











ESTIMATIVA DA ALTURA DE ÁRVORES DE OLIVEIRAS A PARTIR DE VARIÁVEIS OBTIDAS POR IMAGENS DE VANT E DADOS DE INVENTÁRIO

Gabriel Paes Marangon¹, Bruna Denardin da Silveira¹, Carolina de Souza Lopes¹, Matheus
Teixeira Martins¹, Rita de Cassia Machado Rodrigues¹, Patricia Ferreira Oliveira¹, Juan
Douglas dos Santos Souza¹, Adilberto Vieira Romero¹

1 Universidade Federal do Pampa, São Gabriel, RS, Brasil. E-mail: gabrielmarangon@unipampa.edu.br; brunasilveira@unipampa.edu.br; carolinalopes.aluno@unipampa.edu.br; mteixeiramartins@gmail.com; ritarodrigues.aluno@unipampa.edu.br; patriciaferreira.aluno@unipampa.edu.br; juansouza.aluno@unipampa.edu.br; adilbertoromero.aluno@unipampa.edu.br

Autor correspondente: Gabriel Paes Marangon. E-mail: gabrielmarangon@unipampa.edu.br.

RESUMO

No setor florestal, o conhecimento dos recursos é obtido por meio da medição ou estimação de atributos das árvores, florestas e características das áreas, utilizando instrumentos e métodos apropriados. Com isso, o estudo objetivou estimar a altura total das árvores em um pomar de oliveiras, em São Gabriel, Rio Grande do Sul, utilizando receptores GNSS, VANTs, softwares e algoritmos. Foram obtidas medidas biométricas como altura total, circunferência e raio de copa de 19 parcelas e processadas as imagens obtidas por VANT, permitindo a geração de produtos de dados, como ortomosaico, modelos digitais de superfície e de terreno. A altura das árvores foi extraída desses produtos, além de realizar-se o delineamento manual de suas copas. Foram testados modelos de regressão e algoritmos de aprendizado de máquina para estimar a altura total. Os resultados mostraram que o modelo de regressão 3 e o algoritmo Random Forest apresentaram melhor desempenho, com alto coeficiente de determinação e baixo erro médio quadrático. Esses resultados indicam que a utilização de tecnologias como VANTs e algoritmos de aprendizado de máquina pode fornecer estimativas precisas da altura das árvores em pomares de oliveiras.

Palavras-chave: Dendrometria; drones; inventário florestal

ESTIMATION OF OLIVE TREE HEIGHT FROM VARIABLES OBTAINED BY UAV IMAGES AND INVENTORY DATA

ABSTRACT

In the forest sector, knowledge of resources is obtained by measuring or estimating the attributes of trees, forests, and area characteristics, using appropriate instruments and methods. Thus, the study aimed to estimate the total height of trees in an olive grove, in São Gabriel, Rio Grande do Sul, using GNSS receivers, UAVs, software and algorithms. Biometric measurements such as total height, circumference, and crown radius of 19 plots were obtained and the images obtained by UAV were processed, allowing the generation of data products, such as orthomosaics, digital surface and terrain models. The height of the trees was extracted from these products, in addition to the manual delineation of their crowns. Regression models and machine learning algorithms were tested to estimate total height. The results showed that the regression model 3 and the Random Forest algorithm performed better, with a high coefficient of determination and low mean squared error. These results indicate that the use of technologies such as UAVs and machine learning algorithms can provide accurate estimates of tree height in olive groves.

Key words: Dendrometry; drones; forest inventory

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

No Brasil, a oliveira foi introduzida no século XIX, porém sua exploração comercial ocorreu a partir do século XXI nas regiões Sul e Sudeste, resultado de pesquisas relacionadas à melhoria do sistema de cultivo e plantio de novas áreas com base no zoneamento agroclimático (Villa & Oliveira, 2012). No Rio Grande do Sul (RS), os plantios comerciais estão concentrados nos municípios de Bagé, Cachoeira do Sul, Caçapava do Sul, Dom Pedrito, Encruzilhada do Sul, Rio Grande, Santana do Livramento, Vacaria e São Gabriel (Ricalde *et al.*, 2015).

