

Estimativa da altura do dossel de milho por diferentes métodos baseados em UAV

RESUMO

Avanços em tecnologias de sensoriamento remoto, como a fenotipagem de alto rendimento (HTP) com UAVs, têm aprimorado a coleta de dados morfológicos em experimentos agrícolas. Este estudo comparou os métodos computacionais FIELDImageR, Pliman e QGIS com o método manual para estimativa da altura de plantas de milho. As alturas foram extraídas a partir de modelos digitais de superfície e terreno obtidos por imagens aéreas. O pacote Pliman apresentou maior correlação com os dados de campo ($r = 0.75$), seguido do QGIS ($r = 0.74$). O FIELDImageR mostrou limitações para essa variável nas condições do experimento. Os métodos Pliman e QGIS demonstraram sensibilidade estatística entre os híbridos, similar ao método convencional. As imagens aéreas mostraram-se eficazes para fenotipagem morfológica. Conclui-se que métodos computacionais calibrados são promissores para uso em larga escala.

Palavras-chave: Fotogrametria; Agricultura de precisão; Fenotipagem; Sensoriamento remoto.

1. INTRODUÇÃO

A fenotipagem de alto rendimento tem promovido transformações na ciência vegetal, permitindo mensurações rápidas, não destrutivas e com maior escalabilidade (Sheikh et al., 2024). UAVs equipados com sensores de alta resolução viabilizam a obtenção de ortomosaicos, modelos digitais de superfície (DSM) e de terreno (DTM), a partir dos quais se extrai a altura do dossel (Yu et al., 2022). Esses dados possibilitam análises morfológicas precisas em ambientes experimentais. Sua aplicação tem se tornado indispensável em programas de melhoramento genético.

Softwares e pacotes computacionais vêm sendo desenvolvidos para processar essas informações de forma automatizada. Destacam-se os pacotes FIELDImageR (Matias et al., 2020) e Pliman (Olivoto, 2022), ambos no ambiente R, além do software QGIS, amplamente usado em análises geoespaciais. Cada ferramenta adota abordagens distintas para segmentação de parcelas e remoção de solo, o que pode influenciar na acurácia dos resultados. Comparações sistemáticas entre elas ainda são escassas, sobretudo em condições tropicais.

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo comparar três métodos computacionais para estimativa da altura de plantas de milho via UAV: FIELDImageR, Pliman e QGIS. Os resultados foram confrontados com medições manuais de campo. A análise visou identificar a correlação, precisão estatística e sensibilidade dos métodos. Espera-se fornecer subsídios técnicos para a escolha de ferramentas mais confiáveis em fenotipagem aérea.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda-Escola do IFSULDEMINAS, Campus Inconfidentes, situada a 914 m de altitude (22°18'37" S, 46°19'55" W). A área experimental foi

dividida em 20 parcelas, conduzidas sob sistema de plantio convencional, com espaçamento de 0,8 m entre linhas e densidade populacional final de 75.000 plantas por hectare. A semeadura foi realizada no dia 1º de novembro de 2024, utilizando quatro híbridos de milho.

A altura das plantas foi medida manualmente com trena topográfica, do solo até a inserção da folha bandeira, em dez plantas aleatórias por parcela. No mesmo dia, no estágio fenológico VT, foi realizado o levantamento aéreo por UAV DJI Phantom 4 Pro V2, a 40 m de altura. A média aritmética das alturas foi calculada por parcela. Cinco pontos de controle no solo (GCP) foram distribuídos uniformemente para garantir referências geográficas precisas (Borges et al., 2022).

