser utilizado para aumentar a eficiência da pulverização, contudo, novas pesquisas são necessárias para explorar essa oportunidade.

**AGRADECIMENTOS:** À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela bolsa de Iniciação Científica (2016/16100-2) fornecida ao primeiro autor e à Fazenda Vereda pela disponibilização da área.

## REFERÊNCIAS

- ARNÓ, J.; ESCOLÀ, A.; VALLÈS, J.M.; LLORENS, J.; SANZ, R.; MASIP, J.; PALACÍN, J.; ROSELL, J. R. Leaf area index estimation in vineyards using a ground-based LiDAR scanner. **Precision Agriculture**, v. 14, p. 290-306, 2013.
- CAMARGO, A.P. de, CAMARGO, M.B.P de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v. 60, p 65-68, 2001.
- COLAÇO, A.F. Mobile terrestrial laser scanner for site-specific management in orange crop. 2016. 87 p. **Tese (Doutorado) - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**. Piracicaba, 2016.
- COLAÇO, A. F., TREVISAN, R.G., MOLIN, J.P., ROSSELL-POLO, J.R., ESCOLÀ, A. A method to obtain orange crop geometry information using a mobile terrestrial laser scanner and 3D modeling. **Remote Sensing**, v. 9, n. 8, p. 763, 2017.
- DEL-MORAL-MARTÍNEZ, I., ARNÓ, J., SANZ, R., MASIP-VILALTA, J., & ROSELL-POLO, J. R. Georeferenced scanning system to estimate the leaf wall area in tree crops. **Sensors**, n. 15, v. 4, p. 8382-8405, 2015.
- DUGA, A. T., RUYSEN, K., DEKEYSER, D., NUYTENS, D., BYLEMANS, D., NICOLAI, B. M., & VERBOVEN, P. Spray deposition profiles in pome fruit trees: Effects of sprayer design, training system and tree canopy characteristics. **Crop Protection**, n. 67, p. 200-213, 2015.
- ESCOLÀ, A. MARTÍNEZ-CASANOVAS, J. A.; RUFAT, A.; ARBONÉS, A.; SANZ, R.; SEBÉ, F.; ARNÓ, J.; MASIP, J.; PASCUAL, M; GREGORIO, M; RIBES-DASI, M.; VILLAR, J. M.; ROSELL-POLO, J.R. A mobile terrestrial laser scanner for tree crops: point cloud generation, information extraction and validation in an intensive olive orchard. In: J.V. Stafford (ed.). **Precision agriculture '15**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2015, p. 337-344.
- GIL, E.; LLORENS, J.; LLOP, J.; FÀBREGAS, X.; ESCOLÀ, A. ROSELL, J. R. Variable rate sprayer. Part 2 – Vineyard prototype: design, implementation and validation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 95, p. 136-150, 2013.
- KARP, F.H.S.; COLAÇO, A.F.; TREVISAN, R.G.; MOLIN, J.P. Canopy parameters in coffee orchards obtained by a mobile terrestrial laser scanner. In: 14th International Conference on Precision Agriculture, 2018, Montreal, Quebec, Canada. **Proceedings of the 14th International Conference on Precision Agriculture**. Monticello, IL, USA: International Society of Precision Agriculture, 2018.
- LLORENS, J.; GIL, E.; LLOP, J.; ESCOLÀ, A. Ultrasonic and LiDAR sensors for electronic canopy

characterization in vineyards: advances to improve pesticide application methods. **Sensors**, v.11, p. 2177-2194, 2011.

MIRANDA-FUENTES, A.; LLORENS, J.; GAMARRA-DIEZMA, J. L.; Gil-Ribes, J. A.; GIL, E. Towards an optimized method of olive tree crown volume measurement. **Sensors**, v. 15, p. 3671-3687, 2015.

MOLIN, J.P.; AMARAL, L.R.; COLAÇO, A.F. Agricultura de Precisão. Oficina de Textos, 2015.

MOORTHY, I; MILLER, JR; BERNI, JAJ; ZARCO-TEJADA, P; HU, B; CHEN, J. Field characterization of olive (*Olea europea* L.) tree crown architecture using terrestrial laser scanning data. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 151, p. 204–214, 2011.

RINALDI, M. ; LLORENS, J.; GIL, E. Electronic characterization of the phenological stages of grapevine using a LIDAR sensor. In: J.V. Stafford (ed.). **Precision agriculture '13**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2013, p. 603-609.

SANZ-CORTIELLA, R; LLORENS, J.; ESCOLÀ, A.; ARNÓ, J.; RIBES-DASI, M.; MASIP, J.; CAMP, F.; GRÀCIA, F.; SOLANELLES, F.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; PALLEJÀ, T.; PALACÍN, J; GREGORIO, E.; MARTÍNEZ, I.; ROSELL, J. R. Innovative LiDAR 3D dynamic measurement system to estimate fruit-tree leaf area. **Sensors**, v. 11, p. 5769-5791, 2011.

SILVA, V. A.; REZENDE, J. C.; CARVALHO, A. M.; CARVALHO, G. R.; REZENDE, T. T.; FERREIRA, A. D. Recuperação de cultivares de café submetidas ao esqueletamento aos quatro anos e meio de idade. **Coffee Science**, v. 11, n. 1, p. 55-64, 2016.

ZAMAN, Q. U.; SCHUMANN, A. W.; MILLER, W. M. Variable rate nitrogen application in Florida citrus based on ultrasonically-sensed tree size. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 21, n. 3, p. 331–336, 2005.

WALKLATE, P.J.; CROSS, J.V.; RICHARDSON, G.M.; MURRAY, R.A.; BAKER, D.E. Comparison of different spray volume deposition models using LiDAR measurements of apple orchards. **Biosystems Engineering**, v. 82, n.3, p. 253–267, 2002.

WALKLATE, P.J.; CROSS, J.V.; RICHARDSON, G.M.; BAKER, D.E.; MURRAY, R.A. A generic method of pesticide dose expression: Application to broadcast spraying of apple trees. **Annals of Applied Biology**, v. 143, p. 11-23, 2003.