

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

MARA MAGDA DORNELAS BEIJO

**CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E
PRODUTIVIDADE NA CULTURA DO MILHO**

UBERLÂNDIA – MG

2023

MARA MAGDA DORNELAS BEIJO

**CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E
PRODUTIVIDADE NA CULTURA DO MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia, da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

Área de concentração: Agricultura de Precisão.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado.

UBERLÂNDIA – MG

2023

**CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E
PRODUTIVIDADE NA CULTURA DO MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do grau
de Engenheira Agrônoma.

Aprovado pela Banca Examinadora em 06/03/2023

Engº Agrônomo Ígor Araujo Menezes Avila

Prof. Dra. Aráina Hulmann Batista

Orientador Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado

Dedico este trabalho aos meus pais, minhas irmãs e meus amigos que tanto contribuíram para minha formação acadêmica, profissional e pessoal.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter permitido que eu tivesse saúde, perseverança e resiliência para chegar até aqui.

Aos meus pais, Jaques Coelho e Alzira Regina por estarem comigo, por terem me dado suporte ao longo da minha vida e por nunca terem medido esforços para me proporcionar o que eles nunca tiveram, um ensino de qualidade, durante todo o meu período escolar.

Às minhas irmãs, Ana Clara e Maria Luiza pelo companheirismo e pelo apoio em todos os momentos delicados da minha vida, que tornaram meus dias ruins em sorrisos e brincadeiras.

Ao meu orientador, que conduziu o trabalho com paciência e dedicação, sempre disponível a compartilhar todo o seu vasto conhecimento.

Aos professores, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o meu aprendizado.

Aos meus amigos, colegas e pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica, citar apenas alguns seria injusto.

À Universidade Federal de Uberlândia, essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

A todos da Sensix, pela oportunidade, pela amizade e pelo fornecimento de dados e materiais que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa que possibilitou a realização deste trabalho.

O meu muito obrigada!

RESUMO

O potencial produtivo do milho é direcionado por fatores genéticos e inerentes ao manejo da lavoura, podendo estes apresentar comportamento espacial nas lavouras. Nesse sentido, estimativas de produtividade podem ser aprimoradas ao levar em consideração a variabilidade espacial dos talhões. O objetivo deste trabalho foi o de avaliar índices de vegetação que correlacionem melhor com a produtividade do milho para diversos estádios fenológicos da cultura. O trabalho foi conduzido nas Fazenda Capim Branco, na Universidade Federal de Uberlândia-MG, em área de 25 ha, cultivada sobre Latossolo Vermelho com a cultura do milho em sistema plantio direto, sob sequeiro. A coleta de dados foi realizada seguindo uma grade amostral de dois pontos por hectare (50 pontos), onde foi demarcada, no centro de cada quadrícula, uma parcela útil de 10 m². A produtividade foi obtida a partir das espigas coletadas na parcela útil. Os dados foram avaliados de forma descritiva, pela correlação linear de Pearson e espacialmente, a partir do uso da geoestatística. As maiores correlações foram obtidas quando utilizados os índices de vegetação após 35 dias após semeadura (DAS), mas a maior correlação foi registrada entre 50 e 55 DAS. Os índices de vegetação (IV) que permitiram registrar as melhores correlações foram o NDRE, GNDVI e CCCI. Por sua vez, o VARI foi o índice onde foram registradas as menores correlações.

Palavras-Chave: Agricultura de precisão, geoestatística, variabilidade espacial

ABSTRACT

The productive potential of corn is driven by genetic factors and intrinsic to the management of the crop, which may present spatial behavior in favors. In this sense, productivity estimates can be improved by taking into account the spatial variability of the stands. The objective of this study was evaluated, what are the objectives of the study according to the corn productivity for the different phenological stages of the crop. The work was created at the Federal University of Plantation, at Fazenda Capim Branco, in 25 ha, cultivated on the planting area in Uberlândia, with the cultivation of corn in no-tillage, under itself. It was configured for two data points by a sampling degree of two demarcated points, in the center of each data per hectare (5 points), in the reference center, a useful plot of 10m². The real productivity was defined by the weight of the grains of the ears coming from the useful plots. The estimated productivity was determined from the evaluation of the components of the culture. The final stand was held for a useful parcel. The number of spikes, highlights per spike, grains per highlight and the weight of a thousand seeds (PMS), split-evaluate the extraction of plants in each of the plants, a withdrawal from the centrals. The data were audited, using Pearson's descriptive and spatially linear form, using geostatistics. The highest correlations were with the occurs between 50 and 55 DAS. The IV's that most stood out positively were the NDRE, GNDVI and CCCI, the VARI was the index that had the lowest correlation.

Keywords: Precision Agriculture, Geostatistics, Spatial Variability

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	MATERIAL E MÉTODOS	3
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	6
4.	CONCLUSÃO	9
5.	REFERÊNCIAS	10

1. INTRODUÇÃO

Para que o Brasil se torne cada vez mais competitivo no mercado mundial é necessário que se desenvolvam constantemente novas tecnologias. A produtividade das lavouras pode ser elevada através do uso consciente de insumos agrícolas de origem biológica, do uso correto da mecanização, da quantidade de água e produtos químicos. Nas lavouras, incluindo a cultura do milho (*Zea mays*), os insumos como sementes, fertilizantes e produtos para manejo fitossanitário representam os principais fatores limitantes para a produção (SOUZA, 2009; RAMOS, 2017).

