

CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS NA VERIFICAÇÃO DE VARIABILIDADES TEMPORAIS E ESPACIAIS DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM FEIJOEIRO COMUM

Wesley Maicon Souza Parente¹; Carlos Cesar Silva Jardim¹

¹Universidade do Estado de Mato Grosso, Faculdade de Ciências Agrárias, Biológicas e Sociais Aplicadas, Campus de Nova Xavantina-MT, E-mail: parente.wesley@unemat.br, carlos.jardim@unemat.br

RESUMO: O estudo teve como objetivo a avaliação da existência de variação temporal do índice NDVI através da análise do controle estatístico de processos em feijoeiro comum. Avaliou-se uma área irrigada por pivô central no período de safra de inverno, onde foi analisado o NDVI de quatro safras, através de imagens obtidas pelo satélite LANDSAT-8. Foi aplicado as técnicas de controle estatístico de processo com limites determinados através do desvio padrão da média global de cada data para verificação de variação entre datas, determinando pontos estáveis e variáveis. Obteve-se padrões de variação espacial e temporal resultado da diminuição do NDVI com as safras subsequentes, diminuindo a média global e aumentando a variação entre as datas avaliadas. A ferramenta de controle estatístico de processo é eficiente em quantificar as instabilidades do atributo avaliado, demonstrando a variabilidade temporal do processo.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão espaço-temporal; Agricultura de precisão; Sensoriamento remoto

STATISTICAL PROCESS CONTROL IN ASSESSING TEMPORAL AND SPATIAL VARIABILITIES OF VEGETATION INDICES IN COMMON BEAN CROPS

ABSTRACT: The study aimed to evaluate the existence of temporal variation in the NDVI index through the analysis of statistical process control in common bean crops. An irrigated area under a center pivot system was assessed during the winter season, and the NDVI of four crops was analyzed using images obtained from the LANDSAT-8 satellite. Statistical process control techniques were applied, with limits determined by the standard deviation of the global average for each date, to verify variation between dates and determine stable and variable points. Spatial and temporal variation patterns were observed, resulting in a decrease in NDVI with subsequent crops, reducing the global average and increasing the variation between the evaluated dates. The statistical process control tool proved effective in quantifying instabilities in the evaluated attribute, demonstrating the temporal variability of the process.

KEYWORDS: Spatial-temporal management; Precision agriculture; Remote sensing

INTRODUÇÃO

Na agricultura contemporânea, a tecnologia é cada vez mais utilizada na agricultura, para auxiliar o produtor, que visa a aplicação de insumos nas quantidades adequadas nos locais corretos no sistema de taxa variável, utilizando informações com auxílio de GPS (Tschiedel e Ferreira, 2002; Roberts, 2015). Na agricultura de precisão, existem ferramentas de gerenciamento das informações do cultivo, sendo uma delas o sensoriamento remoto, devido ao fácil e rápido acesso, imagens de satélite são as mais utilizadas (Leivas et al., 2014).

O objetivo do sensoriamento remoto é a obtenção de imagens a distância para caracterizar determinados objetos ou áreas e para a obtenção dessas imagens são utilizados diversos meios, sendo o satélite uma das principais formas de se conseguir imagens (Shiratsuchi et al., 2014). As técnicas de sensoriamento remoto permitem estudos em escalas regionais e periódicas, possibilitando estimativas de biomassa, produtividade e avaliação do estado fenológico de culturas (Almeida et al., 2005; Sun et al., 2019).

Para estabelecer um estande ideal de plantas, adota-se estratégias de manejo para maximizar a produção e condições ideais para o desenvolvimento da cultura, além da escolha de variedades e cultivares adaptadas a região, a utilização de mínimo revolvimento possível do solo e uso de plantas de cobertura tornaram-se ferramentas importantes no sistema de produção (Chioderoli et al., 2012; Daryanto et al., 2017). O controle estatístico de processo é uma ferramenta que possibilita conferir a variabilidade das ocorrências e com base na média geral dos atributos, sendo capaz de definir se os processos agrícolas estão uniformes (Milan & Fernandes, 2002; Ormond et al., 2019), possibilitando assim definir as variabilidades temporais de atributos agrícolas.

O feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) desempenha um papel crucial na segurança alimentar em diversas regiões do mundo, essa cultura é cultivada em uma ampla variedade de ambientes e em diferentes níveis tecnológicos de produção, destacando sua relevância global (Fernandes et al., 2015). A fim de assegurar a eficiência da produção, é essencial utilizar cultivares com alto potencial produtivo, boa adaptação e baixa sensibilidade a estresses bióticos ou abióticos, a escolha adequada de cultivares exercem uma influência direta no aumento do rendimento, na oferta de alimentos, na redução de custos e na estabilidade da produção, permitindo uma margem de lucro maior para os produtores (Lanna et al., 2018; Goldmeier, 2019).

Diante essa premissa, teve-se como objetivo verificar a variabilidade temporal dos índices de vegetação da cultura do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em cultivo de inverno sob irrigação de pivô central, utilizando sensoriamento remoto.

MATERIAL E MÉTODOS

A área designada para o estudo encontra-se na latitude -12°32'56" e longitude -52°16'34", em um pivô central com área de 103 hectares. Foram analisadas as variações dos índices vegetativos seguindo a metodologia proposta por (Almeida et al., 2005) para análise de reflectância, onde foram coletadas imagens do sensor LANDSAT 8, sendo selecionadas imagens de pixels de maior valor e sem interferência de nuvens, após o período de

estabelecimento da cultura no campo nas safras 2017, 2018, 2019 e 2020, as imagens coletadas correspondem as datas de máximo crescimento vegetativo do feijão cultivado no inverno.

Para a comparação de variação temporal foi utilizado índices de vegetação NDVI (eq. 01) com auxílio do software QGIS para realização das análises das imagens. Após serem gerados os índices, foram convertidos todos os pixels em pontos, com intuito de extrair as informações anuais dos atributos pra serem trabalhados software estatístico Minitab®.

Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI):

$$NDVI = \frac{(piv-pv)}{(piv+pv)} \quad \text{eq.01}$$

Onde: piv é a reflectância no infravermelho (compatível com a banda do visível do LANDSAT), pv é a reflectância no visível (compatível com a banda do visível do LANDSAT).

Utilizou-se o Controle Estatístico de Processos para analisar os pontos que apresentavam instabilidade acima de três vezes o desvio padrão da média global. O objetivo das cartas de controle é identificar padrões ou tendências nos dados que indiquem se o processo está sob controle ou fora de controle. Quando os pontos estão dentro dos limites de controle, considera-se que o processo está sob controle estatística, ou seja, está operando de maneira consistente. No entanto, se ocorrem pontos fora dos limites de controle, ou padrões não aleatórios, podem indicar a presença de causa especiais de variação, o que pode requerer investigação e ação corretiva.

Foram avaliados os índices de vegetação anualmente, indicando se o pixel estava variando valor em comparação com a safra seguinte dentre os limites superiores e inferiores esperados, isso permitiu a identificação dos pontos que apresentavam discrepâncias em relação aos demais. Além disso, também foi analisado o desvio padrão e o coeficiente de variação de todo conjunto, utilizando o software QGIS, para avaliar a estabilidade temporal de cada pixel, para que ao final desse processo fosse possível realizar a comparação espacial e temporal dos atributos avaliados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando as imagens de NDVI comparando safra após safra nota-se que a cada ano foi aumentando a quantidade e tamanho de zonas instáveis (figura 1). Segundo (Cocco, 2016) ter o conhecimento detalhado da presença da variabilidade tanto químicas ou físicas pode permitir aplica manejos específicos em zonas de alta e baixa produtividade, análises dos atributos do solo pode auxiliar nas definições das zonas quando comparado com mapas de produtividade. As zonas que apresentam instabilidade quando avaliadas separadamente podem

apresentar uma nova faixa de manejo distinta, diminuindo a variabilidade local (Yao et al., 2014).

