

VARIABILIDADE ESPACIAL DE NDVI E EVI NO ESTÁGIO VEGETATIVO DA SOJA

SPACE VARIABILITY OF NDVI AND EVI IN THE SOYBEAN VEGETATIVE STAGE

Daniely Vaz Rodrigues da Silva

Eng. Agrônoma, Mestranda em Agricultura de Precisão
Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria - RS, Brasil
danyvaz25@gmail.com

Elódio Sebem

Professor, Eng. Florestal, Doutor em Fotogrametria, Teledetección e Ingeniería Gráfica pela
Universidad Politécnica de Madrid - Espanha
Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria - RS, Brasil
elodiosebem@politecnico.ufsm.br

Letícia Daiane Pedrali

Eng. Florestal, Mestre em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria
Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria - RS, Brasil
lepedrali@yahoo.com.br

Marcos Augusto Gomes dos Santos

Tecnólogo em Geoprocessamento pelo Colégio Politécnico da UFSM
Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria - RS, Brasil
marcosgeoufsm@gmail.com

* **Recebido em: 29/09/2017**

* **Aceito em: 16/01/2018**

Fast Track do II Simpósio do Agronegócio (SIMPAGRO) da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Campus Dom Pedrito/RS.

RESUMO

Diante da necessidade de obtenção de elevados rendimentos e redução de custos, o agronegócio brasileiro utiliza-se da adoção de novas tecnologias, novas formas de gestão da propriedade, como a agricultura de precisão, que é uma forma de gestão de todo o processo agrícola, visando a produtividade, redução dos gastos e diminuição dos impactos ambientais. O presente trabalho tem por objetivo analisar a variabilidade espacial do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) e do índice de vegetação realçado (EVI) que apresentam informações a respeito da quantidade de biomassa, desenvolvimento da vegetação e dos parâmetros de crescimento, para o cultivo de soja (*Glycine max*), na safra 2016/2017. O trabalho foi realizado no município de Santa Maria, RS, na área experimental do Colégio

Politécnico da UFSM, em uma área de 14,98 ha. Para a mensuração da reflectância, foi utilizado um espectrorradiômetro, modelo FieldSpec® HandHeld 2TM ASD Inc°. Após a mensuração da reflectância da cultura, foram calculados os índices de vegetação NDVI e EVI. Os resultados obtidos dos índices foram submetidos à análise estatística descritiva e geoestatística.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão; Índices de Vegetação; NDVI; EVI.

ABSTRACT

In view of the need to obtain high yields and reduce costs, Brazilian agribusiness is using new technologies, new forms of property management, such as precision farming, which is a way of managing the entire agricultural process, aiming at productivity, reducing expenses and reducing environmental impacts. The present work aims to analyze the spatial variability of the vegetation index of the normalized difference (NDVI) and the enhanced vegetation index (EVI), which present information about the amount of biomass, vegetation development and growth parameters, for the soybean cultivation (*Glycine max*) in the 2016/2017 harvest. The work was carried out in the municipality of Santa Maria, RS, in the experimental area of the Polytechnic College of UFSM, in an area of 14.98 ha. A spectroradiometer, FieldSpec® HandHeld 2TM ASD Inc ° model, was used to measure the reflectance. After the crop reflectance was measured, NDVI and EVI vegetation indices were calculated. The results obtained from the indices were submitted to descriptive and geostatistical statistical analysis.

Keywords: Precision Agriculture; Vegetation Indexes; NDVI; EVI.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil está passando por um cenário de crise, onde a economia brasileira mostra-se fortemente amparada pelo agronegócio do país. Por isso, existe a necessidade de cada vez mais encontrar-se técnicas que propiciam melhorias no processo produtivo. Assim, na agricultura, segundo Fiorin e Amado (2016), a obtenção de elevados rendimentos é uma necessidade em função dos altos custos de produção e a crescente competitividade. Aliado a isso, existe também a necessidade no aumento de alimentos em âmbito mundial, pois segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2013) o contingente populacional do planeta atingirá a marca de 9,6 bilhões de habitantes em 2050, ou seja, um acréscimo de aproximadamente 2,1 bilhões de habitantes, sendo a taxa de crescimento de 0,33% ao ano.