O milho, pertencente à família *Poaceae*, é cultivado em quase todas as partes do mundo (BARROS; CALADO, 2014), sendo no Brasil, de grande importância comercial e valor socioeconômico (MIRANDA, 2020).

No ano agrícola 2020/21 a produção de milho no Brasil alcançou 106,5 milhões t, dividida entre a primeira e segunda safra, representando um aumento de 3,7% em relação à safra anterior. Ainda segundo a Companhia Brasileira de Abastecimento – CONAB, a área alcançou 19.873,4 mil ha, enquanto a produtividade foi de 5.355 kg ha⁻¹ (CONAB, 2021). Segundo projeções do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2018), para 2027/28, estimam-se valores de produção acima de 113 milhões de toneladas.

Os números revelam a importância da cultura, processo intimamente relacionado ao avanço tecnológico, melhoramento genético, aumento do potencial produtivo, além do emprego da agricultura de precisão em conjunto ao uso do sensoriamento remoto. A agricultura de precisão (AP) busca o aumento da eficiência da aplicação de insumos agrícolas visando aumentar lucros e diminuir o impacto ambiental (MOLIN et al., 2015). O principal objetivo da AP se fundamenta na existência de variabilidade espacial dos fatores produtivos, auxiliando na tomada de decisão quanto ao uso eficiente de recursos e equipamentos (BALASTREIRE; BAIO, 2001; NOETZOLD et al., 2019).

O caráter multidisciplinar das ferramentas sofisticadas para análise de variabilidade espacial e temporal da cultura, se apresenta como uma das características mais importantes da AP, levando em conta parâmetros específicos da cultura, solo e clima. Para que sejam adquiridas estas informações de forma não invasiva com os menores danos à cultura podemos destacar ao Sensoriamento Remoto - SR (OLIVEIRA, 2017; REGHINI; CAVICHIOLI, 2020). Para a obtenção de informações dos alvos pode-se contar com sensores embarcados em plataformas orbitais, a exemplo do satélite Landsat-8, lançado no ano de 2013. Seu sensor, *Operational Land Imager* (OLI), fornece imagens com oito bandas espectrais, dezesseis dias

de resolução temporal e 30 m de resolução espacial (ZHU; WOODCOCK, 2014; SOTHE *et al.*, 2017). Outro satélite é o Sentinel-2, lançado em 2015, produzido pela Agência Espacial Europeia (ESA). Apresenta um sensor multiespectral de resolução espacial média a alta, o *MultiSpectral Instrument* (MSI), uma boa resolução temporal (cinco dias, com dois satélites), resolução espacial alta e média (10, 20 e 60 m) e treze bandas espectrais abrangendo comprimentos de onda de 0,4 a 2,2 μm (DRUSCH *et al.*, 2012; SOTHE *et al.*, 2017).

O SR é alternativa para o estudo das alterações na condução e produção da cultura. Registra informações sobre os alvos da terra a partir da radiação eletromagnética, apresentando resultados rápidos e eficazes (MENESES; ALMEIDA, 2012; RISSINI; KAWAKAMI; GENÚ, 2015; SANTOS; LIMA, 2019; ALBERT, 2020). A agricultura de precisão em conjunto com o SR permite estimar a produtividade, a partir de relações matemáticas entre faixas espectrais e componentes produtivos das culturas como solo, clima e de planta (ATZBERGER, 2013; ZERBATO *et al.*, 2016).

Em relação à aplicação do sensoriamento remoto, os dados relacionados à densidade e vigor da cobertura vegetal, conhecido como índice de vegetação (IV), têm sido um dos principais métodos para a análise da dinâmica espectral da cultura (JUSTINA, 2014; SILVA *et al.*, 2020). Os IV destacam o vigor da vegetação e algumas propriedades tais como alterações fisiológicas na planta, falhas de plantio, restrições físicas ou químicas no solo, identificação de plantas infestante e estimativa de produtividade (GUTIERREZ-RODRIGUEZ *et al.*, 2005; PEREIRA *et al.*, 2016). Um exemplo de IV é o *Visible Atmospherically Resistant Index* – VARI (GITELSON *et al.*, 2002), usado na estimativa da fração de vegetação com a mínima interferência de fatores atmosféricos, e é utilizado em estimativas de produtividade e no monitoramento das variações fenológicas de diversas espécies vegetais (MORENO *et al.*, 2018; PRESTES *et al.*, 2020). O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é um dos índices mais utilizados (GEERKEN *et al.*, 2005; JORGE *et al.*, 2019), varia em uma escala de -1 a 1, sendo que quanto maior o seu valor, maiores as diferenças entre a reflectância do NIR, indicando maior teor de clorofila e vigor (ROUSE *et al.*, 1973; RISSINI *et al.*, 2015).