As áreas úteis das parcelas foram utilizadas para extração da altura de planta utilizando o QGIS 3.22.15 (QGIS Development Team, 2023), os pacotes FIELDimageR (Matias et al., 2020) e Pliman (Olivoto, 2022), no ambiente R (R Core Team, 2024). A altura das plantas foi estimada digitalmente pela diferença entre DSM e DTM ($DEM = DSM - DTM$). Os dados foram submetidos a testes de normalidade (Shapiro & Wilk, 1965), homogeneidade de variância (Bartlett, 1937) e independência dos resíduos (Durbin & Watson, 1950). Em seguida, foi realizada ANOVA e agrupamento de médias pelo teste de Scott-Knott (1974).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição das alturas de plantas de milho evidenciou diferenças entre os métodos de medição. O método manual (PHM) apresentou maior consistência e médias mais elevadas, destacando o híbrido B2612 PWU. Em contrapartida, os métodos computacionais FIELDimageR (PHFI), Pliman (PHPL) e QGIS (PHQG) apresentaram maior dispersão, indicando variabilidade nas estimativas, especialmente no híbrido B2688 PWU (PHFI) e em B2782 PWU (PHQG).

A análise de variância (Tabela 1) revelou efeito significativo dos tratamentos ($p < 0,05$) nos métodos PHM, PHPL e PHQG, evidenciando diferenças entre híbridos. PHFI, por outro lado, não apresentou significância, possivelmente devido à forma de processamento dos dados. Os blocos também apresentaram variação estatística nos métodos com significância. Todos os métodos mostraram baixos coeficientes de variação (3,52% a 7,49%), caracterizando boa precisão experimental (Pimentel-Gomes, 2022).

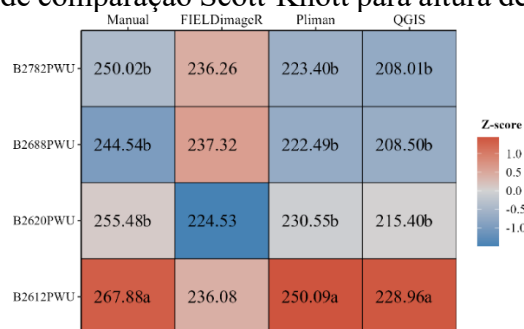
Tabela 1. Resumo da análise de variância combinada para diferentes métodos de obtenção da altura de plantas (cm) de quatro híbridos de milho.

Fonte de variação	Quadrado Médio				
	DF	PHM	PHFI	PHPL	PHQG
Tratamento	3	498.76	182.29	822.2	476.87
Bloco	4	1043.24	503.78	838.35	731.58
Resíduo	12	80.27	305.66	83.26	98.52
p-valor					
Tratamento	3	$8.62 \times 10^{-3} *$	0.63 ^{NS}	$1.46 \times 10^{-3} *$	0.01 *
Bloco	4	$2.56 \times 10^{-4} *$	0.22 ^{NS}	$8.23 \times 10^{-4} *$	$2.99 \times 10^{-3} *$
CV (%)	-	3.52	7.49	3.94	4.61

Média	-	254.48	233.54	231.63	215.22
-------	---	--------	--------	--------	--------

O teste de Scott-Knott (Figura 5) evidenciou a limitação do PHFI em distinguir os híbridos, enquanto PHM, PHPL e PHQG apresentaram agrupamentos distintos. O híbrido B2612 PWU manteve-se com as maiores médias nos três métodos. O modelo CHM do FIELDImageR, baseado na diferença entre DSM e DTM (Matias et al., 2020), pode não ter capturado adequadamente as variações fenotípicas observadas.

Figura 5. Resultado do teste de comparação Scott-Knott para altura de plantas a 5% de significância.



Portanto, métodos como PHM, PHPL e PHQG se mostraram mais sensíveis para avaliação da altura de plantas. Resultado semelhante foi reportado por Nascimento et al. (2024), que observaram alta correlação entre valores de campo e estimativas no QGIS com o uso do plugin Terrain Profile. No presente estudo, a abordagem por média de pixels pode ter contribuído para as discrepâncias observadas.

Dessa forma, recomenda-se o uso do método PHPL para medições mais precisas da altura de plantas de milho, considerando sua sensibilidade estatística e comportamento semelhante ao método convencional.