Para isso, visando aumentar a produção de alimentos, a utilização dos índices de vegetação (IVs) pode auxiliar nesse objetivo, pois podemos acompanhar o desenvolvimento das culturas agrícolas e assim realizar aplicações de fertilizantes a taxa variada ou outro insumo necessário ao aumento da produção daquela lavoura, realizando a correção desses nutrientes no solo, de forma localizada. Para Jackson e Huete (1991), os índices de vegetação foram criados para ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre, com o intuito de avaliar os recursos naturais e monitorar a cobertura vegetal. Geralmente são obtidos a partir da combinação de duas ou mais bandas espectrais e espera-se que essa combinação forneça informações estáveis sobre a superfície em comparação com as medidas de reflectância. Esses índices podem ser obtidos tanto de dados coletados por satélites como por equipamentos próximos ao alvo de interesse, a exemplo dos espectrorradiômetros.

Portanto, cada planta contém a sua assinatura espectral, variando de acordo com suas características próprias. E elas mostram-se saudáveis quando absorvem grandes quantidades

de energia eletromagnética na região do visível (0,4 a 0,7 μm) e refletem grande energia na região do Infravermelho Próximo (NIR) (0,7 a 1,1 μm). Por isso, o forte contraste de absorção e dispersão das bandas vermelha (0,6 a 0,7 μm) e infravermelha próxima pode ser combinado em diferentes índices quantitativos de condições da vegetação, também chamados de índices de vegetação (PANDA et al., 2010). A análise da vegetação e a detecção de mudanças nos padrões de vegetação por meio dos índices de vegetação são importantes para a gestão e monitoramento de recursos naturais, como exemplo a análise de vigor das culturas e o estresse hídrico destas.

A importância em se analisar esses índices de vegetação em lavouras é propiciarem a capacidade de avaliar a quantidade e condições de sanidade das plantas de forma rápida e precisa, onde se consiga intervir a tempo no caso de stress da cultura.

O presente trabalho tem por objetivo analisar a variabilidade espacial do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Realçado (EVI) que apresentam informações a respeito da quantidade de biomassa, do desenvolvimento da vegetação e dos parâmetros de crescimento, para o cultivo de soja na safra 2017.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O crescimento populacional vem se tornando cada vez mais constante no Brasil e no mundo, assim percebe-se a necessidade no aumento da quantidade de alimentos produzidos e, conseqüentemente, o desenvolvimento tecnológico da agricultura e da pecuária no país, visto que o Brasil é o quinto país mais populoso do planeta (FREITAS, 2016). Sendo assim, o agronegócio brasileiro utiliza-se da adoção de novas tecnologias e novas formas de gestão da propriedade.

O cultivo da soja vem mostrando-se como uma das atividades economicamente importantes no meio rural, estando presente em grande parte das indústrias alimentícias, na qual é usada como matéria-prima. Dada a importância econômica e social da cultura e a alta variabilidade dos seus rendimentos, é relevante o desenvolvimento de estudos que possibilitem o monitoramento das condições de desenvolvimento das plantas (ALMEIDA et al., 2005).

A agricultura de precisão leva em consideração a variabilidade existente nas lavouras (MOLIN et al., 2015). Assim, apresenta-se como uma ferramenta que visa o gerenciamento mais detalhado do sistema de produção agrícola como um todo, não somente das aplicações de insumos ou de mapeamentos diversos, mas de todo os processos envolvidos na produção (EMBRAPA, 2014).

O Sensoriamento Remoto pode ser entendido como um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com os mesmos (MORAES, 2002). Para isso, o conhecimento do comportamento espectral dos objetos da superfície terrestre e dos fatores que interferem neste comportamento, é fundamental para a extração de informações (NOVO, 2010) sendo realizada, por meio da análise de curvas de resposta espectral.

O comportamento espectral da vegetação varia em função da sua composição química, morfologia e estrutura interna da folha. Os principais mecanismos que influenciam a quantidade de energia eletromagnética refletida pelas folhas são os pigmentos, quantidade de água e estrutura celular. Na faixa do vermelho há uma maior absorção caso haja a presença de antocianina e β -caroteno. No infravermelho próximo, o comportamento da radiação eletromagnética quanto à reflexão, transmissão e absorção é dominado pelas propriedades ópticas da folha, que dependem das estruturas celulares internas (OLIVEIRA, 2015).

