

DELINEAMENTO DE ZONAS DE MANEJO E AVALIAÇÃO DE EXPERIMENTAÇÃO ON-FARM PARA DIFERENTES POPULAÇÕES DE SEMENTES UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO E PROXIMAL NA CULTURA DO ALGODÃO

Eduardo Antonio Speranza¹; **Ivani de Oliveira Negrão Lopes**²; **Carlos Manoel Pedro Vaz**³; **Julio Cezar Franchini dos Santos**²; **João de Mendonça Naime**³; **Ricardo Yassushi Inamasu**³; **Sérgio das Chagas**⁴

¹Analista. Campinas, SP. Embrapa Agricultura Digital; ²Pesquisador. Londrina, PR. Embrapa Soja;

³Pesquisador. São Carlos, SP. Embrapa Instrumentação; ⁴Coordenador de Agricultura Digital. Sapezal, MT. Grupo Amaggi

Apresentado no
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão e Digital - ConBAP 2024
Ribeirão Preto, SP, 25 a 27 de novembro de 2024

RESUMO

O Estado de Mato Grosso lidera a produção nacional de algodão, destacando-se por investimentos em tecnologia e práticas de manejo. O uso de agricultura de precisão e digital é fundamental nesse avanço, especialmente no processo de delineamento de zonas de manejo baseado em dados espectrais. O sensoriamento remoto e a experimentação *on-farm* são essenciais para a gestão eficiente da lavoura, reduzindo custos e impactos ambientais. Neste contexto, o estudo teve como objetivos utilizar índices de vegetação para definir zonas de manejo e determinar períodos de desenvolvimento da cultura mais adequados para estimar a produtividade do algodão, em função de variações na densidade populacional. Para isso, o sensoriamento remoto, utilizando o histórico de imagens orbitais dos últimos cinco anos, foi crucial para a definição de zonas de manejo com diferente potencial produtivo. Experimentos *on-farm* com níveis de densidade populacional, direcionados às zonas de manejo identificadas, mostraram que as imagens coletadas no período de 30 a 60 dias são as que melhor representam a variabilidade da população de plantas. Os períodos mais indicados para estimativas mais acuradas da produtividade variaram entre as zonas de manejo, sendo mais precoce (120 a 150 dias) na zona mais argilosa do que na zona arenosa (mais de 150 dias).

PALAVRAS-CHAVE: Índices de vegetação; Florestas Aleatórias; Quadrado Latino

ABSTRACT

The State of Mato Grosso leads national cotton production, standing out for its investments in technology and management practices. The use of precision and digital agriculture is underlying in this progress, especially in the process of delineating management zones based on spectral data. Remote sensing and on-farm experimentation are essential for efficient crop management, reducing costs and environmental impacts. In this context, the study aimed to use vegetation indices to define management zones and determine the most appropriate crop development periods to estimate cotton yield, depending on variations in population density. To achieve this, remote sensing, using the history of orbital images from the last five years was crucial for defining management zones with different yield potential. On-farm experiments with population density levels, targeted at the identified management zones, showed that the images collected over a period of 30 to 60 days are those that best represent the variability of the plant population. The most suitable periods for more accurate estimates of yield varied between management zones, being earlier (120 to 150 days) in the more clayey zone than in the sandy zone (more than 150 days).

KEYWORDS: ;;

INTRODUÇÃO

A produção de algodão no estado do Mato Grosso tem sido uma das principais atividades agrícolas da região, apresentando um notável crescimento nos últimos anos. Na safra 2021/2022, o estado manteve a posição de maior produtor de algodão do Brasil, alcançando uma produção de 4,549 milhões de toneladas de algodão em caroço, representando 72% da produção nacional (ABRAPA, 2024). Esse cenário pode ser atribuído a uma série de fatores, incluindo investimentos em tecnologia e pesquisa, adoção de cultivares resistentes a pragas e doenças e a utilização de boas práticas de manejo. Nesse contexto de avanços agrícolas, as ferramentas de agricultura de precisão (AP) e agricultura digital (AD) emergem como elementos-chave para otimizar o uso de recursos agrícolas e incrementar a produtividade (BASSOI et al., 2019). Dentre essas ferramentas, destaca-se o delineamento de zonas de manejo (ZM). O conceito de ZM sugere a subdivisão de um talhão de produção em subáreas com diferentes potenciais produtivos com base em bancos de dados espaço-temporais de atributos do solo e da cultura capazes de identificar a variabilidade espacial não-antrópica da área estudada (DOERGE, 1999; MOLIN et al., 2015). Nos últimos anos as áreas de sensoriamento remoto, análise de dados, inteligência artificial e automação têm impulsionado o uso das ZM para gestão da lavoura. Em se tratando de sensoriamento remoto, com o avanço tecnológico e a disponibilidade de dados com alta resolução espacial e temporal, os produtores têm utilizado cada vez mais esse tipo de informação para o monitoramento de infestações por pragas e saúde da planta, padrões de crescimento, variabilidades do solo, dentre outras (SISHODIA, et al., 2020). Adicionalmente, a experimentação *on-farm* (ou na fazenda) em AP se tornou uma técnica fundamental para os produtores que buscam uma gestão mais eficiente da lavoura. Essa abordagem envolve a realização de experimentos diretamente nas áreas de produção, permitindo avaliar e ajustar variáveis como fertilidade do solo, manejo de irrigação, aplicação de defensivos, escolha de cultivares e taxas de população de plantas de forma personalizada e adaptada às condições específicas de cada talhão ou ZM. Ao coletar dados *in loco* e aplicar análises estatísticas avançadas, os produtores podem tomar decisões mais adequadas, reduzindo custos, aumentando a produtividade e minimizando impactos ambientais, contribuindo assim para uma agricultura mais sustentável e rentável (SHIRATSUCHI et al., 2019).