O índice de vegetação NDRE (*Normalized Difference RedEdge Index*) também é obtido através da banda NIR, permite quantificar a clorofila, o nitrogênio nas plantas e a demanda de fertilizantes (DUAN *et al.* 2017). O GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation*) é um índice similar ao NDVI, utilizado para avaliar a ativação fotossintética, e é utilizado em estádios mais avançados de desenvolvimento pois satura tardiamente, usado para determinar absorção de água e dossel da cultura. Os índices SRG (*Simple Radio Green*) e o RVI (*Radio Vegetation Index*) apresentam como vantagens a inexistência de um ponto

saturação e uma sensibilidade constante à vegetação, mesmo em altos valores de biomassa medidos (JORDAN, 1969; VINA et al. 2011). Já o CCCI (*Canopy Chlorophyll Content Index*) apresenta resultados melhores aos do NDVI, devido a saturar mais tardiamente.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar índices de vegetação que correlacionem melhor com a produtividade do milho para diversos estádios fenológicos da cultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local

O experimento foi realizado na fazenda experimental Capim Branco (18°53' S e 48°20' W), localizada no município de Uberlândia-MG, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia. O talhão experimental, de 25 hectares, apresenta solo classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2006), relevo suave ondulado e clima tipo Aw, de acordo com a classificação de Köppen. A área de estudo destina-se ao cultivo de soja em plantio direto desde 2012, em sucessão ao milho ou sorgo, tendo sido instalado milho na safra 2019/19.

2.2 Tratos culturais e amostragem

Os tratos culturais foram realizados conforme o manejo da fazenda experimental Capim Branco. A data do plantio do milho foi no dia 01 de março de 2019 e a colheita no dia 16 de julho de 2019. Na área experimental foi definida uma grade regular de amostragem de dois pontos por hectare, totalizando 50 pontos (Figura 1). A localização dos pontos foi realizada com uso do sistema global de navegação por satélite – GNSS, a partir do GPS Garmin e-Trex Vista®. Em cada ponto da grade foi definida uma parcela útil de 10 m² (4 fileiras de plantas espaçadas 0,5 m e 5 m de comprimento). A definição da produtividade foi a partir da coleta das espigas na área útil.

2.3 Cultivar, Manejo e Colheita

O material utilizado foi o híbrido simples P3707VYH, de ciclo precoce. As sementes foram adquiridas com tratamento industrial (TSI), com os inseticidas Dermacor (Clorantraniliprole: 625 g.l-1) e Poncho (Clotianidina: 600 g.l-1), para proteção contra o

ataque de pragas em estádios iniciais da cultura. Os demais tratos culturais ao longo do desenvolvimento do milho ficaram a cargo do gerenciamento da fazenda. A colheita foi realizada de forma manual, com debulha mecanizada.