Para Wiegand et al. (1991) a alta absorção da radiação incidente do espectro

eletromagnético na parte visível do vermelho (0,6 a 0,7 μm) e a forte reflectância na porção do infravermelho próximo (0,75 a 1,35 μm), contêm uma forte variação da resposta espectral para a vegetação, então essas faixas do espectro eletromagnético são as mais utilizadas para obtenção dos índices de vegetação. Ressalta-se esse comportamento como padrão da resposta espectral da vegetação saudável.

Os índices de vegetação têm sido extensamente utilizados como sensíveis indicadores da presença e condição de vegetação (ALMEIDA et al. 2005). Eles se constituem em modelos matemáticos, com base na análise espectral das ondas eletromagnéticas (MARCUSI et al., 2010). Para Sebem (2006), os índices de vegetação podem ser usados para medir ou detectar várias características da cobertura vegetal, incluindo análise de distribuição espacial, detecção de seca, resposta de vegetação após precipitação, biomassa e conseqüentemente o rendimento das colheitas. Existem índices de vegetação que são associados a medidas de biomassa, como o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e EVI (Índice de Vegetação Realçado).

A exemplo, o (NDVI), Simões et al., (2003) comentam que vários estudos mostraram a sua alta correlação com parâmetros associados ao desenvolvimento e produtividade das plantas. Tais como densidade de vegetação e cobertura segundo (ORMSBY et al., 1987), biomassa foliar verde (TUCKER, 1979), índice de área foliar (WIEGAND et al., 1991), e estado das culturas (WIEGAND et al., 1992). Tendo sido utilizado com maior frequência nos últimos anos para o acompanhamento de safras agrícolas (CRUSIOL et al., 2013).

O índice de diferença normalizada da vegetação (NDVI) constitui-se num dos índices mais utilizados atualmente, sendo expresso pelo intervalo de valores entre -1 a +1, obtido pela normalização da razão simples, sendo que, o menor valor corresponde a nenhuma vegetação, enquanto o maior valor representa cobertura vegetal densa e são (SEBEM, 2006). Já o EVI, foi desenvolvido para otimizar a resposta da vegetação verde, melhorando a sensibilidade para as variações estruturais e arquitetônicas do dossel das plantas, com maior densidade de biomassa em relação ao NDVI e reduzindo as influências atmosféricas e influências do solo (HUETE et al., 2002).

Para a espacialização da variável de interesse podemos utilizar a geoestatística, que trata do estudo das variáveis regionalizadas (YAMAMOTO; LANDIN, 2013) e parte do princípio que a diferença de valor entre duas observações é função da distância e da direção em que ocorre este afastamento entre os pontos de medida (ANDRIOTTI, 2002). E o estudo da distribuição espacial e sua variabilidade, bem como a determinação das incertezas associadas a elas são relacionados à caracterização espacial de uma determinada variável de interesse, definindo assim o objetivo principal da geoestatística (YAMAMOTO; LANDIN, 2013).

O semivariograma experimental ou amostral, a partir dos dados de campo, pode ser calculado a partir da metade da diferença média quadrática entre pares de dados que pertencem a certa classe de distância (*lag*), que compõe a distância máxima de análise, dado pela equação (1) (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989; VIEIRA, 1998; SOARES, 2006; YAMAMOTO; LANDIM, 2013):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n_{(h)}} \sum_{i=1}^{n_{(h)}} [Z_{(x_i)} - Z_{(x_i+h)}]^2 \quad (1)$$

Onde, $\gamma(h)$ = semivariância estimada; $n_{(h)}$ = número de pares de valores medidos para a distância h ; $Z_{(x_i)}$ = valor da variável no ponto x_i ; $Z_{(x_i+h)}$ = valor da variável no ponto x_i mais uma distância h .

O semivariograma é composto por: efeito pepita (C_0), que corresponde ao erro amostral e as microestruturas não captadas pela escala de amostragem; alcance (a), distância em que as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente (zona de influência da amostra), onde a partir do alcance os dados não são correlacionados; contribuição (C_1), variância espacialmente estruturada, dada pelo incremento de variabilidade, obtida no pareamento de dados (diferenças), mediante o aumento da distância; e patamar ($C_0 + C_1$), valor determinado a partir do alcance, onde não há acréscimo de variabilidade com o aumento da distância, caracterizando as regiões de comportamento aleatório da amostra, sendo o valor de patamar próximo ao da variância da amostra dada pela estatística clássica (VIEIRA, 1998; CAMARGO, 2001; ANDRIOTTI, 2003; LANDIM, 2003; SOARES, 2006; YAMAMOTO; LANDIM, 2013). Os modelos teóricos mais utilizados são aqueles que apresentam patamar e conforme Landim (2006) são Esférico, Exponencial e Gaussiano.