OBJETIVOS

Este estudo teve como objetivos utilizar índices de vegetação para definir zonas de manejo e determinar períodos de desenvolvimento da cultura mais adequados para a estimativa da produtividade do algodão, em função de variações na densidade populacional da cultura em experimento *on-farm* realizado em talhão comercial.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo deste trabalho compreende um talhão de produção comercial de algodão safrinha (cultivado após a colheita da soja) com área total de aproximadamente 290 ha, localizado na Fazenda Tucunaré, em Sapezal-MT, com coordenadas geográficas centrais 288458 W e 8488880 S, considerando o sistema de referência de coordenadas WGS 84 / UTM Zona 21 S, pertencente ao grupo Amaggi (FIGURA 1.I).

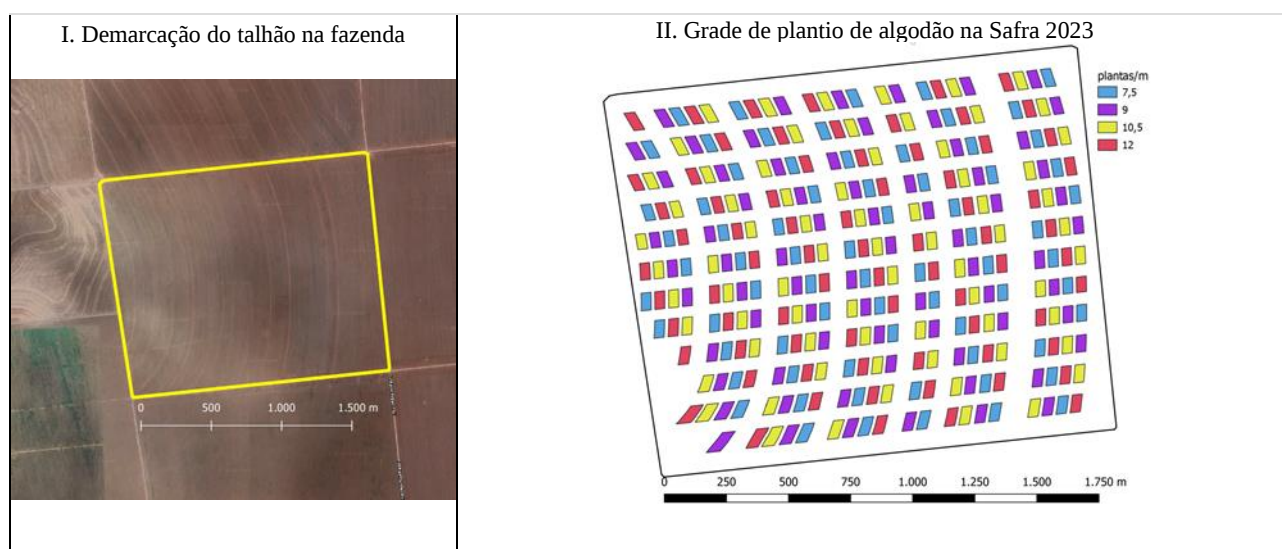


FIGURA 1. Talhão experimental (delimitado em amarelo) que compreende a área de estudo utilizada (I); e o mesmo talhão, exibindo a grade de experimental de plantio utilizada (II). Imagem: Google Maps.

