

GEOTECNOLOGIA APLICADA AO ESTUDO DE PARÂMETROS BIOFÍSICOS DE BANANEIRAS

Juliana Oliveira Rodrigues¹, Gilberto Pires Silva Junior¹, Elaine Cordeiro dos Santos¹, Jéferson Luiz Ferrari².

¹ Universidade Federal do Espírito Santo/ Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Av. Governador Lindemberg, 316, Centro - 29550-000 - Jerônimo Monteiro – ES, Brasil., cfl.juliana@gmail.com, gilbertopires104@gmail.com, elainecordeiro122@gmail.com

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo / Coordenadoria do Bacharelado em Ciências Biológicas, Rodovia ES-482, Km 47, Distrito de Rive - 29500-000 - Alegre ES, Brasil, ferrarijl@ifes.edu.br

Resumo

O uso de geotecnologias tem se mostrado eficiente para monitorar o estado fisiológico de plantas. Este trabalho avaliou parâmetros morfofisiológicos de bananeiras irrigadas (altura, perímetro do pseudocaule e número de folhas) e o NDVI obtido por UAV. Diferenças significativas foram observadas entre os tratamentos ($p < 0,001$), com maior vigor vegetativo nas cultivares Prata Comum e BRS Platina. Correlações positivas entre altura e perímetro e entre número de folhas e NDVI destacam a eficácia do sensoriamento remoto. Conclui-se que a integração de geotecnologias à fruticultura é uma ferramenta estratégica para otimizar produtividade e gestão sustentável.

Palavras-chave: Geotecnologias. Agricultura Irrigada. NDVI. Bananeira.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrônômica.

Introdução

A bananeira (*Musa* spp.) é uma planta frutífera que pertence à família *Musaceae*, típica de regiões tropicais úmidas e base alimentar para milhões de pessoas ao redor do mundo, de diferentes classes econômicas (AYRES, 2022). No Brasil o consumo per capita de bananas está em torno de 25 kg/ano, com cerca de 98% da produção consumidos *in natura*, o que a caracteriza como uma das principais fontes de nutrientes e carboidratos em regiões carentes (BORGES et al., 2016; ARAÚJO et al., 2019).

Devido ao seu preço acessível, a banana tem importante papel socioeconômico o que torna fundamental a manutenção da sua sustentabilidade produtiva (EMBRAPA, 2012). No Brasil, cerca de 60% dos bananais estão plantados com o tipo Prata, Pacovan e Prata anã, sendo a Prata Anã a de maior predominância nos cultivos mais técnicos (OLIVEIRA et al., 2013). De acordo com Brinkhoff e Robson (2021), o monitoramento preciso e eficiente das culturas é essencial para uma agricultura produtiva, pois auxilia na tomada de decisões mais eficientes, resultando em maior eficiência no cultivo.

O objetivo deste trabalho foi utilizar geotecnologias para investigar e monitorar os parâmetros biofísicos no cultivo irrigado de banana (*Musa* spp.) na área experimental de fruticultura da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). O estudo visa aprimorar a gestão e a eficiência produtiva das plantações de banana, por meio da análise detalhada das condições fisiológicas e morfológicas das plantas, incluindo a identificação de áreas que necessitam de tratamento devido a estresses bióticos e abióticos. Além disso, busca-se investigar a possível correlação entre os parâmetros biofísicos e os parâmetros geoprocessados, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

Metodologia

O estudo foi conduzido no setor de fruticultura do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo – Campus de Alegre, que se localiza na rodovia BR 482, km 44, entre as coordenadas: latitude Sul -20,75° e longitude Oeste -41,48°, altitude de 115 metros. A área total do setor de fruticultura abrange aproximadamente 3,14 hectares, onde são cultivadas diversas

variedades de frutíferas, além de contar com viveiros de mudas para produção, estoque e experimentos. O local específico do estudo compreende um talhão de bananeiras irrigadas, ocupando cerca de 0,26 hectares, onde diversas cultivares foram plantadas em 2018.

Banco de dados – Aquisição e processamento

No dia 7 de maio de 2024 foi realizado um voo a 100 metros de altura, com auxílio de um UAV (DJI RPA – inspire 2), foi feita a captação da imagem usando um sensor multiespectral (Micasense RedEdge MX) que tem cinco canais de aquisições espectrais: Azul (centro de 475 nm, largura de banda de 20 nm); Verde (centro de 560 nm, largura de banda de 20 nm); Vermelho (centro de 668 nm, largura de banda de 10 nm); REDEGE (centro de 717 nm, largura de banda de 10 nm); NIR (centro de 840 nm, 40 nm de largura de banda).