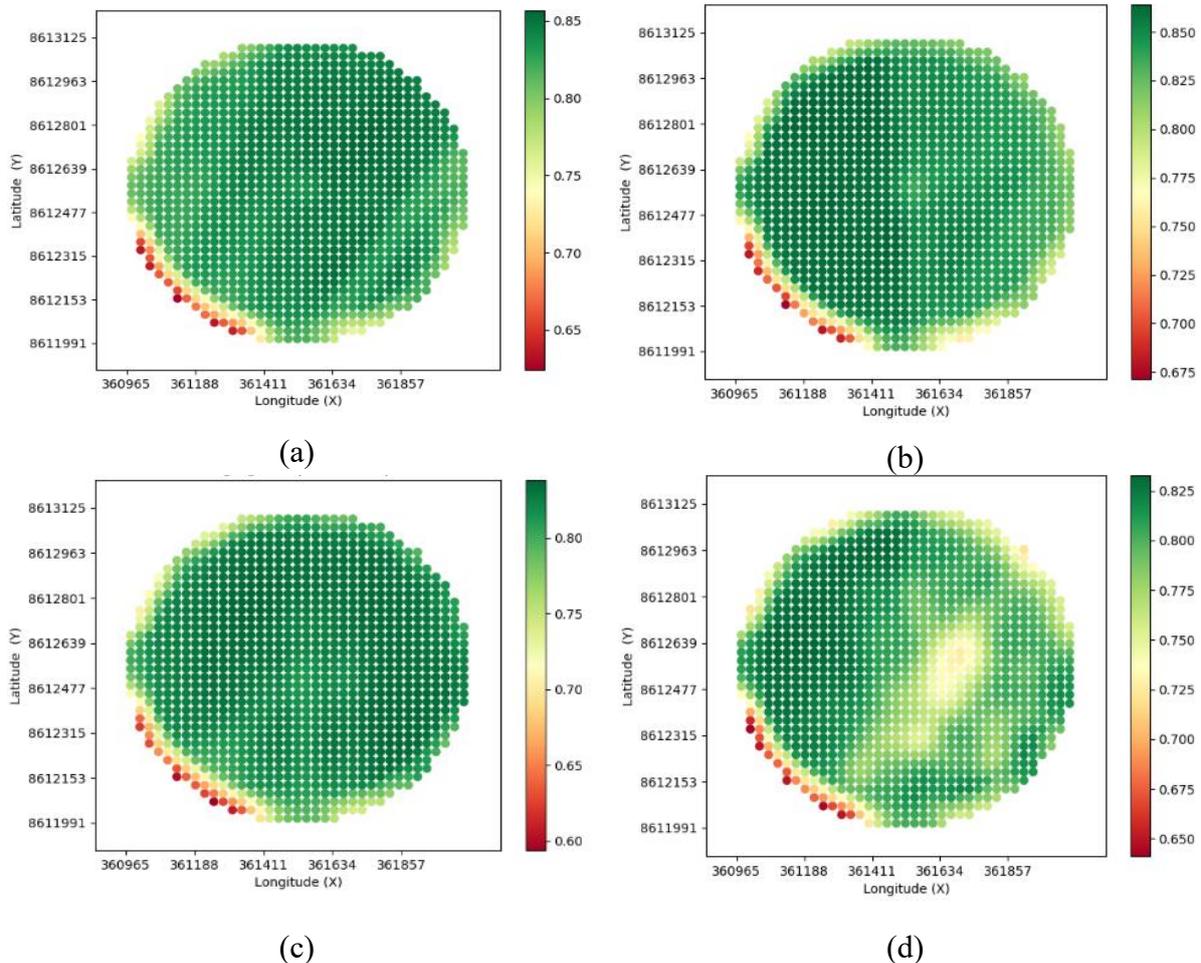


Figura 1- NDVI para as safras (a) 2017, (b) 2018, (c) 2019 e (d) 2020.

Segundo (Leivas et al., 2014) anomalias nos índices torna-se normais apresentando baixo índice de cobertura, pode ser normal quando se analisa em anos com baixa precipitações pluviométricas. Quando analisados os dados pra dependência espacial alguns atributos do solo são poucos influenciáveis devido ao manejo como CTC e teor de argila, mas quando se utiliza a técnica de Krigagem é possível obter uma estimativa melhor de zonas de instabilidades quando analisado ponto com valores locais (Corá et al., 2004).