O plantio do algodão foi realizado em todo o talhão com uma densidade de plantas por metro, conforme ilustrado na Figura 1.II. Esta figura mostra diversas possibilidades para tratar parcelas virtuais contíguas como um experimento em quadrado latino (MONTGOMERY, 2017). A delimitação das parcelas formando múltiplos experimentos é realizada posteriormente, após a análise das condições de homogeneidade do talhão em relação ao potencial produtivo. Para determinar essas condições, foram geradas zonas de manejo com base na variabilidade espacial da área, que foi detectada por índices de vegetação (IV) obtidos a partir de imagens de sensoriamento remoto durante um período de cinco anos anteriores à execução do experimento (de 2017 a 2022).

Durante todo esse período, o talhão estudado produziu soja como cultura de verão e algodão de segunda safra como cultura de inverno. Para o delineamento de zonas de manejo, foram utilizadas composições de índices de vegetação, tomando-se os valores médios de cada pixel interno à área. Essas composições foram geradas por um *script* para a plataforma Google Earth Engine (GEE), utilizando a série temporal harmonizada do satélite Sentinel-2, disponível para o período estudado, independentemente de estágio fenológico das culturas ou períodos de solo exposto (EARTH ENGINE DATA CATALOG, 2024). O *script* utiliza a coleção "Cloud_Score_Plus" para eliminar imagens com nuvens e sombras de nuvens na área estudada, garantindo melhor qualidade aos dados obtidos.

Embora vários índices de vegetação tenham sido avaliados ao longo do período citado, apenas dois foram escolhidos para o delineamento das ZM: EVI (Huete et al., 2002), que apresentou maior correlação linear positiva com a produtividade do algodoeiro em relação aos demais índices; e PSRI (Merzlyak, et al., 1999), que apresentou maior correlação linear negativa (dados não mostrados). O EVI (*Enhanced Vegetation Index*) é uma variação do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), onde são considerados fatores como a influência do solo e da atmosfera na detecção da biomassa da vegetação. Já o PSRI (*Plant Senescence Reflectance Index*) possui uma característica particular que auxilia na detecção do estágio de senescência das plantas e, consequentemente, na identificação da ocorrência de estresses ambientais.

A FIGURA 2 apresenta os mapas dos índices de vegetação EVI e PSRI, consolidados para a área de estudo entre as safras de 2017 a 2022, que foram utilizados no delineamento das zonas de manejo. A figura também inclui o mapa de colheita do algodão da safra de 2023 (kg ha^{-1}), utilizado para avaliar a eficácia das zonas de manejo delineadas e das diferentes populações utilizadas durante o plantio. O mapa de colheita é resultado da fusão dos dados obtidos pelas diferentes colheitadeiras que atuaram no talhão, os quais foram normalizados pela média de produtividade geral.

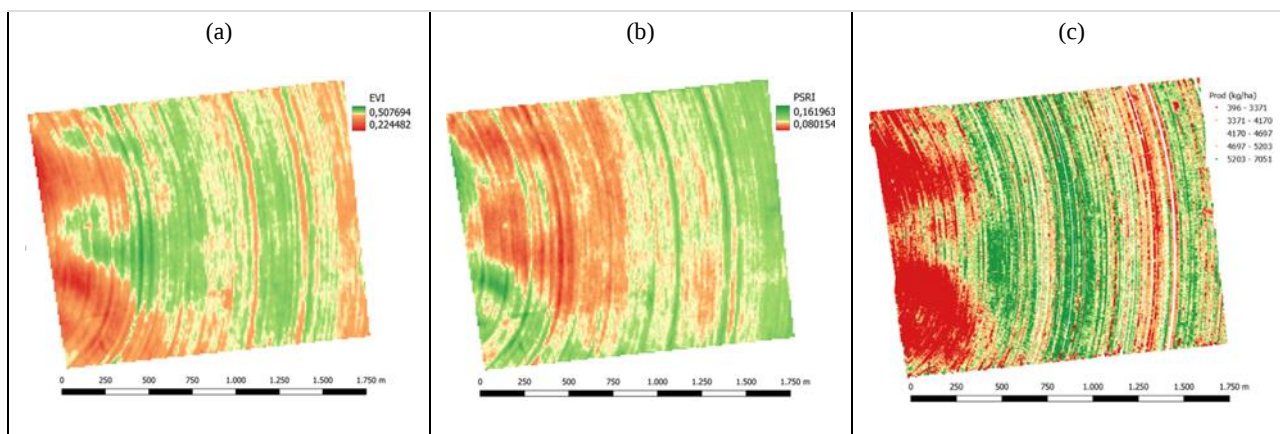


FIGURA 2. Mapas dos valores médios dos índices de vegetação EVI (a) e PSRI (b) entre 2017 e 2022, e mapa de colheita do algodão da safra de 2023 (kg ha^{-1}) para a área de estudo (c).