As imagens foram capturadas utilizando UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) equipados com câmeras multiespectrais. As imagens brutas capturadas foram então importadas para o software Agisoft Metashape, para a geração de ortomosaicos. Posteriormente, os dados foram exportados para o QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2024). Onde foram realizadas as análises necessárias para a extração de informações relevantes para o estudo, utilizando as ferramentas de cálculo raster disponíveis.

Cada tratamento estudado foi identificado por um número específico: 1 - Prata Anã; 2 - Gorutuba; 3 - BRS Platina; 4 - Prata; 5 - Nanica; 6 - BRS Princesa (tipo maçã). Em seguida, procedeu-se à análise de vários índices de vigor vegetativo conforme os parâmetros padronizados para a caracterização de bananas descritos no Descriptors of Banana (IPGRI, 2014). Para isso, utilizou-se uma mira topográfica para medir a altura do pseudocaule da bananeira em metros, a qual foi determinada a partir da base até o ponto de emergência do pedúnculo. Além disso, foi realizado o levantamento do perímetro do pseudocaule em centímetros, com uso de uma trena de fita longa, e medido a 1 metro acima da base, seguido pela contagem por unidade, das folhas funcionais.

Análise Estatística

Realizou-se uma análise estatística descritiva das variáveis coletadas no experimento. Para verificar a normalidade das variáveis, aplicou-se o teste de Shapiro-Wilk, conforme descrito por Shapiro e Wilk (1965). Este teste revelou que algumas variáveis não seguem uma distribuição normal ($p < 0,05$), então devido à ausência de normalidade em algumas variáveis, optou-se pelo uso de métodos não-paramétricos para a análise subsequente. Assim, aplicou-se o teste de Kruskal-Wallis, uma alternativa não paramétrica à ANOVA, para avaliar as diferenças entre os tratamentos. Para aprofundar a análise e identificar quais tratamentos diferem especificamente entre si, realizou-se o teste de comparações múltiplas de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner (DSCF), onde foi constatado que os tratamentos tinham distribuições diferentes, principalmente quando se trata de NDVI, onde todas as comparações deram diferenças significativas. Adicionalmente, a correlação de Spearman foi utilizada para avaliar a relação entre as variáveis.

Resultados

A análise dos dados obtidos revela variações significativas nos parâmetros de crescimento das plantas sob diferentes tratamentos, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise Descritiva dos Parâmetros Morfofisiológicos em Diferentes Tratamentos

	Tratamento	Altura	Perímetro	N folhas	NDVI
	1	3,44	87,5	7	0,77
	2	3,56	88,2	8	0,80
Média	3	4,09	92,4	9	0,84

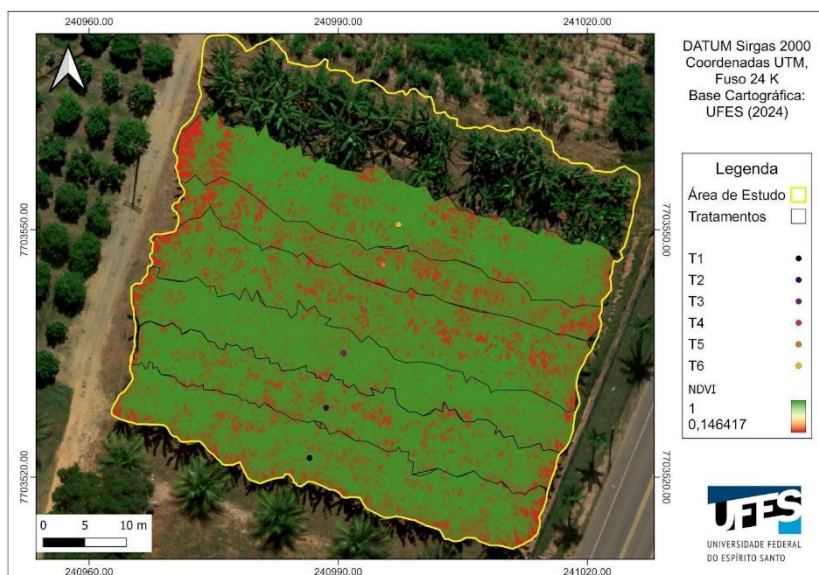
A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Variância	4	5,11	90,4	6	0,79
	5	3,29	63,9	5	0,77
	6	3,95	77,3	8	0,80
	1	0,07	77	6	-
	2	0,13	162	8	-
	3	0,19	188	4	-
Desvio Padrão	4	0,54	10	2	-
	5	0,24	118	6	-
	6	0,07	98	3	-
	1	0,26	9	3	-
	2	0,36	13	3	-
	3	0,44	14	2	-
	4	0,54	105	5	-
	5	0,49	11	2	-
	6	0,27	10	2	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Na Figura 1, observa-se a distribuição espacial dos Índices de Diferença Normalizada de Vegetação em Diferentes Tratamentos (NDVI).