Quando o ajuste variográfico não é satisfatório opta-se por processos não estocásticos de interpolação como pode ser por meio do inverso do quadrado da distância, conforme equação (2) (MELLO et al., 2003).

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} X_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} \right)} \quad (2)$$

Onde: X_p = variável interpolada; X_i = valor da variável da i ésima localidade vizinha; d_i = distância euclidiana entre o i -ésimo ponto de vizinhança e o ponto amostrado.

3. METODOLOGIA

O trabalho foi realizado em Santa Maria, Rio Grande do Sul na área experimental do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria. A cultura estudada foi a soja (*Glycine max*), onde a área total plantada foi de 14,98 ha. Foi estabelecida uma malha amostral composta por 32 pontos georreferenciados, esses pontos serviram como referência para mensuração da reflectância da cultura da soja durante o crescimento vegetativo, para isso, foi utilizado um espectrorradiômetro, modelo FieldSpec® HandHeld 2TM ASD Inc. que atua no intervalo de comprimentos de onda entre 0,325 e 1,075 μm , com a resolução espectral de 0,001 μm , composto de uma fibra óptica com campo de visão de 25°. Após a mensuração da reflectância da cultura, foram calculados os índices de vegetação NDVI e EVI.

O NDVI, desenvolvido por Rouse et al. (1974), foi calculado através da equação 3,

$$NDVI = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED} \right) \quad (3)$$

O EVI desenvolvido por Huete et al. (2002), foi calculado pela equação 4,

$$EVI = G \frac{NIR - RED}{NIR + C1 * RED - C2 * BLUE + L} \quad (4)$$

Onde, NIR = *Near InfraRed Band* (Banda do Infravermelho Próximo), RED = *Red Band* (Banda do Vermelho), BLUE = *Blue Band* (Banda do Azul), G = fator de ganho ajustado em 2,5, L = fator de ajuste para os solos (0,5), C1 e C2 = coeficientes que descrevem o uso da banda azul para correção da banda vermelha quanto ao espalhamento atmosférico por aerossóis (C1 = 6 e C2 = 7,5).

Os resultados obtidos dos índices foram submetidos à análise estatística descritiva, calculando-se a média, mediana, valor mínimo, valor máximo, desvio padrão e coeficiente de variação, a fim de caracterizar a distribuição dos dados, utilizando-se o software MS Excel 2010®. A dependência espacial foi avaliada pelos ajustes de variogramas, pressupondo a estacionariedade da hipótese intrínseca. A análise geoestatística e a confecção dos mapas foram realizadas utilizando o software GS+ (*Geostatistics for the Environmental Sciences*), versão 10.

4. RESULTADOS

A estatística descritiva (Tabela 1), pode-se observar que os números de mínimo e de máximo variaram mais no estágio de desenvolvimento V4 (terceira folha trifoliolada completamente desenvolvida) e VN (ante-enésima folha trifoliolada completamente desenvolvida) comparados entre os índices NDVI e EVI. O índice EVI apresentou-se com valores de máximo maiores que o NDVI, nos dois estágios de desenvolvimento, isso porque o EVI é um NDVI modificado. O seu algoritmo tem melhorado a sensibilidade para regiões de alta biomassa, permitindo um melhor desempenho do monitoramento da vegetação por meio da diminuição da influência do sinal proveniente do substrato abaixo do dossel, e através da redução da influência atmosférica (JENSEN, 2009). Ambos os índices possuem comportamentos semelhantes, no entanto estudos anteriores têm demonstrado que o EVI é mais sensível à estrutura da vegetação, isto é, mais sensível às variações espectrais na banda do NIR (BREUNIG et al., 2011). Nas pesquisas de Huete et al. (2002), é relatado que o índice EVI é mais sensível que o NDVI para o incremento de biomassa. Tornando-se assim um bom referenciador de vigor vegetativo para áreas de alta biomassa, ressaltando-se em comparação ao NDVI.