A partir dos mapas de EVI e PSRI, foram gerados mapas de ZMs para a área, utilizando o algoritmo de agrupamento *k-means* (MACQUEEN, 1967) com diferentes quantidades de grupos. A subdivisão em duas ZM resultou em uma redução de aproximadamente 28% na variância da produtividade, calculada com base no mapa de colheita apresentado na FIGURA 2c e na metodologia descrita por Dobermann et al. (2003). Essa redução é considerável e sugere uma separação significativa entre as duas ZMs, refletindo seus diferentes potenciais produtivos e possibilitando a avaliação do efeito das diferentes populações de sementes utilizadas no experimento. Adicionalmente, com base em amostragens de solo para análise de textura realizadas na área, foi observado que a ZM1 possui, em média, 24% de argila, enquanto a ZM2 possui, em média, 60% de argila (FIGURA 4). Essa diferença na composição de argila no solo é significativa e pode influenciar o desempenho da cultura nas respectivas ZMs.

Para delimitar as parcelas que configurassem um experimento em quadrado latino, foram selecionadas parcelas virtuais de modo que os quatro níveis de sementes por metro (7,5; 9 (padrão); 10,5; e 12) fossem representados conforme a metodologia. Cada nível foi repetido quatro vezes, totalizando 16 parcelas virtuais.

Para as análises realizadas neste trabalho, foram escolhidos quatro quadrados latinos em cada ZM, totalizando 128 parcelas virtuais de aproximadamente 0,3 hectares cada, após filtragem das bordaduras. As parcelas, antes da filtragem, foram definidas por duas passadas da semeadora (54 metros) numa extensão de 120 metros. A FIGURA 3b exibe o mapa com o delineamento dessas 128 parcelas e das duas ZMs. A forma das parcelas virtuais seguiu o mapa de linhas de plantio utilizado, considerando as curvas de nível da área.

O efeito das populações de sementes nas produtividades foi investigado usando o modelo de análise de variância (ANOVA) correspondente ao delineamento em quadrado latino. Em seguida, para estudar a relação entre densidade de plantio e produtividade, foram conduzidas análises de regressão linear sobre os preditores lineares de mínimos quadrados da produtividade, obtidos a partir da ANOVA, em relação ao número de plantas.

(a)

(b)

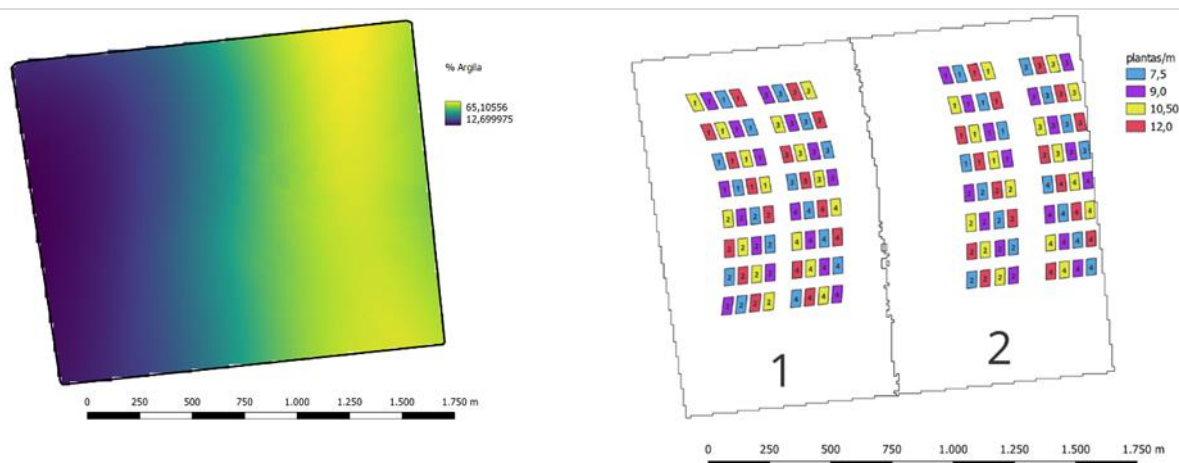


FIGURA 3. Mapa de variabilidade espacial do teor de argila (a) e das zonas de manejo (ZM) definida para a área de estudo, bem como das 128 parcelas virtuais com diferentes populações de plantas, delimitadas com base na metodologia do quadrado latino (b). As cores na legenda indicam o número médio de sementes por metro linear plantadas em cada parcela virtual, e os números de 1 a 4 identificam os experimentos completos para cada ZM.