Figura 1 - Mapa dos Índices de Diferença Normalizada de Vegetação em Diferentes Tratamentos (NDVI)



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

A Tabela 2 apresenta os resultados do teste de Kruskal-Wallis, que indicou diferenças significativas entre os tratamentos para todas as variáveis analisadas (altura, perímetro, número de folhas e NDVI). Já a Tabela 3 mostra a matriz de correlação de Spearman, destacando correlação positiva entre altura e perímetro, bem como entre número de folhas e NDVI.

Tabela 2 - Análise Estatística dos Parâmetros Morfofisiológicos pelo Teste de Kruskal-Wallis

	X ²	gl	p
Altura	108,5	5	<0,001
Perímetro	75,3	5	<0,001
N de folhas	51,1	5	<0,001
NDVI	176,0	5	<0,001

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 3 - Matriz de Correlação de Spearman entre Parâmetros Morfofisiológicos

		Altura	Perímetro	NDVI	N folhas
Altura	Rho de Spearman	—	—	—	—
	gl	—	—	—	—
	p-valor	—	—	—	—
Perímetro	Rho de Spearman	0,560	—	—	—
	gl	175	—	—	—
	p-valor	<,001	—	—	—
NDVI	Rho de Spearman	0,326	0,395	—	—
	gl	175	175	—	—
	p-valor	<,001	<,001	—	—
N folhas	Rho de Spearman	-0,083	0,080	0,421	—
	gl	175	175	175	—
	p-valor	0,275	0,291	<,001	—

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Discussão

As características avaliadas variaram entre os tratamentos. O tratamento 4 apresentou a maior média de altura (5,11 m), como esperado pela cultivar 'Prata Comum', enquanto o tratamento 5 teve a menor (3,29 m), típica da cultivar 'Nanica'. A menor variância de altura ocorreu nos tratamentos 1 e 2 (0,07) e a maior no tratamento 4 (0,54). No perímetro do caule, a maior média foi do tratamento 3 (92,4) e a menor do 5 (63,9). A variância variou de 10 (tratamento 4) a 188 (tratamento 3). Quanto ao número de folhas, o tratamento 3 apresentou a maior média (9), seguido do 6 (8), reflexo da resistência das cultivares 'BRS Princesa' e 'BRS Platina' às sigatokas. Já o tratamento 5 teve a menor média (5). Os

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

resultados destacam a influência da genética na sanidade e produtividade das plantas (LEITE et al., 2003; EMBRAPA, 2012).

Cada tratamento apresentou diferenças significativas nos valores de NDVI, conforme ilustrado na Figura 1 e detalhado na Tabela 1. Observou-se que o tratamento 3 registrou a maior média de NDVI, atingindo 0,84, enquanto os tratamentos 1 e 5 exibiram as menores médias, ambos com valores de 0,77. Esses valores, dentro do espectro de NDVI que varia de -1 a 1, indicam diferenças notáveis na saúde e densidade da vegetação entre os tratamentos avaliados (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPILICH, 2012).

Os resultados do teste de Kruskal-Wallis, apresentados na Tabela 2, confirmam a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos para todas as variáveis analisadas ($p < 0,001$). Este teste não-paramétrico é utilizado para determinar se existem diferenças significativas entre as medianas de dois ou mais grupos independentes. A significância dos resultados ($p < 0,001$) indica que os tratamentos influenciaram substancialmente o crescimento das plantas, afetando altura, perímetro, número de folhas e o índice de vegetação. A influência significativa dos tratamentos nos parâmetros de crescimento reafirma a importância de uma gestão adequada e específica para cada cultivar visando otimizar o crescimento e a produtividade (JONES et al., 2020).

A Tabela 3 revela as correlações de Spearman entre as variáveis. A correlação positiva e significativa entre altura e perímetro ($Rho = 0,560$, $p < 0,001$) sugere que plantas mais altas tendem a ter maior perímetro, o que é consistente com a literatura existente. Essa correlação indica que os fatores que promovem o crescimento em altura também tendem a aumentar o diâmetro do caule, possivelmente devido a um maior vigor vegetativo e uma melhor capacidade de absorção e transporte de nutrientes e água (LEE et al., 2019).

Além disso, o índice de vegetação mostrou uma correlação positiva significativa com o número de folhas ($Rho = 0,421$, $p < 0,001$), sugerindo que plantas com mais folhas têm maior índice de vegetação. Este índice é uma medida importante da densidade e condição da vegetação, e sua correlação com o número de folhas indica que plantas com maior folhagem são mais eficientes em termos fotossintéticos, refletindo um maior vigor vegetativo. Esta relação é crucial para entender como a densidade foliar pode influenciar a produtividade das plantas e sua saúde geral (GARCIA et al., 2017).