Quanto a média os valores dos índices EVI e NDVI, mostraram-se maiores para o estágio vegetativo VN possivelmente devido à maior quantidade de biomassa existente nesse período de desenvolvimento das plantas. Para o NDVI no estágio V4 foi encontrado o valor médio de 0,877 e para o estágio VN 0,907, valores semelhantes aos encontrados por Crusiol, et al. (2013), que avaliou o comportamento do NDVI ao longo de todo ciclo da soja, o mesmo trabalho também indicou o aumento do NDVI ao longo do ciclo, demonstrando claramente o comportamento do índice, que quanto mais próximo de 1, mais densa é a vegetação. Esse índice é sensível à presença da vegetação sadia, pois, usualmente, essa diminui a resposta no vermelho, devido à absorção por clorofila, e aumenta no infravermelho próximo, devido ao espalhamento pelos tecidos da folha (ALMEIDA, 1998).

Tabela 1: Análise descritiva dos dados NDVI e EVI da soja em V4 e VN.

ED	IV	MÉDIA	MEDIANA	DP	MÍN.	MÁX.	CV (%)
V4	NDVI	0,877	0,900	0,066	0,596	0,932	7,593
	EVI	1,096	1,121	0,155	0,627	1,389	14,128
VN	NDVI	0,907	0,911	0,039	0,743	0,948	4,306
	EVI	1,139	1,125	0,108	0,924	1,421	9,484

Legenda: ED = Estágio de Desenvolvimento; IV = índice de vegetação; DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação em Porcentagem; V4 = terceira folha trifoliolada completamente desenvolvida; VN = ante-enésima folha trifoliolada completamente desenvolvida; NDVI = Índice de Vegetação de Diferença Normalizada; EVI = Índice de Vegetação Realçado.

Fonte: autores.

Já para a geoestatística, foram testados os modelos gaussiano, esférico e exponencial. Foi ajustado o modelo esférico que apresentou o menor resíduo, cujos parâmetros efeito pepita (C0), patamar (C0 + C), alcance (A) e dependência espacial (DE) mostram-se na Tabela 2.

Tabela 2: Análise Geoestatística dos dados.

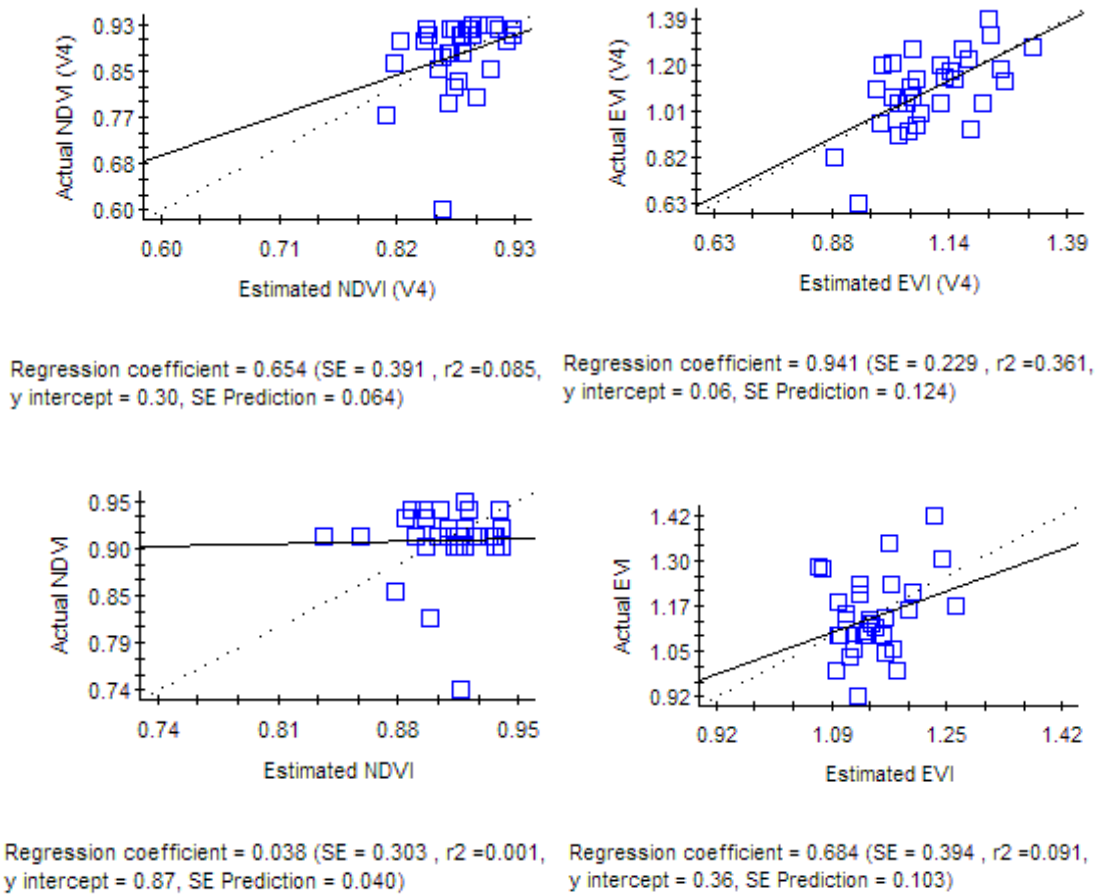
ED	ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	MODELO	C0	C0+C	A (m)	DE (C/CO+C)
V4	NDVI	Esférico	0.001700	0.006180	159.8	0.725
	EVI	Esférico	0.000010	0.031420	178.4	1.000
VN	NDVI	Esférico	0.000001	0.001822	183.1	0.999
	EVI	Esférico	0.002900	0.014700	152.7	0.803