Para analisar o crescimento das plantas ao longo do ciclo da cultura em diferentes fases fenológicas, foram utilizadas imagens diárias obtidas das constelações de nano satélites Planet® (Planet Labs, PBC). As imagens possuem resolução espacial de 3 m por pixel, o que facilita substancialmente a análise das informações dentro de cada uma das parcelas virtuais utilizadas. Foram escolhidas apenas imagens sem incidência de nuvens e sombras de nuvens, durante o período de março a agosto de 2023, totalizando 24 imagens abrangendo todas as fases fenológicas do desenvolvimento da cultura: vegetativa, botões florais, florescimento e abertura dos capulhos até a colheita. Para esse acompanhamento, foi utilizado o índice de vegetação EVI, devido à sua acurácia já comprovada na estimativa da produtividade do algodão (SIQUEIRA et al., 2024). A FIGURA 4 exibe três exemplos de mapas de EVI obtidos ao longo do ciclo.

Os 24 mapas de EVI foram consolidados em seis diferentes períodos, utilizando o operador de agregação "soma": até 30 dias (P1); de 30 a 60 dias (P2); de 60 a 90 dias (P3); de 90 a 120 dias (P4); de 120 a 150 dias (P5); e mais de 150 dias após o plantio (P6). A partir desses dados, foram obtidas as medidas de importância de variável "*Mean Decrease Accuracy*" e "*Mean Decrease Gini*", considerando como variável alvo a quantidade de plantas por metro como rótulo (classe); e "*%IncMSE*" e "*IncNodePurity*", considerando como variável alvo a produtividade observada, disponibilizadas pelo algoritmo *Random Forest* (Breiman, 2021) - no primeiro caso, atuando como classificador, e no segundo caso, como regressor. Essas medidas foram utilizadas para analisar a capacidade de dados consolidados de EVI, nos seis períodos, em diferenciar a população utilizada e estimar a produtividade obtida em duas ZM com teor de argila distintos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises das 24 imagens coletadas nos períodos P1 a P6 revelaram que as imagens capturadas entre 30 e 60 dias após o plantio (P2), destacaram-se por representar melhor a variabilidade da população de plantas na área, em comparação com os outros períodos, em ambas as zonas de manejo. Os gráficos da FIGURA 5.I mostram que a exclusão dos dados desse período contribuiria mais para a redução da eficácia de um modelo de classificação da população de plantas (medidas *MeanDecreaseAccuracy* e *MeanDecreaseGini*) do que a exclusão de quaisquer outros períodos.

Já com relação à produtividade, a FIGURA 5.II nos permite realizar análises distintas considerando as duas ZM definidas para a área de estudo. De acordo com os gráficos dessa figura, o período P6 (mais de 150 dias após o plantio) é o melhor indicativo da produtividade obtida na área menos argilosa. Por outro lado, para a ZM2, mais argilosa, o período mais adequado seria entre 120 e 150 dias (P5).

No caso da produtividade, os resultados mostram que é possível realizar a sua predição com maior precisão e antecedência em área com maior teor de argila (ZM2). Na região mais arenosa (ZM1), a tendência é que ocorram variações maiores ao longo do ciclo, fazendo com que a predição possa ser mais assertiva somente quando estão disponíveis dados em períodos mais próximos da colheita (P5 e P6), devido à sua maior correlação com a produtividade.