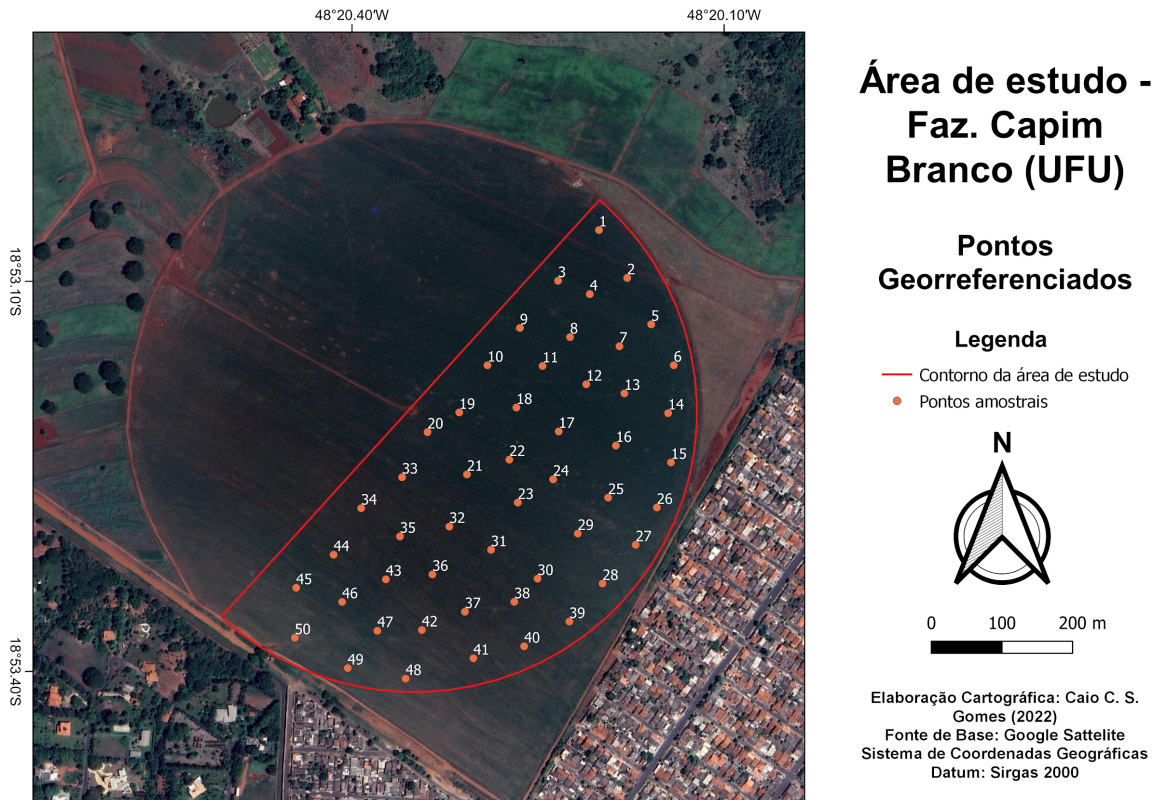


Figura 1: Área georreferenciada com 50 pontos amostrais. Fonte: Gomes (2022).

Em etapa seguinte, as amostras dos grãos foram levadas ao Laboratório de Análise de Sementes da UFU (LASEM), para limpeza de impurezas, pesagem e obtenção de umidade dos grãos. A produtividade final foi calculada considerando um teor umidade igual a 13%, seguindo a fórmula:

$$PF = \frac{PI(100 - UI)}{100 - UF}$$

Onde:

PF= Peso final corrigido a 13% de umidade

PI= Peso inicial na umidade real

UI= Umidade inicial (real do grão)

UF: Umidade Final (13%)

2.4 Extração dos dados das imagens de satélite

As imagens foram obtidas a partir dos registros do satélite Sentinel-2 (L2A) por meio da plataforma Sentinel Hub, determinado um intervalo ótimo de coleta de quinze dias, a fim de obter o maior número de imagens ao longo da fenologia da cultura. As bandas utilizadas foram Blue (0,45 – 0,52 μ), Green (0,52 – 0,60 μ), Red (0,63 – 0,69 μ), RedEdge (0,69 – 0,73 μ) e Infravermelho Próximo NIR (0,76 – 0,90 μ). Entre os diversos IV foram selecionados os mais utilizados na literatura e no meio comercial (Tabela 1).

Tabela 1. Índices de vegetação (IV), respectivas equações e referências

Índices de Vegetação	Equações	Referências
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$(\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$	Rouse et al.(1974)
VARI (Visible Atmospherically Resistant Index)	$(\text{G} - \text{R}) / (\text{G} + \text{B} - \text{R})$	Gitelson et sl. (1996)
NDRE (Normalized Difference RedEdge Index)	$(\text{NIR} - \text{RE}) / (\text{NIR} + \text{RE})$	Barnes et al. (2000)
GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index)	$(\text{NIR} - \text{G}) / (\text{NIR} + \text{G})$	Hansen Schjorring (2003)
CCCI (Canopy Chlorophyll Content Index)	NDRE /NDVI	Long et al. (2009)
RVI (Radio Vegetation Index)	NIR/R	Barbosa (2014)
SRG (Simple Ratio Green)	NIR/G	Jordan, C. (1969)

Em que: NIR, valores de refletância obtidos pelo sensor em 780nm; RE, reflectância em 730 nm; Red, reflectância em 670 nm.

Espacialmente, foi realizada análise geoestatística, a partir dos valores médios de pixel para cada um dos cinquenta pontos da grade amostral, considerando uma área de abrangência de 706 m² ao redor de cada ponto (Figura 2). Esse valor foi inserido na calculadora raster com auxílio do programa Qgis (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2015).



Figura 2. Pontos representativos da área dos pixels.

Os mapas dos componentes produtivos e das produtividades foram gerados a partir dos softwares Surfer (GOLDEN SOFTWARE, 1999) e Qgis (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2015), e o plugin Smart Map-SMP no ambiente Qgis.

Os dados foram avaliados de forma descritiva, para obtenção de valores de tendência central e por correlação linear de Pearson ($p < 0,05$), a partir do software Statistica 7 (STATSOFT, 2004).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estimativa da produtividade do milho permitiu evidenciar um valor médio de 8.764 kg ha⁻¹ (Tabela 2), superior à média nacional em 2019, de 6.982 kg ha⁻¹ (CONAB, 2019) em 29 sacas ha⁻¹ (1.792 kg ha⁻¹).

Tabela 2. Análise descritiva dos componentes de produtividade do milho, safra 2019-19.

Atributo	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	CV (%)
Produtividade (kg.ha ⁻¹)	6050,2	10958,2	8764,9	8542,4	13,7

CV (%): Coeficiente de variação, em %.

Isso é atribuído a fatores como o tipo de solo, manejo de adubação, tipo de híbrido e manejo fitossanitário utilizado, além de fatores climáticos como a quantidade de chuvas no talhão. A quantidade de espigas e o número de grãos por espiga são determinantes para definição da produtividade. De acordo com Vian et al. (2016) o período que define o potencial produtivo do milho é o V4 - V6, onde há a maior necessidade de nitrogênio.