4. CONCLUSÃO

As imagens aéreas foram eficazes na estimativa da altura de plantas de milho, com destaque para os métodos Pliman (231,63 cm; CV = 3,94%) e QGIS (215,22 cm; CV = 4,61%), que apresentaram valores próximos ao método manual (254,48 cm; CV = 3,52%) e significância entre híbridos ($p < 0,05$). O híbrido B2612 PWU apresentou as maiores alturas e o B2688 PWU, as menores. O FIELDImageR (233,54 cm; CV = 7,49%) mostrou maior variabilidade e ausência de distinção entre genótipos ($p = 0,63$), limitando sua aplicação. A análise de variância e o teste de Scott-Knott reforçaram a maior sensibilidade dos métodos Pliman e QGIS. Assim, recomenda-se o uso do Pliman como alternativa precisa ao método manual, devido à sua consistência e eficiência.

AGRADECIMENTOS

Ao IFSULDEMINAS Campus Inconfidentes, aos professores, ao grupo GEAGRO e ao CNPq.

REFERÊNCIAS

BARTLETT, M. S. Properties of sufficiency and statistical tests. Proceedings of the Royal Society

of London, series A, London, 160:268-282, 1937.

BORGES, L. C.; NASCIMENTO, A. dos R.; MORGADO, C. M. A. Agricultura de precisão: ferramenta de gestão na rentabilidade e produtividade de grãos. *Scientific Electronic Archives*, v. 15, n. 3, 28 fev. 2022. *Scientific Electronic Archives*. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.36560/15320221520>. Acesso em: 12 jul. 2025.

DURBIN, J.; WATSON G. S. Testing for serial correlation in least squares regression I. **Biometrika**, London, v. 37, n. 3/4, p. 409-428, 1950.

FERRAZ, M. A. J.; BARBOZA, T. O. C.; ARANTES, P. DE S.; VON PINHO, R. G.; SANTOS, A. F. DOS. Integrating Satellite and UAV Technologies for Maize Plant Height Estimation Using Advanced Machine Learning. **Agriengineering**, v. 6, n. 1, p. 20-33. 2024. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/agriengineering6010002>. Acesso em: 15 jul. 2025.

MATIAS, F. I.; CARAZA-HARTER, M. V.; ENDELMAN, J. B. FIELDimageR: an r package to analyze orthomosaic images from agricultural field trials. **The Plant Phenome Journal**, v. 3, n. 1. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ppj2.20005>. Acesso em: 26 jun. 2025.

NASCIMENTO, J. H. B.; CORTES, D. F. M.; ANDRADE, L. R. B. DE; GALLIS, R. B. DE A.; BARBOSA, R. L.; OLIVEIRA, E. J. de. High-Throughput Phenotyping for Agronomic Traits in Cassava Using Aerial Imaging. **Plants**, v. 14, n. 1. 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/plants14010032>. Acesso em: 18 jul. 2025.

OLIVOTO, T. LIGHTS, camera, pliman! An R package for plant image analysis. **Methods In Ecology and Evolution**, v. 13, n. 4, p. 789-798. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/2041-210x.13803>. Acesso em: 28 mai. 2025.

R CORE TEAM. The R Project for Statistical Computing (4.3.3) [software]. 2024.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. Acluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Raleigh, v. 30, n. 3, p. 507-512. 1974.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. Na analysis of variance test for normality (complete sample). **Biometrika**, GreatBritain, v. 52, n. 3, p. 591-611. 1965.

SHEIKH, M.; IQRA, F.; AMBREEN, H.; APRAVIN, K.; IKRA, M.; CHUNG, Y. S. Integrating artificial intelligence and high-throughput phenotyping for crop improvement. **Journal Of Integrative Agriculture**, v. 23, n. 6, p. 1787-1802. 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jia.2023.10.019>. Acesso em: 19 jul. 2025.

YU, D.; ZHA, Y.; SUN, Z.; LI, J.; JIN, X.; ZHU, W.; BIAN, J.; MA, L.; ZENG, Y.; SU, Z. DEEP convolutional neural networks for estimating maize above-ground biomass using multi-source UAV images: a comparison with traditional machine learning algorithms. **Precision Agriculture**, v. 24, n. 1, p. 92-113. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-022-09932-0>. Acesso em: 18 jun. 2025.