Com a avaliação dos pixels, nota-se que a média foi reduzida e variação foi aumentada gradualmente criando zona de instabilidade, mesmo as leituras sendo realizadas com a cultura já estabelecidas a campo descartando a hipótese que a variação seria em função da exposição do solo. As leituras nos estágios iniciais da cultura valores próximo ou menores que 0,8 são comuns, pois o solo ainda se encontra expostos entre as linhas de cultivo, já com o maior desenvolvimento da parte aérea e o melhor fechamento da cultura, é possível se determinar com mais precisão a variação de biomassa no local (Povh et al., 2008). Na última avaliação (2020)

confirma o que foi avaliado nas imagens, em que o NDVI demonstra aumento de pontos não corrigidos formando uma zona com baixo índice de biomassa, com variação aumentando e acumulando diferenças negativas. Discute-se também a possibilidade entre a utilização do NDVI como preditor de biomassa, visto que esse índice é amplamente utilizado para esse fim, e pode apresentar correlação parcialmente desprezível (Mbow et al., 2013)

Segundo (Carvalho et al., 2003) o porte das plantas é influenciável pelo o ambiente, podendo afetar diretamente o potencial produtivo das culturas, em geral, observou-se que os coeficientes de variação se relacionando a produtividade e o desenvolvimento da planta não seguem um padrão de distribuição normal. De acordo com (Corá et al., 2004) em uma abordagem mais detalhada, é possível identificar e diminuir os coeficientes de variação através de zonas de manejo controladas dentro de uma dessas áreas. Essas zonas permitem a implementação de práticas de manejo específicas, como a aplicação de calcário e fertilizantes em taxa variável, esse tipo de abordagem que visa promover um gerenciamento mais eficiente e econômico da cultura. Quando confrontado com a literatura, os níveis dos coeficientes de variação está fora do aceitável segundo (Carvalho et al., 2003), onde o aceitável é de no máximo 12% para o porte das plantas e os índices encontrados foram acima de 14% (figura 02).

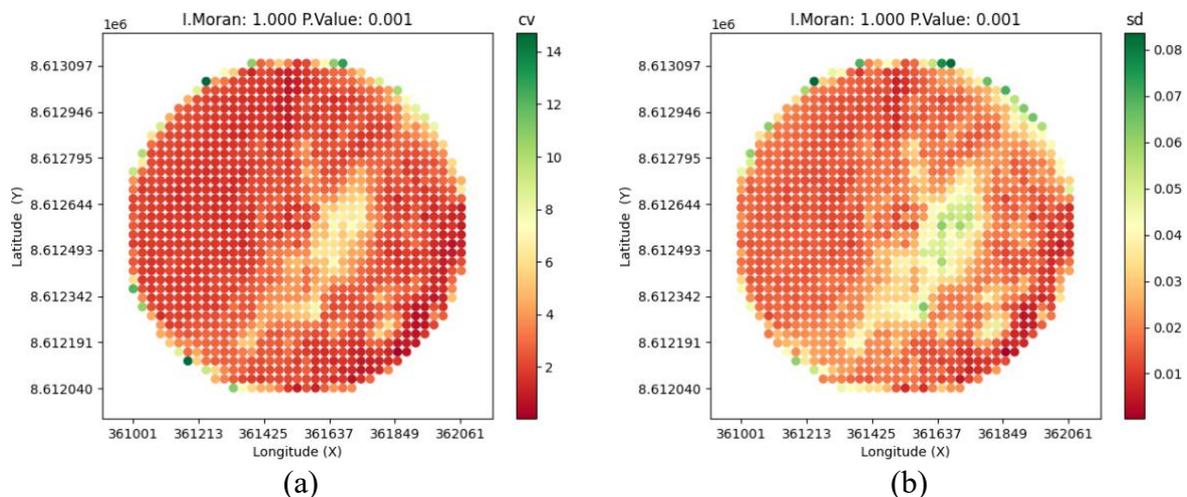


Figura 02- Coeficiente de variação total (a) e desvio padrão (b) para o índice de vegetação NDVI comparado temporalmente.

Com a utilização do controle estatístico de processo, verifica-se um padrão de variação de pontos, analisando os pontos da safra 01 (2017) encontra-se um menor proporção de pontos com variação, onde apresenta NDVI médio de 0,83 com uma variação mínima de 0,78 e uma variação máxima de 0,88, para o ano de 2018 (safra 02) há um acréscimo de pontos com variação de 25,92% para o ano inicial, já para o ano de 2019 (safra 03) houve um aumento de 19,11% entre safras e de 50% em comparação a safra inicial, e para o ano 2020 (safra 04) houve aumento de 1,12% de pontos com variação quando comparados com o ano anterior, e de 51,85%

em comparação ao ano base (Figura 03). Destaca-se também que a progressão do aumento de áreas instáveis atingirá a máxima variabilidade na safra 04, com aproximadamente 82 pontos instáveis.