A análises descritivas para os índices de vegetação (Tabela 3), permitem evidenciar a presença de superfície terrestre com vegetação fotossintética ativa relacionando biomassa e teor de clorofila (CARVALHO JUNIOR *et al.*, 2009).

Tabela 3. Análise descritiva da produtividade do milho e dos índices de vegetação nas datas de avaliação propostas.

		15 das ¹	35 das	50 das	55 das	65 das	75 das	95 das	115 das
CCCI ²	media	0.12	0.04	0.16	0.12	0.17	0.19	0.18	0.15
	CV	44.03	19.48	4.28	6.21	7.88	6.90	5.70	6.80
GNDVI	media	0.36	0.51	0.77	0.76	0.67	0.65	0.65	0.70
	CV	2.21	4.92	2.24	2.69	3.61	3.19	2.76	5.75
NDRE	media	0.02	0.02	0.14	0.11	0.14	0.14	0.14	0.11
	CV	44.69	20.73	6.42	8.01	9.79	8.79	7.55	8.56
NDVI	media	0.13	0.45	0.88	0.87	0.80	0.77	0.77	0.77
	CV	7.79	12.23	2.99	3.40	2.54	2.47	2.31	10.24
SRG	media	2.15	3.11	7.88	7.48	5.14	4.80	4.75	5.77
	CV	1.87	6.63	7.60	8.53	7.95	6.56	5.69	13.38
RVI	media	1.29	2.65	16.48	15.59	9.23	7.64	7.84	8.58
	CV	2.04	12.81	15.68	15.63	9.39	7.89	7.49	26.33
VARI	media	0.76	0.58	0.51	0.51	0.29	0.25	0.27	0.33
	CV	89.12	87.13	9.15	10.02	2.81	2.80	2.90	91.52

De acordo aos dados descritivos dos IV e de correlação destes com a produtividade (Tabelas 3 e 4), é possível destacar os índices NDVI e GNDVI, a partir dos 50 DAS, com correlação de 0,77 e 0,88 respectivamente. Ambos os índices possuem em comum o NIR, envolvido na distribuição e arranjos do parênquima das plantas e tamanho e forma das células (CHB Agro, 2020).

Pode se observar, de maneira geral, que as maiores correlações foram entre os 50 a 55 DAS, período no qual a planta estará próxima ao estágio V₁₈, cerca de 8 a 9 dias antes do florescimento, período crítico à planta em caso de estresse ambientais por causar retardo no desenvolvimento da espiga e dos óvulos, fazendo com que essas não seja fecundada, resultando em menor quantidade de grãos e afetando assim a produtividade (FORNASIERI FILHO, 2007).

O GNDVI apresentou a maior correlação em 50 DAS ($r= 0,59$), reforçando a relação da banda NIR, que avalia densidade de biomassa na planta. Na sequência há destaque para o NDRE, e o CCCI que é a relação dos dois IV mais utilizados comercialmente e analisa a quantidade de clorofila na planta. Vale ressaltar que quanto maior a capacidade fotossintética de uma planta maior será o acúmulo de nutrientes nos grãos (BUENO, 2022).

Tabela 4. Correlação entre a produtividade de milho - safra 2019-19, e os índices de vegetação em datas após semeadura.

	15 das ¹	35 das	50 das	55 das	65 das	75 das	95 das	115 das
CCCI²	-0.197	0.001	0.524*	0.551*	0.592*	0.541*	0.513*	-0.307*
	p=.170	p=.996	p=.000	p=.000	p=.000	p=.000	p=.000	p=.030
GNDVI	0.012	0.606*	0.599*	0.612*	0.486*	0.411*	0.461*	0.493*
	p=.932	p=.000	p=.000	p=.000	p=.000	p=.003	p=.001	p=.000
NDRE	-0.183	0.332*	0.572*	0.638*	0.581*	0.507*	0.501*	0.448*
	p=.203	p=.018	p=.000	p=.000	p=.000	p=.000	p=.000	p=.001
NDVI	0.056	0.561*	0.503*	0.519*	0.445*	0.356*	0.422*	0.475*
	p=.701	p=.000	p=.000	p=.000	p=.001	p=.011	p=.002	p=.000
SRG	0.001	0.403*	0.416*	0.531*	0.489*	0.394*	.0453*	0.465*
	p=.948	p=.000	p=.000	p=.000	p=.000	p=.005	p=.001	p=.001
RVI	0.058	0.456*	0.464*	0.584*	0.451*	0.323*	0.403*	0.390*
	p=.688	p=.000	p=.000	p=.000	p=.001	p=.022	p=.004	p=.005
VARI	0.023*	0.420*	0.410*	0.437*	0.089	-0.161	0.129	0.486*
	p=.002	p=.002	p=.003	p=.002	p=.539	p=.263	p=.372	p=.000

¹DAS: Dias após semeadura. ² CCCI; GNDVI; NDRE; NDVI; SRG; RVI; VARI

Dentro dos IV que não apresentaram correlações próximas de $r=0,5\%$, o VARI foi o que menos se correlacionou. Isto é devido a ser um índice que reflete o desenvolvimento ou não de uma cultura em uma área pela quantia de verde refletida. O SRG e RVI são índices ainda poucos explorados na agricultura, mas demonstraram que é possível haver correlação sendo de 0,531 e 0,584, respectivamente, aos 55 DAS, ambos com a banda de Infravermelho Próximo (NIR).