Em 2019, a oferta nacional de azeite foi de aproximadamente 260 mil litros, com quase 200 mil litros produzidos no RS (Ibraoliva, 2023). A espécie *Olea europaea* L., da família Oleaceae, é a única que produz frutos comestíveis entre as plantas do gênero (Rugini, 1995; Loureiro *et al.*, 2007).

No setor florestal, é fundamental obter conhecimento sobre os recursos existentes através da medição ou estimação de atributos das árvores e das florestas, assim como das áreas onde estão localizadas, utilizando instrumentos e métodos apropriados (Soares *et al.*, 2009). A altura é uma importante característica da árvore e é utilizada para estimar o volume de árvores individuais e, em conexão com a idade, determinar a qualidade de uma área para produção de madeira (Soares *et al.*, 2009). Compreender essa variável é importante, pois reflete as respostas em crescimento das árvores em relação aos fatores ambientais em que estão inseridas (Finger, 1992).

O processamento de imagens de VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) usando técnicas de processamento fotogramétrico, como *Structure from Motion* (SfM) e *Multi-View Stereo* (MVS), permite o preparo de produtos avançados, como nuvens de pontos tridimensionais, ortomosaicos, modelos digitais de superfície (MDS) e modelos digitais de terreno (MDT) (Marques *et al.*, 2019). Esses produtos refletem dados básicos na caracterização de cada árvore (Dong *et al.*, 2020).

Sendo assim, o presente estudo tem como objetivo, realizar a estimativa da variável altura total de árvores individuais de um pomar de oliveiras em São Gabriel, RS, por meio da utilização de tecnologias, como os receptores GNSS, VANT, *softwares* e algoritmos.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é um pomar de oliveiras de 18 ha localizado em São Gabriel, RS, às margens da BR-290. O clima da região é subtropical úmido com verões quentes, precipitação total média anual de 1424 mm e temperatura média anual de 19,5 °C (Alvares *et al.*, 2013). O solo da área é predominantemente classificado como Planossolo Háplico Eutrófico típico, com características de ser mal drenado (Santos *et al.*, 2018).

Através de inventário florestal realizado na área, utilizando amostragem sistemática com 19 parcelas (400 m²) obteve-se as variáveis biométricas altura total, diâmetro à 30 cm de altura ($d_{0,3}$), diâmetro e área de copa, sendo que a altura total foi obtida com uma mira falante de até 4 m.

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Utilizou-se dois receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*) de dupla frequência, um como base instalado dentro do pomar e o outro como *rover*. Para melhorar a precisão no levantamento aéreo realizado com VANT foram lançados pontos de apoio em campo, incluindo 11 pontos de controle e 6 pontos de verificação no *software* Google Earth Pro. Ainda se utilizou alvos artificiais em campo para visualização dos vértices das parcelas e dos pontos de apoio nas imagens capturadas por VANT.

Para o levantamento aéreo foi utilizado um VANT da marca DJI modelo Mavic 2 Zoom. O voo foi realizado em uma área de 20 ha, com altura de voo de 200 m, velocidade de 33 Km/h, sobreposição frontal de 80 e lateral de 60%, gerando 132 imagens. O processamento das imagens foi realizado no *software* Agisoft Metashape e o ortomosaico, MDS e MDT, resultantes foram exportados para pós-processamento. Para obter o modelo digital de altura (MDH) realizou-se a subtração entre MDS e MDT, como descrito por Dong *et al.* (2020).

A altura das árvores foi extraída utilizando o complemento *Point Sampling Tool*, que coleta atributos de polígonos e valores de *Raster* de múltiplas camadas em pontos de amostragem especificados (Jurgiel *et al.*, 2019). A altura das árvores foi obtida a partir do vetor de pontos gerado anteriormente.