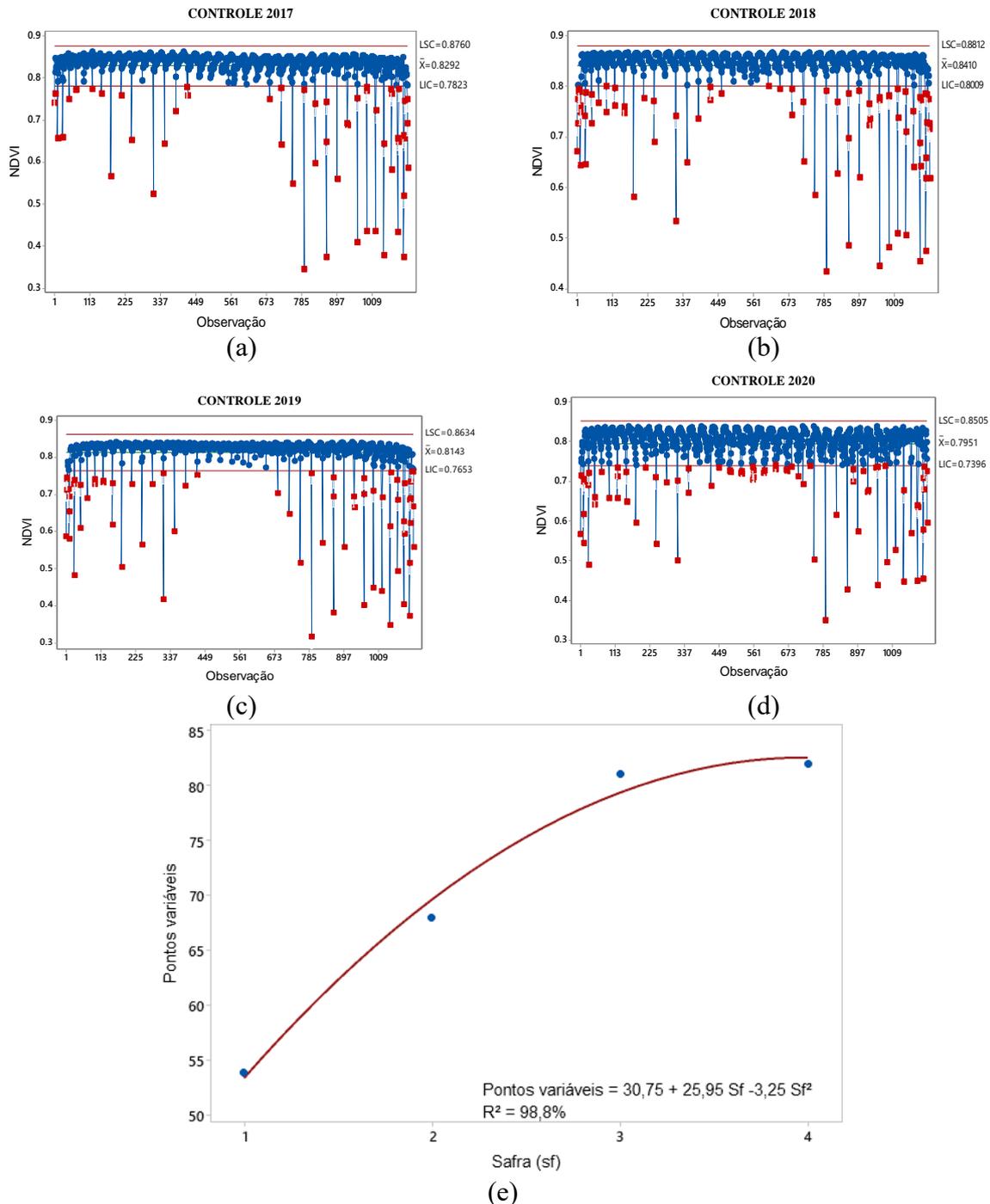


Figura 03: Variação temporal de pontos de NDVI instáveis através do controle estatístico de processo para as safras de 2017 (a), 2018 (b), 2019 (c) e 2020 (d), e regressão de ajuste para modelagem do crescimento da área afetada (e).