Um comparativo visual de todos os IV e respectivas datas analisadas pode ser visualizado na Figura 3. Nela é possível verificar que após 50 DAS, praticamente todos os índices de vegetação saturam, mantendo similar relação espacial entre as imagens.

Os resultados deste estudo possibilitam comparar a produtividade e os índices de vegetação. Atualmente existem diversas plataformas gratuitas para extrair dados e imagens, que funciona como uma ferramenta para o manejo das lavouras, permitindo que cheguem, por exemplo, a pequenos e médios agricultores em escala comercial, sendo mais um suporte no gerenciamento das lavouras.

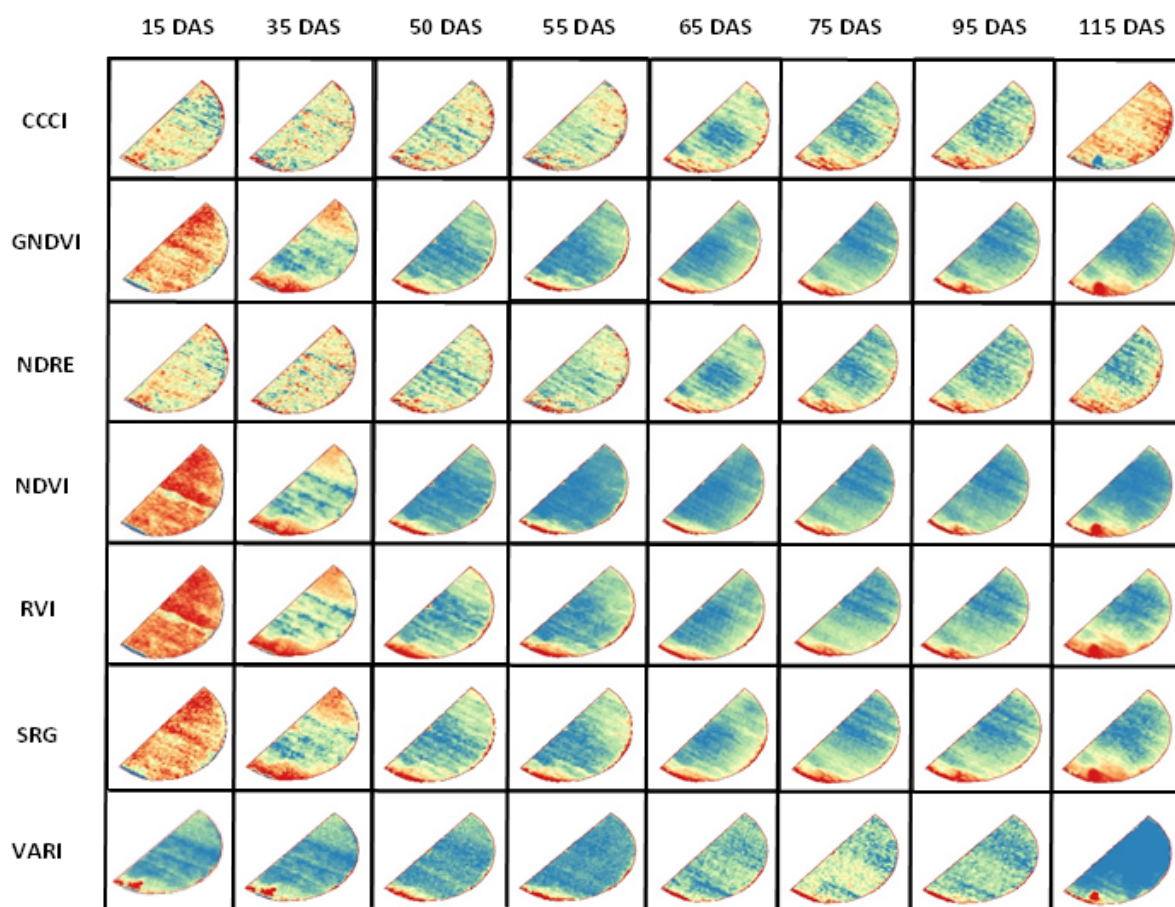


Figura 3. Mapas de dependência espacial para todas as datas e índices de vegetação analisados.

4. CONCLUSÃO

- Há correlação significativa para os índices de vegetação após 35 DAS, sendo a maior correlação entre 50 e 55 DAS.

- Os IV de maior destaque foram o NDRE, GNDVI e CCCI, enquanto o VARI foi o índice com menor correlação.