No *software* QGis, foi realizado o delineamento manual das copas das árvores individuais das parcelas georreferenciadas e a extração automatizada dos parâmetros dessas copas das árvores individuais foram realizadas no *software* R, utilizando os pacotes rLiDAR, raster, rgdal e rgeos.

A partir das variáveis extraídas do MDH gerado pelas imagens, como altura total (h), área de copa (acVANT) e diâmetro de copa (dcVANT) idealizaram-se as estimativas da variável altura total (h), por meio de modelos de regressão e técnicas de aprendizado de máquina (Tabela 1). Foram testados diferentes algoritmos também para comparação com os modelos de regressão, incluindo as redes neurais, Random Forest, Gradient Boosting, SVM (Support Vector Machines) e K-Nearest Neighbors. A rede neural foi empregada pelo método Backpropagation, com três neurônios na camada oculta.

Tabela 1. Modelos testados para estimar altura total de árvores individuais em um pomar de oliveiras em São Gabriel, RS, Brasil

| Número | Modelo |
|--------|---|
| 1 | $H = \beta_0 + \beta_1 x d_{0,3} + \varepsilon$ |
| 2 | $H = \beta_0 + \beta_1 x d_{0,3} + \beta_2 x acVANT + \varepsilon$ |
| 3 | $H = \beta_0 + \beta_1 x d_{0,3} + \beta_2 x acVANT + \beta_3 x dcVANT + \varepsilon$ |
| 4 | $H = \beta_0 + \beta_1 x acVANT + \varepsilon$ |
| 5 | $H = \beta_0 + \beta_1 x acVANT + \beta_2 x dcVANT + \varepsilon$ |

Em que: H – altura total; $d_{0,3}$ = diâmetro a 30 cm do solo; acVANT – área de copa obtida por VANT; dcVANT – diâmetro de copa obtido por VANT; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ = parâmetros dos modelos; ε = erro aleatório.

O algoritmo Random Forest utilizou a combinação de árvores de decisão para fazer previsões (ensemble), sendo ajustado com o número padrão de 500 árvores. O conjunto de dados foi dividido em 80% para ajuste e 20% para validação dos modelos e algoritmos.

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

As melhores equações foram selecionadas com base nos critérios estatísticos recomendados por Schneider *et al.* (2009), que foram: coeficiente de determinação (R^2), erro médio quadrático (RMSE) e distribuição dos resíduos ($Res(\%)$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos de regressão 1, 2 e 3 se mostraram mais eficazes em termos de R^2 e RMSE, indicando uma boa ajustabilidade aos dados e menor erro de previsão. A Rede Neural obteve um desempenho comparável aos modelos de regressão, com valores de R^2 e RMSE próximos. No entanto, o Random Forest se destacou entre os algoritmos, apresentando o maior R^2 no conjunto de treinamento e uma boa performance no conjunto de validação, indicando uma boa capacidade de generalização. Além disso, teve o menor RMSE no conjunto de treinamento, indicando uma boa precisão nas previsões (Tabela 2).

Tabela 2. Modelos, algoritmos e critérios estatísticos testados para estimativas de variável altura total (m) para árvores de oliveiras em pomar localizado no RS

| Modelo/algoritmo | R^2 Treino | R^2 Validação | RMSE Treino | RMSE Validação |
|---------------------|--------------|-----------------|-------------|----------------|
| Modelo 1 | 0.8509 | 0.8318 | 0.1921 | 0.1910 |
| Modelo 2 | 0.8526 | 0.8304 | 0.1911 | 0.1908 |
| Modelo 3 | 0.8567 | 0.8502 | 0.1884 | 0.1781 |
| Modelo 4 | 0.4555 | 0.3866 | 0.3673 | 0.3627 |
| Modelo 5 | 0.4608 | 0.4183 | 0.3655 | 0.3528 |
| Rede Neural | 0.8500 | 0.8332 | 0.1930 | 0.1890 |
| Random Forest | 0.9481 | 0.7986 | 0.1155 | 0.2082 |
| Gradient Boosting | 0.8569 | 0.8360 | 0.1884 | 0.1850 |
| SVM | 0.8568 | 0.8192 | 0.2005 | 0.2093 |
| K-Nearest Neighbors | 0.8720 | 0.8236 | 0.1802 | 0.1933 |