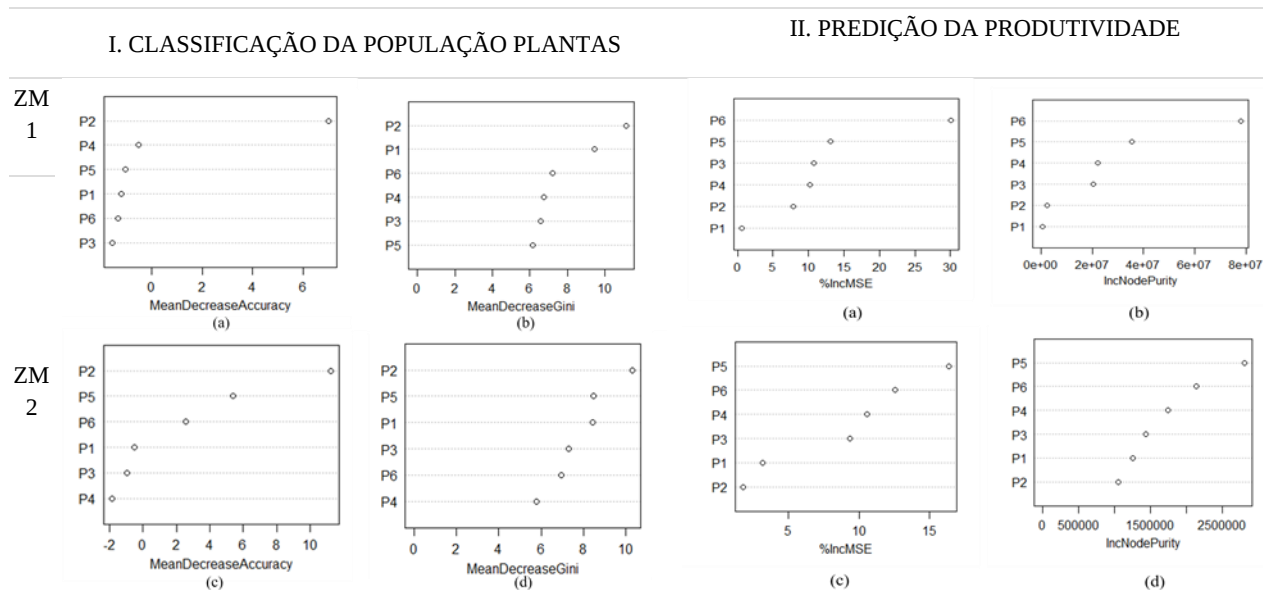


FIGURA 5. Importância do índice EVI acumulado em seis períodos de crescimento (P1 a P6) na classificação da variável alvo plantas por metro e na predição da produtividade, com base nas medidas *MeanDecreaseAccuracy* para a ZM1 (a) e para a ZM2 (c) e *MeanDecreaseGini* para a ZM1 (b) e ZM2 (d).

O número de plantas (NP) contribuiu significativamente para a variação na produtividade apenas no experimento 4, na ZM1, enquanto o efeito foi significativo nos experimentos 2, 3 e 4 na ZM2, conforme mostrado na TABELA 1. Esses resultados indicam que a ZM2 foi mais responsiva ao aumento da população de plantas do que a ZM1. Este efeito é mais evidenciado pelos resultados apresentados na FIGURA 6.

É relevante destacar que o teor de argila pode ter desempenhado um papel importante na definição da produtividade média nas diferentes zonas, sendo a produtividade média maior na ZM2 em relação a ZM1, onde o teor de argila era menor. No entanto, outros fatores não controlados neste estudo, como a variabilidade de nutrientes como P, K, Ca e Mg, também podem ter contribuído para a variabilidade observada na resposta.

TABELA 1. Análise de variâncias de quatro experimentos (Exp), implantados em duas zonas de manejo, segundo o delineamento em quadrado latino, mostrando a contribuição de cada fator para a variação de produtividade (kg ha^{-1}) de algodão em cada talhão. NP=Número de Plantas por metro; FV=Fator de Variação; GL=Grau de Liberdade; SQ=Soma de Quadrados; $P>F$ =nível de significância exata no teste F, PVE=Porcentagem da Variância Explicada, R^2 =coeficiente de determinação; CV=Coeficiente de Variação.

Exp	FV	Zona de manejo 1							Zona de manejo 2					
		GL	SQ	P>F	PVE	R ²	Média	CV	SQ	P>F	PVE	R ²	Média	CV
1	Linha	3	3754079	0,017	75,4				227941	0,366	9,4			
	Coluna	3	258694	0,670	5,2	81			1752324	0,010	72,3	85		
	NP	3	14398	0,992	0,3		3370	11,8	85268	0,711	3,5		5376	4,5
	Resíduo	6	950181	-	19,1	-			358434	-	14,8	-		
	Total	15	4977353	-	-	-			2423967	-	-	-		
2	Linha	3	5715271	0,035	42,5				313984	0,001	10,0			
	Coluna	3	3955265	0,073	29,4	85			2561602	0,000	81,9	99		
	NP	3	1757559	0,258	13,1		3604	16,1	223767	0,003	7,2		5538	1,3
	Resíduo	6	2019735	-	15,0	-			28922	-	0,9	-		
	Total	15	13447830	-	-	-			3128276	-	-	-		
3	Linha	3	63267	0,269	7,8				9673	0,926	0,5			
	Coluna	3	604620	0,003	74,7	91			1560777	0,001	76,5	94		
	NP	3	66654	0,253	8,2		6297	1,8	341007	0,040	16,7		5722	2,6
	Resíduo	6	75368	-	9,3	-			128398	-	6,3	-		
	Total	15	809909	-	-	-			2039854	-	-	-		
4	Linha	3	400296	0,025	23,4				109668	0,214	5,2			
	Coluna	3	756325	0,005	44,3	93			1212457	0,001	57,9	95		
	NP	3	431320	0,021	25,2		6598	2,2	663285	0,006	31,7		5747	2,3
	Resíduo	6	121002	-	7,1	-			109247	-	5,2	-		
	Total	15	1708943	-	-	-			2094658	-	-	-		

As análises de regressão realizadas sobre os preditores de mínimos quadrados da produtividade, obtidos a partir do modelo de ANOVA, em função do número de plantas, estão apresentadas na FIGURA 6. A relação entre produtividade e população de plantas também foi significativa para os mesmos experimentos observados na ANOVA. Além disso, foi detectada significância para a população de plantas no experimento 3 na ZM1, embora esse fator isoladamente não tenha contribuído de forma significativa para a variação total da produtividade.