5. REFERÊNCIAS

- AVILA, Ígor Araujo Menezes de. **Correlação espacial entre atributos do solo e o banco de sementes de plantas infestantes**. 2019. 23 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.
- ATZBERGER, C. Advances in remote sensing of agriculture: context description, existing operational monitoring systems and major information needs. **Remote Sensing**, v. 5, n. 2, p. 949-981, 2013
- BARBOSA, Ana Paula. **IMAGENS HIPERESPECTRAIS NO MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DA CULTURA DO CITROS**. 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/110954/000791629.pdf;jsessionid=8316507B4C4E769A99FA4903EF5A3CAC?sequence=1>. Acesso em: 20 ago. 2022.
- BARNES, E.M.; T.R. Clarke; S.E. Richards; P.D. Colaizzi; J. Haberland; M. Kostrzewski; et al. **Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data**. In: Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture, 2000.
- BARROSO, J. *et al.* Dispersal of *Avena fatua* and *Avena sterilis* patches by natural dissemination, soil tillage and combine harvesters. **Weed Res.**, v. 46, n. 2, p. 118-128, 2006.
- BRANDÃO, Z. N.; BEZERRA, M. V. C.; FREIRE, E. C.; SILVA, B. B. Agricultura de precisão para gerenciamento do algodão. In: **AZEVÊDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. O agronegócio do algodão no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica**, 1309 p. cap. 20. v. 2, 2008.
- BUENO, Deyvid. **Enchimento de Grãos**. Disponível em: <https://www.agrotecnico.com.br/enchimento-de-graos-eficaz/>. Acesso em: 27 dez. 2022.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; *et al.* Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CHB AGRO. NDVI E NDRE: O QUE SÃO, SUAS DIFERENÇAS E QUANDO UTILIZÁ-LOS. 2020. **CHB Agro Portal**. Disponível em: <https://blog.chbagro.com.br/ndvi-e-ndre-o-que-sao-suas-diferencas-e-quando-utiliza-los>. Acesso em: 25 nov. 2022.
- CONCEIÇÃO, M. P. C.; SILVA, G. B. S.; NOGUEIRA, S. F. Elaboração de perfis temporais de índices de vegetação a partir de imagens Landsat. **Circular Técnica**, Campinas, v. 15, n. 8, p. 1-20, 2015.
- CORTI, M.; CAVALLI, D.; CABASSI, G.; GALLINA, P. M.; BECHINI, L. Does remote and proximal optical sensing successfully estimate maize variables? A review. **European Journal Of Agronomy**, [S.L.], v. 99, p. 37-50,. 2018.

CORTI, M. **Multispectral and hyperspectral sensing for nitrogen management in agriculture**. 2015. 235 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali, Università Degli Studi di Milano, Milano, 2016.

DUAN, T., CHAPMAN, S. C., GUO, Y., ZHENG, B. **Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle**. *Field Crops Research*, v. 210, p. 71-80, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.05.025>.

FORNASIERI FILHO, Domigos. **Manual da Cultura do Milho**. Jaboticabal: Fubep, 2007.

GEOSTATISTICS for the Environmental Sciences. Michigan: Plainwel, 2008. p. 1-179.
GOLDEN SOFTWARE. Surfer plotting software information brochure. [S.l.]: Golden Software, 1999. 619p.

GEERKEN, R., ZAITCHIK, B., EVANS, J. P. **Classifying rangeland vegetation type and coverage from NDVI time series using Fourier filtered cycle similarity**. *Rev. bras. Geom., Curitiba*, v. 9, n. 4, p. 350-362, out./dez. 2021.

GITELSON, A. A., Y. KAUFMAN and M. N. MERZLYAK. 1996. **Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS**. *Remote Sensing of Environment* 58: 289–298.

GOMES, Caio César Sales. **ESPACIALIZAÇÃO DA ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE EM MILHO DE SEGUNDA SAFRA**. 2022. 24 f. Monografia (Especialização) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. Disponível em: UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA. Acesso em: 13 out. 2022.

GUTIERREZ-RODRIGUEZ, M., ESCALANTE-ESTRADA, J. A., RODRIGUEZ-GONZALEZ, M. T. **Canopy reflectance, stomatal conductance, and yield of Phaseolus vulgaris L. and Phaseolus coccineus L. under saline field conditions**. *International Journal of Agriculture & Biology*, v. 7, n. 3, p. 491-494, 2005.

HANSEN, P. M., SCHJOERRING, J. K. **Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression**. *Remote Sensing of Environment*. v. 86, p. 542-553, 2003.

HOLLAND, J. M. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. ***Agriculture, Ecosystems & Environment***, v. 103, p.1-25, 2004.

JORDAN, C. **Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor**. *Ecology*, v. 50, n. 4, p. 663, jul. 1969. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/1936256?origin=crossref>>. Acesso 20 jan .2021

JUNIOR, O. A.; COUTO JUNIOR, A. F.; SILVA, N. C.; MARTINS, E. S.; CARVALHO, A. P. F. DE; GOMES, R.A.T. Avaliação dos classificadores espectrais de mínima distância euclidiana espectral correlation mapper em séries temporais NDVI-MODIS no campo de instrução militar de Formosa (GO). ***Revista Brasileira de Cartografia***, p. 399-412. 2009.