O Gradient Boosting também obteve bons resultados, como se observa nos resíduos na Figura 1, com um alto R^2 no conjunto de treinamento e validação, além de um baixo RMSE, indicando um bom ajuste aos dados e capacidade de generalização. O SVM e o K-Nearest Neighbors apresentaram bons resultados, porém com performance ligeiramente inferior no conjunto de validação, indicando uma possível tendência de overfitting.

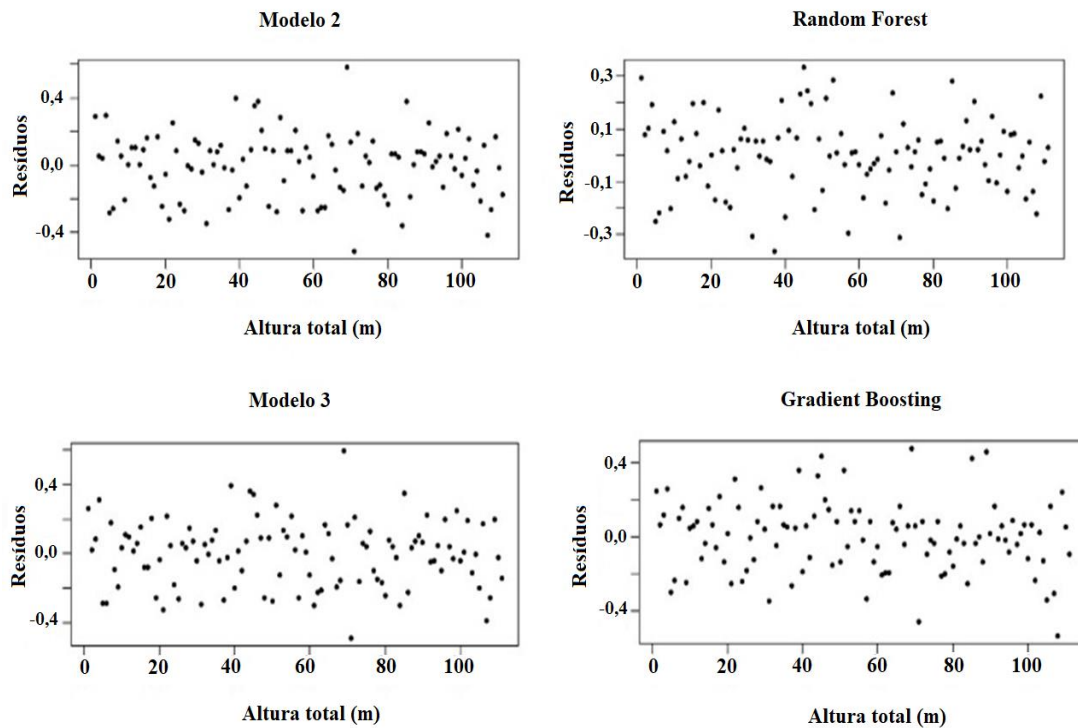


Figura 1. Distribuição gráfica dos resíduos para a variável altura total referentes as técnicas com melhores resultados em um pomar de oliveiras localizado em São Gabriel, RS, Brasil

Em resumo, os modelos de regressão 3 e o Random Forest mostraram-se promissores para prever a variável de interesse com base nos resultados do R^2 e RMSE. No entanto, é importante considerar outros fatores, como a interpretabilidade dos modelos e contexto do problema, ao escolher o melhor algoritmo. Os modelos 2 e 3 apresentaram resíduos próximos de zero, indicando um bom ajuste aos dados e precisão na explicação da variável altura. Já os algoritmos, tanto o Gradient Boosting quanto o Random Forest apresentaram resíduos próximos de zero, com leve vantagem para o Random Forest, indicando a captura dos padrões presentes nos dados e fornecendo previsões precisas.