A Tabela 3 também evidenciou correlações mais fracas, entre altura e número de folhas ($Rho = -0,083$) e entre número de folhas e perímetro ($Rho = 0,080$). A correlação negativa e muito fraca entre altura e número de folhas sugere uma relação praticamente inexistente entre essas duas variáveis, corroborada pela falta de significância estatística ($p = 0,275$).

Da mesma forma, a correlação positiva e mínima entre número de folhas e perímetro também indica uma relação insignificante entre essas variáveis, conforme evidenciado pelo p-valor ($p = 0,291$). Embora o número de folhas possa influenciar o crescimento inicial da altura na formação da bananeira, essa influência parece ser irrelevante em estágios posteriores de desenvolvimento, conforme discutido por Turner e Hunt (2014).

Conclusão

A análise dos dados reafirma a importância estratégica do uso de geotecnologias no monitoramento dos parâmetros biofísicos em cultivos de banana, destacando seu papel essencial na agricultura de precisão. A correlação significativa identificada entre o número de folhas e o NDVI sublinha a precisão das técnicas de sensoriamento remoto na detecção de estresse nas plantações. Este achado é particularmente relevante, dado que o número de folhas é um indicador chave da saúde fisiológica e do potencial produtivo das plantas. A aplicação de geotecnologias, portanto, não só viabiliza a detecção precoce de problemas fitossanitários, mas também possibilita uma gestão agrícola mais eficiente e sustentável. Dessa forma, o uso dessas ferramentas contribui diretamente para a otimização dos recursos naturais e o aumento da produtividade, consolidando-se como uma abordagem indispensável para o avanço da agricultura moderna.

Referências

ARAÚJO, J. P. et al. *A importância socioeconômica da bananicultura no Brasil*. Revista de Economia Agrícola, v. 66, n. 1, p. 85-98, 2019

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

AYRES, M. I. D. C. *Avaliação da sustentabilidade agroecológica dos sistemas agroextrativistas do açaí-do-amazonas (Euterpe precatoria Martius) em Codajás*. 2022. 190f. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus - AM, 2022.

BORGES, A. L. et al. *Aspectos econômicos e sociais da bananicultura no Brasil*. Ciência Rural, v. 46, n. 6, p. 1128-1134, 2016.

BORGES, A. L.; SILVA, J. T. A.; OLIVEIRA, A. M. G.; D'OLIVEIRA, P. S. Nutrição e adubação. In: FERREIRA, C. F.; SILVA, S. O.; AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A. (org.). *O agronegócio da banana*. Brasília: Embrapa, cap. 3, p. 331-398, 2016.

BRINKHOFF, J.; ROBSON, A. J. *Previsão de rendimento de macadâmia em nível de bloco usando conjuntos de dados espaço-temporais*. Agricultural and Forest Meteorology, v. 303, 108369, 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Embrapa lança cultivar de banana no maior polo produtor do Nordeste. Revista Cultivar, 2012.

GARCIA, M. R., SMITH, D. F., & THOMPSON, R. J. (2017). *The impact of leaf density on photosynthetic efficiency and plant health*. Journal of Agricultural Science.

INTERNATIONAL PLANT GENETIC RESOURCES INSTITUTE - IPGRI. *Descriptors for Banana (Musa spp.)*. Rome: International Plant Genetic Resources Institute, 1996.

JONES, A. B., LEE, C. W., & KIM, S. H. (2020). *Management practices for optimizing crop yield under varying environmental conditions*. Agricultural Systems, 85(2), 120-135.

Lee, J. H., Park, S. H., & Kim, J. K. (2019). *Correlation between plant height and stem diameter in relation to nutrient uptake*. Plant Biology Research, 44(1), 98-110.

LEITE, J. B. V.; SILVA, S. O.; ALVE, E. J.; LINS, R. D.; JESUS, O. N. *Caracteres da planta e do cacho de genótipos de bananeira, em 4 ciclos de produção, em Belmonte, Bahia*. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 25, n. 3, p. 443-447, 2003.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Agricultura de precisão. Brasília: Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2013.

OLIVEIRA, C. G.; DONATO, S. L. R.; MIZOBUTSI, G. P.; SILVA, J. M.; MIZOBUTSI, E. H. *Características pós-colheita de bananas 'prata-anã' e 'brs platina' armazenadas sob refrigeração*. Rev. Bras. Frutic., v. 35, n. 3, p. 891-897, 2013.

PONZONI, F.; SHIMABUKURO, Y.; KUPLICH, T. *Sensoriamento remoto da vegetação*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). *An analysis of variance test for normality (complete samples)*. Biometrika, 52(3/4), 591-611.

TURNER, D. W.; HUNT, N. *Growth and development of the banana plant*. Banana Production and Processing. 1. ed. Springer, 2014.