Legenda: ED = Estágio de Desenvolvimento; C0 = Efeito Pepita; C0+C = Patamar; A = Alcance; DE = Dependência Espacial; V4 = terceira folha trifoliolada completamente desenvolvida; NDVI = Índice de Vegetação de Diferença Normalizada; EVI = Índice de Vegetação Realçado; VN = ante-enésima folha trifoliolada completamente desenvolvida

Fonte: autores.

Na Figura 1, são apresentados os gráficos da validação cruzada. A validação cruzada tem por objetivo, calcular os erros de estimação e avaliar a qualidade do método de estimação. Sendo que, quanto mais a média dos erros reduzidos (SE) aproximar-se de 0 (zero) e a variância de tais erros (R²) aproximar-se de 1, melhor será a qualidade das estimativas obtidas (Souza, 1992).

Figura 1: Gráficos da validação cruzada.

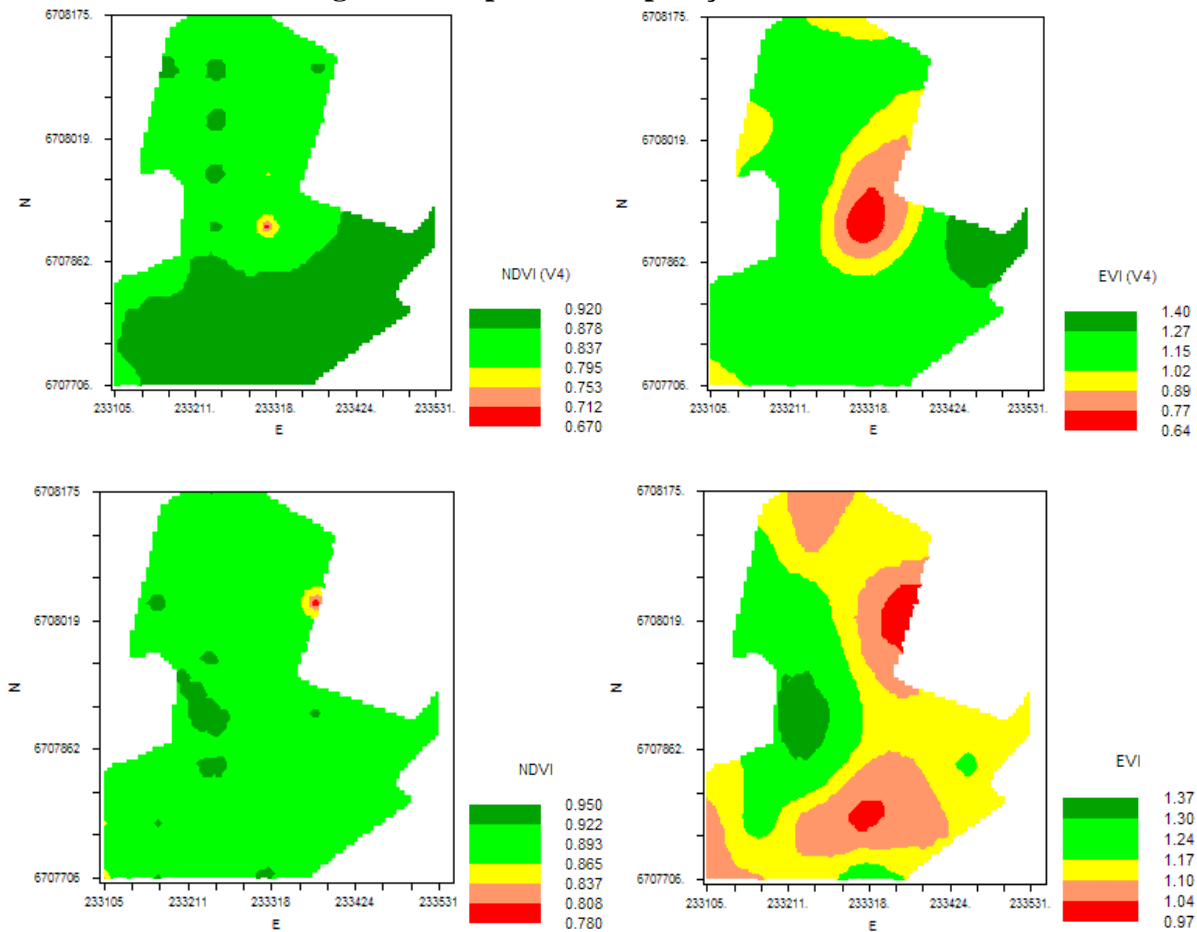


Fonte: autores.

Observa-se que os gráficos com valores do índice de vegetação NDVI mostram-se com ajuste variográfico ruim, onde os valores de R^2 estão próximos de 0. Apresentando-se sem dependência espacial, assim utilizou-se o método de inverso do quadrado da distância para a interpolação espacial. Já para o índice EVI, com melhor ajuste variográfico e assim apresentando melhor dependência espacial, observamos uma reta de regressão da validação cruzada próxima da bissetriz e com pequena dispersão dos pontos em torno desta reta (ANDRIOTTI, 2002). Desta forma, realizou-se a interpolação por Krigagem Ordinária Pontual (KOP) para o índice de vegetação EVI.

Na Figura 2, apresentam-se a interpolação dos mapas realizados com o método do inverso do quadrado da distância para NDVI do estágio vegetativo V4 e VN e KOP para EVI dos estágios V4 e VN.

Figura 2: Mapas de interpolação do V4 e VN.



Fonte: dados da pesquisa.

Pode-se observar que a utilização da Krigagem para o EVI produziu um mapa com melhor distribuição espacial das diferenças existentes dentro da área de estudos. O ajuste variográfico fraco do NDVI nos dois estádios de desenvolvimento fenológico e a consequente interpolação pelo inverso do quadrado da distância produziu