CONCLUSÃO

A comparação entre modelos de regressão e técnicas de aprendizado de máquina na estimativa da altura de oliveiras revelou que ambas são viáveis e fornecem estimativas precisas. No entanto, a técnica de aprendizado de máquina Random Forest, mostrou-se especialmente eficaz na captura de padrões complexos e na geração de previsões mais acuradas. Isso ressalta a importância do uso de tecnologias avançadas, como imagens de drone e algoritmos de aprendizado de máquina, no monitoramento e manejo de plantações de oliveiras, auxiliando na tomada de decisões no contexto agrícola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p.711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Dong, X.; Zhang, Z.; Yu, R.; Tian, Q.; Zhu, X. Extraction of Information about Individual Trees from High-Spatial-Resolution UAV-Acquired Images of an Orchard. **Remote Sensing**, v. 12, n. 1, e133, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12010133>.
- Finger, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM; CEPEF; FATEC, 1992. 269p. Instituto Brasileiro de Olivocultura – Ibraoliva. **Projeção do mercado oleícola para os próximos anos**. Disponível em: <https://www.ibraoliva.com.br/sobre>. 02 Jun. 2023.
- Jurgiel, B.; Sebastien, P.; Giudiceandrea, A.; Dreke, D. **Point sampling tool. 0.5.3**. QGIS, 2019. Disponível em: <https://plugins.qgis.org/plugins/pointssamplingtool/version/0.5.3/>. Acesso em: 12 Jun. 2023.
- Loureiro, J.; Rodriguez, E.; Costa, A.; Santos, C. Nuclear DNA content estimations in wild olive (*Olea europaea* L. ssp. *europaea* var. *sylvestris* Brot.) and Portuguese cultivars of *O. europaea* using flow cytometry. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 54, p.21-25, 2007. <https://doi.org/10.1007/s10722-006-9115-3>.
- Marques, P.; Pádua, L.; Adão, T.; Hruska, J.; Peres, E.; Sousa, A.; Sousa, J. J. UAV-Based Automatic Detection and Monitoring of Chestnut Trees. **Remote Sensing**, v. 11, n. 7, e855, 2019. <https://doi.org/10.3390/rs11070855>.
- Ricalde, M. P.; Nava, D. E.; Loeck, A. E.; Coutinho, E. F.; Bisognin, A. e Garcia, F. R. M. Insects related to olive culture in Rio Grande do Sul State, Brazil. **Ciência Rural**, v. 45, n. 12, p.2125-2130, 2015. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141477>.
- Rugini, E. Somatic embryogenesis in olive (*Olea europaea* L.). In: Jain, S. M.; Gupta, K.; Newton, J. (Ed.). **Somatic embryogenesis in woody plants**. Dordrecht: Kluwer, 1995. p.171-189. ((FOSC,volume 44-46). https://doi.org/10.1007/978-94-011-0491-3_11.
- Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. A.; Lumbreras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A.; Araujo Filho, J. C.; Oliveira, J. B.; Cunha, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1094003/2/SiBCS2018ISBN9788570358004.pdf>. Acesso em: 12 Jun. 2023.
- Schneider, P. R.; Schneider, P. S. P.; Souza, C. A. M. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal**. 2.ed. Santa Maria: Editora Facos, 2009. 294p.
- Soares, C. P. B.; Paula Neto, F.; Souza, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: Editora UFV, 2009. 276 p.
- Villa, F.; Oliveira A. F. Origem e expansão da oliveira na América Latina. In: Oliveira, A. F. (Ed.). **Oliveira no Brasil: tecnologias de produção**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2012. p.21-38.