Nos experimentos em que a produtividade foi significativamente influenciada pela população de plantas, os coeficientes angulares indicam que, em média, o acréscimo de uma planta por metro nos experimentos 3 e 4, ZM1, resultou em incrementos de 38 kg ha⁻¹ e 93 kg ha⁻¹, respectivamente. Na ZM2, os experimentos 2, 3 e 4 mostraram incrementos de 67 kg ha⁻¹, 84 kg ha⁻¹ e 113 kg ha⁻¹ para cada planta adicional por metro.

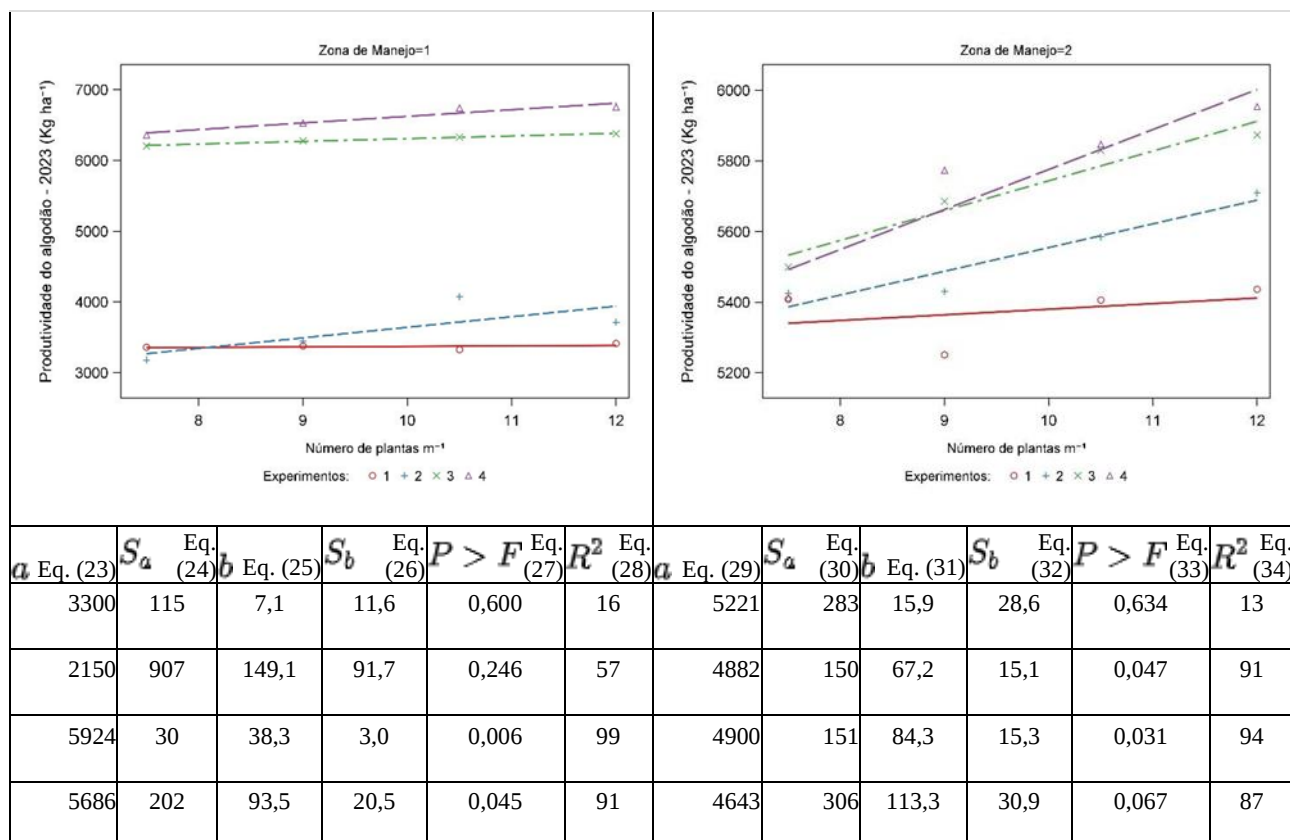


FIGURA 6. Análises de regressão () entre o preditor de mínimos quadrados para a produtividade, em função do número de plantas por hectare. =Intercepto; =erro padrão de ; =coeficiente angular da reta; =erro padrão de ; =nível de significância exata no teste para o modelo; =coeficiente de determinação.