O NDVI pode ser utilizado para a predição da variação sazonal do comportamento da vegetação, uma vez que os parâmetros de entrada são os mesmos, a refletância do alvo, assim

possível comparar safras de anos anteriores com as safras atuais (Hill e Donald, 2003). É possível determinar as épocas corretas de intervenção nas culturas com base na variação dos índices de vegetação, visto que com suporte de dados de anos anteriores, já é esperado o padrão espectral da cultura (Jiang et al., 2003).

Segundo (Povh et al., 2008) o índice de vegetação está diretamente ligado a quantidade de nitrogênio nas folhas, com isso pode-se inferir que as plantas nas zonas encontradas podem estar com deficiência de nutrientes ou algum tipo de impedimento físico. Dentre as possibilidades nutricionais também se encontra inferências na deficiência de manganês (MN), pois está envolvido na síntese de lignina, com efeito significativo na capacidade e velocidade de absorção de água pelas sementes através do tegumento, essa relação pode justificar a ocorrência dessas zonas de instabilidade, com a baixa absorção de água menor desenvolvimento vegetativo demonstrado nos índices (Mondo et al., 2008).

Segundo (Jakob, 1999), mesmo em áreas com características pedológicas semelhantes apresentam variações distintas, isto é, dentro da mesma área encontra-se zonas de alta e baixa variação. Para mensurarmos a quantidade e a qualidade do impacto da agricultura de precisão e técnicas de manejo pode ser desafiadora, especialmente quando a variabilidade temporal ou espacial é um componente importante e pouco abordado (Bullock e Lowenberg-DeBoer, 2007).

CONCLUSÕES

Conclui-se que a ferramenta de controle estatístico de processo é eficiente em quantificar as instabilidades do atributo avaliado, demonstrando a variabilidade temporal do processo.

As práticas agrícolas como a agricultura de precisão e irrigação em curto prazo podem aumentar a variabilidade espacial e em consequência a variabilidade temporal.

O NDVI é uma fonte de dados que possibilita implementação de ferramentas de gestão futuras com volume de dados de safras já ocorridas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, T.; FONTANA, D.C.; MARTORANO, L.G.; BERGAMASCHI, H. Índices de vegetação para a cultura da soja em diferentes condições hídricas e de sistema de manejo do solo. **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, Goiás, 2005.**

BULLOCK, D.S.; LOWENBERG-DEBOER, J. Using Spatial Analysis to Study the Values of Variable Rate Technology and Information. **Journal of Agricultural Economics**, v.58, p.517–535, 2007. DOI: 10.1111/j.1477-9552.2007.00116.x.

CARVALHO, C.G.P. DE; ARIAS, C.A.A.; TOLEDO, J.F.F. DE; ALMEIDA, L.A. DE; KIIHL, R.A. DE S.; OLIVEIRA, M.F. DE; HIROMOTO, D.M.; TAKEDA, C. Proposta de classificação dos coeficientes de variação em relação à produtividade e altura da planta de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.187–193, 2003. DOI: 10.1590/S0100-204X2003000200004.

CHIODEROLI, C.A.; MELLO, L.M.M. DE; GRIGOLLI, P.J.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, J.O.R.; CESARIN, A.L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.37–43, 2012. DOI: 10.1590/S1415-43662012000100005.

COCCO, L.B. **Utilização de ferramentas de agricultura de precisão na definição de zonas de manejo**. 2016. 58p. Dissertação de mestrado - Universidade Federal De Santa Maria,

CORÁ, J.E.; ARAUJO, A.V.; PEREIRA, G.T.; BERALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.1013–1021, 2004. DOI: 10.1590/S0100-06832004000600010.

DARYANTO, S.; WANG, L.; JACINTHE, P.-A. Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: A review. **Agricultural Water Management**, v.179, p.18–33, 2017. DOI: 10.1016/j.agwat.2016.04.022.

FERNANDES, R.C.; GUERRA, J.G.M.; ARAÚJO, A.P. Desempenho de cultivares de feijoeiro-comum em sistema orgânico de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, p.797–806, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000900008.

GOLDMEIER, M.G. **Agricultura de precisão integrada ao manejo de lavouras de feijão visando alta produtividade**. 2019. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal do Rio Grande do Sul,

HILL, M.J.; DONALD, G.E. Estimating spatio-temporal patterns of agricultural productivity in fragmented landscapes using AVHRR NDVI time series. **Remote Sensing of Environment**, v.84, p.367–384, 2003. DOI: 10.1016/S0034-4257(02)00128-1.