DRUSCH, M.; BELLO, U. D.; CARLIER, S.; COLIN, O.; FERNANDEZ, V.; GASCON, F.; HOERSCH, B.; ISOLA, C.; LABERINTI, P.; MARTIMORT, P.; MEYGRETC, A.; SPOTOA, A. F.; SYA O.; MARCHESED F.; BARGELLINID P. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. **Remote Sensing of Environment**, p. 25–36, 2012.

JUSTINA, D. D. D. **Dinâmica espectral da soja por meio do NDVI utilizando sensores orbital e terrestre**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014.

LONG, D. S., EITEL, J. U. H., and HUGGINS, D. R. **Assessing nitrogen status of dryland wheat using the canopy chlorophyll content index**. *Crop Management*. Online. doi:10.1094/CM-2009-1211-01-RS.

MENEGATT, L. A. A.; MOLIN, J. P. Remoção de erros Remoção de erros em mapas de produtividade em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Piracicaba, v. 8, n. 1, p. 126-134, 2004.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MENESES-TOVAR, C. L. NDVI as indicator of degradation. **Unasyuva**, v. 238, n. 62, p. 39-46, 2011.

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

MORENO, L. *et al.* Comparative study of multispectral satellite images and RGB images taken from drones for vegetation cover estimation. **In: 2018 IEEE 38th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXVIII)**. IEEE, p. 1-8, 2018.

NOETZOLD, R. *et al.* Variabilidade espacial da eficiência do uso de potássio e fósforo na cultura da soja. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 6, p. 529- 541, 2019.

OLIVEIRA, M. F. de. **Modelos de predição de produtividade da cultura do milho por meio de NDVI em arranjos espaciais**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2017.

PEREIRA, L. E.; LASTORIA, G.; FILHO, A. C. P.; JÚNIOR, J. M. Application techniques of digital image processing in different orbital sensors. **Anuário do Instituto de Geociências**, p. 15-24, 2016.

PEREIRA, L. E. *et al.* Aplicação de técnicas de processamento digital de imagens em diferentes sensores orbitais. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 39, n. 3, p. 15-24, 2016.

PRESTES, C. D. P. *et al.* Avaliação de metodologia de estimativa de produtividade de soja por meio de aeronave não tripulada e técnica de aprendizado de máquina 76 baseada em regressão. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão**, v. 5, n. 3, p. 245-01, 2020.

REGHINI, F. L.; CAVICHIOLI, F. A. Utilização de geoprocessamento na agricultura de precisão. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 329- 339, 2020.

RISSINI, A. L., KAWAKAMI, J., GENÚ, A. M. **Índice de vegetação por diferença normalizada e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de Nitrogênio**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 6, p. 1703-1713, 2015.
<https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140686>.

ROUSE, J.W. ; HAAS, R.H. ; SCHELL, J.A. ; DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. *Earth Resources Tecnology Satellite – 1 Symposium*, 3, 1973. *Proceedings. 1973, v.1, Sec. A*, p.309-317.

SANTOS, L. A. C.; LIMA, P. E. M. de. Comparação entre diferentes algoritmos de classificação supervisionada em imagens Landsat-8 no mapeamento temático da bacia hidrográfica do rio caldas, Goiás. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 03, p. 961-972, 2019.

SILVA, A. B. Sistema de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos. Campinas, SP. **Editora da UNICAMP**. 1º ed. 232 p., 2003.

SILVA, V. S. *et al.* Methodological evaluation of vegetation indexes in land use and land cover (LULC) classification. **Geology, Ecology, and Landscapes**, v. 4, n. 2, p. 159-169, 2020

SOTHE, C.; ALMEIDA, C.; LIESENBERG, V.; SCHIMALSKI, M. Evaluating Sentinel-2 and Landsat-8 Data to Map Sucessional Forest Stages in a Subtropical Forest in Southern Brazil. **Remote Sensing**, 838 p., 2017

STATSOFT, INC. **Programa computacional Statistica 7.0**. E.A.U. 2004
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AGRONOMIA SEMINÁRIOS PROF. DR. LÍSIAS COELHO ROBERTSON, G.P. GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p

URI, N. D.; ATWOOD, J. D.; SANABRIA, J. The environmental benefits and costs of conservation tillage. **Science of the Total Environment**, v. 216, n. 1/2, p. 13-32, 1998.

VIAN, A. L. et al. Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. **Ciência Rural**, v. 46, n. 3, p. 464-471, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150539>.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. **In: NOVAIS, R.F. de.; ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. Ed. Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, SBCS, 2000. p.1-54.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. **In: Hillel, D. (ed). Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980. cap. 2, p.319-344.

WEISS, J. L. *et al.* Long-term vegetation monitoring with NDVI in a diverse semi-arid setting, central New Mexico, USA. **Journal of Arid Environments**, v. 58, n. 2, p. 249-272, 2004.

ZERBATO, C. *et al.* Agronomic characteristics associated with the normalized difference vegetation index (NDVI) in the peanut crop. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 10, n. 5, p. 758–764, 2016.

ZHU, Z.; WOODCOCK, C. E. Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. **Remote Sensing of Environment**. p. 152–171, 2014.