Apesar do número limitado de experimentos em cada zona, estes foram conduzidos em ZM claramente definidas, estabelecendo correlações entre os índices de vegetação adotados e a produtividade. Isso permitiu a extração de informações valiosas que irão orientar futuros trabalhos onde serão empregados experimentos *on-farm*.

CONCLUSÃO

Este trabalho teve como principal objetivo demonstrar a utilidade das ferramentas de sensoriamento remoto e dos dados obtidos por meio desse método para a definição de zonas de manejo (ZM) e para a avaliação da resposta da cultura do algodão à variação na densidade populacional. Foram explorados o uso de índices de vegetação derivados de imagens de sensoriamento remoto com alta resolução espacial e temporal, com o intuito de determinar os momentos mais adequados para realizar análises com base nessas imagens, considerando suas correlações tanto com a taxa de população utilizada quanto com a produtividade final do ciclo. As análises estatísticas permitiram identificar a variação do potencial produtivo nas diferentes zonas e avaliar a capacidade de resposta de cada zona à variação da densidade populacional. A definição de ZM foi uma estratégia eficaz para o posicionamento dos experimentos *on-farm*, potencializando a observação dos resultados obtidos. A experimentação *on-farm* mostrou-se útil na tomada de decisões sobre a utilização da taxa variável de sementes em talhões com variabilidade espacial dos índices de vegetação. No entanto, não foram observados benefícios significativos na redução da taxa de semeadura. Estudos futuros devem focar no ajuste da taxa de semeadura com base na variabilidade espacial dos índices vegetativos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao grupo Amaggi pelo suporte operacional e disponibilização dos dados coletados e à Robert Bosch Ltda. e Embrapa pelo financiamento desta pesquisa (proc. 10.22.00.001).

REFERÊNCIAS

ABRAPA. **Associação Brasileira dos Produtores de Algodão**. Disponível em: <<https://www.abrapa.com.br>>. Acesso em: 02 de abril de 2024.

BASSOI, L. H. ; INAMASU, R. Y. ; BERNARDI, A.C.C. ; VAZ, C.M.P. ; SPERANZA, E. A. ; CRUVINEL, P. E. Agricultura de precisão e agricultura digital. **TECCOGS: Revista Digital de Tecnologias Cognitivas**, São Paulo, p. 17 - 36.

BREIMAN, L. Random forests. **Machine Learning**, 45(1), 5-32, 2001.

DOBERMANN, A.; PING, J.L.; ADAMCHUK, V.I.; SIMBAHAN, G.C.; FERGUSON, R.B. Classification of crop yield variability in irrigated production fields. **Agron. J.** 2003, 95, 1105-1120.

DOERGE, T. A. **Management Zones Concepts**. Norcross, 1999.

EARTH ENGINE DATA CATALOG. **Harmonized Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-1C**. Disponível em https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S2_HARMONIZED. Acesso em: 02 de abril de 2024.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote sensing of environment**, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, 2002.

MERZLYAK, M. N. Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. **Physiologia plantarum**, v. 106, n. 1, p. 135-141, 1999.

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

MACQUEEN, J. **Some methods for classification and analysis of multivariate observations**. In: Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability. 1967. p. 281-297.

MONTGOMERY, D.C. **Design and Analysis of Experiments**. Arisona State University. Ninth Edition, John Wiley & Sons, New York, 640 p, 2017

SIQUEIRA, D.A.B.D.; VAZ, C.M.P.; SILVA, F.S.; FERREIRA, E.J.; SPERANZA, E.A.; FRANCHINI, J.C.; GALBIERI, R.; BELOT, J.L.; SOUZA, M.D.; PERINA, F.J.; CHAGAS, S.D. Regional-Scale Cotton Yield Estimate in the Brazilian Cerrado Using Simple Linear Regression Models with Time-Series of Vegetation Indices from EOS-MODIS Satellite Data. Preprints 2024, 2024021397. <https://doi.org/10.20944/preprints202402.1397.v1>

SISHODIA, Rajendra P.; RAY, Ram L.; SINGH, Sudhir K. Applications of remote sensing in precision agriculture: A review. **Remote sensing**, v. 12, n. 19, p. 3136, 2020.

SHIRATSUCHI, L.S. et al. On-Farm Precision Experimentation with Cotton to Generate Algorithms for Site-Specific Management of Nitrogen Fertilizers Based on Airborne Imagery. In: **ASA, CSSA and SSSA International Annual Meetings (2019)**. ASA, CSSA, and SSSA, 2019.