JAKOB, A.A.E. **Estudo da correlação entre mapas de variabilidade de propriedades do solo e mapas de produtividade para fins de agricultura de precisão**. 1999. Dissertação de mestrado - UNICAMP,

JIANG, D.; WANG, N.; YANG, X.; WANG, J. Study on the interaction between NDVI profile and the growing status of crops. **Chinese Geographical Science**, v.13, p.62–65, 2003. DOI: 10.1007/s11769-003-0086-4.

LANNA, A.C.; SILVA, R.A.; FERRARESI, T.M.; MENDONÇA, J.A.; COELHO, G.R.C.; MOREIRA, A.S.; VALDISSER, P.A.M.R.; BRONDANI, C.; VIANELLO, R.P. Physiological characterization of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under abiotic stresses for breeding purposes. **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, p.31149–31164, 2018. DOI: 10.1007/s11356-018-3012-0.

LEIVAS, J.F.; ANDRADE, R.G.; VICTORIA, D. DE C.; TORRESAN, F.E.; VICENTE, L.E. AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO PADRONIZADO NO MONITORAMENTO INDICATIVO DE ESTIAGENS EM PERÍODOS CRÍTICOS DA SOJA NO SUL DO BRASIL. p.11, 2014.

MBOW, C.; FENSHOLT, R.; RASMUSSEN, K.; DIOP, D. Can vegetation productivity be derived from greenness in a semi-arid environment? Evidence from ground-based measurements. **Journal of Arid Environments**, v.97, p.56–65, 2013. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2013.05.011.

MILAN, M.; FERNANDES, R.A.T. Qualidade das operações de preparo de solo por controle estatístico de processo. **Scientia Agricola**, v.59, p.261–266, 2002. DOI: 10.1590/S0103-90162002000200009.

MONDO, V.H.V.; JUNIOR, F.G.G.; FERREIRA, T.L.; MARCHI, J.L. DE; CICERO, S.M. VARIABILIDADE ESPACIAL DA QUALIDADE DAS SEMENTES EM UMA ÁREA DE PRODUÇÃO DE SOJA. Em: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO2008, **Anais**. 2008.

ORMOND, A.T.S.; KAZAMA, E.H.; GÍRIO, L.A.D.S.; CARNEIRO, F.M.; VOLTARELLI, M.A.; FURLANI, C.E.A. A controlled process of corn sowing as a function of of seed dispensation and working speeds. **Australian Journal of Crop Science**, p.1914–1919, 2019. DOI: 10.21475/ajcs.19.13.12.p1125.

POVH, F.P.; MOLIN, J.P.; GIMENEZ, L.M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R.; SALVI, J.V. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1075–1083, 2008. DOI: 10.1590/S0100-204X2008000800018.

ROBERTS, T. Phosphorus use efficiency and management in agriculture. **Resources Conservation and Recycling**, 2015. DOI: 10.1016/J.RESCONREC.2015.09.013.

SHIRATSUCHI, L.S.; MARINA F. VILELA; RICHARD B. FERGUSON; JOHN F. SHANAHAN; VIACHESLAV I. ADAMCHUK; ÁLVARO VILELA RESENDE; SANDRO C. HURTADO; EDEMAR J. CORAZZA. Desenvolvimento de um algoritmo baseado em sensores ativos de dossel para recomendação da adubação nitrogenada em taxas variáveis. Em: **Agricultura de precisão resultados de um novo olhar**. [s.l: s.n.]. v.1p.184–188. .

SUN, C.; BIAN, Y.; ZHOU, T.; PAN, J. Using of Multi-Source and Multi-Temporal Remote Sensing Data Improves Crop-Type Mapping in the Subtropical Agriculture Region. **Sensors**, v.19, p.2401, 2019. DOI: 10.3390/s19102401.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M.F. INTRODUÇÃO À AGRICULTURA DE PRECISÃO: CONCEITOS E VANTAGENS. **Ciência Rural**, v.32, p.159–163, 2002. DOI: 10.1590/S0103-84782002000100027.

YAO, R.-J.; YANG, J.-S.; ZHANG, T.-J.; GAO, P.; WANG, X.-P.; HONG, L.-Z.; WANG, M.-W. Determination of site-specific management zones using soil physico-chemical properties and crop yields in coastal reclaimed farmland. **Geoderma**, v.232–234, p.381–393, 2014. DOI: 10.1016/j.geoderma.2014.06.006.