um mapa com poucas diferenças espaciais, devido principalmente à saturação deste índice para vegetações com alto vigor vegetativo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos da variabilidade espacial dos índices de vegetação não apresentaram dependência espacial dos valores de NDVI nos dois estágios fenológicos. Porém, o índice de vegetação EVI apresentou-se com um bom ajuste variográfico e dependência espacial, assim sendo, verificado nos gráficos da validação cruzada e na Tabela da análise estatística dos dados, mostrando-se adequado para a sua utilização.

Quando a lavoura atingiu seu ápice de desenvolvimento vegetativo, no estágio VN, o índice NDVI saturou mostrando em seus mapas uma lavoura homogênea em biomassa. Assim, o EVI por se tratar de um índice de vegetação com maior sensibilidade para locais de alta biomassa obteve-se ainda diferenças visuais em seu dossel vegetativo. Por isso, a utilização do EVI torna-se mais indicada para essa fase, como foi apresentado nos mapas de interpolação.

O método da Krigagem utilizado para o índice de vegetação EVI pode contribuir para futuras intervenções localizadas, pois mostra a variabilidade deste índice de vegetação na área de estudos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E.S.; BATISTA, G.T. Índice de vegetação versus precipitação na Amazônia. In: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Santos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998, p. 1397-1407.

ALMEIDA, T. S. DE.; 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. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Goiânia,, 2005, p. 17-24.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. São Leopoldo: Unisinos, 2003. 165p.

BREUNIG, F.M.; GALVÃO, L.S.; FORMAGGIO, A.R. Caracterização espectral e temporal da vegetação nativa do Parque Estadual do Turvo e da Terra Indígena do Guarita – RS, com produtos MODIS. In: XV Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto. **Anais...** Curitiba: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011, p.1765-1772.

CRUSIOL, L. G. T.; NEIVERTH, W.; RIO, A.; SIBALDELLI, R. N. R.; FERREIRA, L. C.; CARVALHO, J. F. C.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B. NDVI de estádios de desenvolvimento da soja BRS 284 em condições de campo. In: III Jornada Acadêmica da Embrapa Soja. **Anais...** Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2013. p.87-91.

EMBRAPA. **Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar**. Alberto Carlos de Campos Bernardi, [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2014. 596 p. 19-20p.

FREITAS, E. **População Brasileira: Brasil Escola**. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/brasil/a-populacao-brasileira.htm>>. Acesso em: 21 de julho de 2016.

HUETE, A.R., 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, v.1-2, p.195-213, 2002.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, M. **An Introduction to Applied Geostatistics**. New York: Oxford University Press: 600 p. 1989.

JACKSON, R. D. e HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, 1991 11, 185-200 p.

JENSEN, JOHN R., 1949- **Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. John R. Jensen; tradução José Carlos Neves Epiphânio (coordenador)...(et al.) São Jose dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 357-410 p.

LANDIM, P. M. B. **Análise Estatística de Dados Geológicos**. 2ª. Edição, São Paulo: Editora Unesp, 2003. 253p.

LANDIM, P. M. B. Sobre geoestatística e mapas. **Terra e Didática**, v.2, n.1, p.19-33, 2006.

MELLO, C. R., et al. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 27, p. 925-933, 2003.

MORAES, E. C. **Capítulo 1. Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMoraes.pdf>>.

Acesso em : 19 de julho de 2017.

MORENO J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Boletim geográfico do Rio Grande do Sul, 1961. <<http://revistas.fee.tche.br/index.php/boletim-geograficos/article/view/3236/3310>> Acesso em: 20 de julho de 2017.

MOLIN, J. P., AMARAL, L. R., COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. 1. Ed. São Paulo: oficina de textos, 2015. 119-130 p.

YAMAMOTO, J. K., LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos + aplicações**. São Paulo: oficina de textos, 2013. 1-55 p.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. <https://nacoesunidas.org/populacao-mundial-deve-atingir-96-bilhoes-em-2050-diz-novo-relatorio-da-onu/>. Acesso em 20 de julho de 2017.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4 ed. São Paulo: Blucher, 2010. 240-243 p.

OLIVEIRA, G. S. Produtividade de biomassa de cana-de-açúcar em função dos índices de vegetação utilizando técnicas de sensoriamento remoto. **Dissertação (Mestrado em Agronomia, ciência do solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal**

ORMSBY, J. P., CHOUDHURY, B.J., OWE, M. Vegetation spatial variability and its effects on vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. 9, p. 1301-1306, 1987.

PANDA, S. S., DANIEL P. A., SURANJAN P. Application of Vegetation Indices for Agricultural Crop Yield Prediction Using Neural Network Techniques. **Remote Sensing**, v.2, 673-696p, 2010.

ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J. A. e D. W. DEERING, 1974, Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In: **Third ETRS Symposium**, 1973. NASA SP 353, Proceedings, Washington DC. 309-317 p.

SEBEM E. Aportaciones de la teledetección en el desarrollo de um sistema metodológico para la evaluación de los efectos del cambio climático sobre la producción de las explotaciones agrarias. **Tese (Doutorado em Fotogrametria, Teledetección e Ingeniería Gráfica) – Universidad Politécnica de Madrid**, 2006.

SOUZA, L.S. Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo. Porto Alegre, 1992, 162p. **Tese (Doutorado - Faculdade de Agronomia/UFRGS)**, 1992.

SIMÕES M. S., ROCHA J. V., LAPARELLI R. A. C. Análise do comportamento espectral de uma área comercial de cana-de-açúcar em duas safras por meio de radiometria de campo. **Anais XI SBSR**, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE, p. 2367 - 2374.

SOARES, A. **Geoestatística para Ciências da Terra e do Ambiente**. 2 ed., Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2006, 214p.

TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em Estudos de Variabilidade Espacial**. Campinas: IAC, 1998.

WIEGAND, C.L., EVERITT, J.H., RICHARDSON, A.J. Comparison of multispectral video and SPOT-HRV observations for cotton affected by soil salinity. **International Journal of Remote Sensing**, v. 13, n. 8, p. 1511-1525, 1992.

WIEGAND, C.L., RICHARDSON, A.J., ESCOBAR, D.E., GERBERMANN, A.H. Vegetation indices in crop assessments. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, p. 105-119, 1991.