

## **Análise de perfis espectro temporais de NDVI e EVI no ciclo fenológico da cultura de soja e sua aplicação em sojicultura de precisão**

Filipe Silveira Trindade<sup>1</sup>  
Marcelo de Carvalho Alves<sup>1</sup>  
Rafael Noetzold<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Lavras - UFLA  
Caixa Postal 3037 - 37200-000 - Lavras - MG, Brasil  
filipe.strindade@posgrad.ufla.br; marcelo.alves@deg.ufla.br

<sup>2</sup> Universidade do Estado de Mato Grosso  
Av. das Arapongas, 1384N - 78450-000 - Nova Mutum - MT, Brasil  
rafael\_noetzold@hotmail.com

**Abstract.** The use and analysis of remote sensing products, such as vegetation indices (NDVI, EVI), assist in crop yields forecast and could help to match soil fertility status and culture needs, avoiding unnecessary expenses. Remote sensing could revolutionize conventional agriculture by facilitating the management of soybean. This study aimed to evaluate the relationship between NDVI and EVI indices obtained from MODIS with soybean phenological cycle using a profile temporal spectrum, relating the spectral response with soil and plants attributes in four commercial plots in Campo Verde, MT. We used products from MODIS, MOD13Q1 and MYD13Q1 sensors. These sensors present NDVI and EVI indices as image compositions with spatial resolution of 250 meters, and the *Pixel Reliability* tool, that indicates how reliable each pixel is. We correlated the extracted NDVI and EVI indices with measured field data through Pearson correlation. EVI showed higher correlations and greater sensitivity to soybean phenological cycle than NDVI in a time spectrum profile. The phenological stage R5 (grain filling) had high negative correlation with soil phosphorus (P) and high positive correlation with clay content in the four plots. Clay content also correlated with productivity in some plots. It was observed that EVI R5 phase was better correlated with final soybean yield.

**Palavras-chave:** sojicultura de precisão, sensoriamento remoto, índices de vegetação, MODIS, precision soybean production, remote sensing, vegetation index, MODIS.

### **1. Introdução**

Hoje a soja é um dos principais produtos de exportação do Brasil e propicia grande retorno econômico para o país. O Mato Grosso (MT) é o estado que mais produz tal grão e é responsável por exportar grande parte da sua produção para diversos países do mundo. Apesar do MT estar localizado em um bioma de baixa fertilidade natural, o cerrado, seu relevo e condições climáticas são favoráveis para o cultivo da soja.

Para suprir a baixa fertilidade dos solos do Cerrado, a utilização de técnicas de manejo do solo e uso de tecnologias foram essenciais para tornar essa região a maior produtora de soja do Brasil.

O teor da matéria orgânica (MO) também deve ser considerado em práticas de manejo, pois com o aumento da MO, ocorre maior reciclagem e eficiência do fósforo (P), além de promover o aumento da fertilidade. O teor de argila influencia também diretamente na capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos, favorecendo a graduação da capacidade de liberação de vários nutrientes, a manutenção da fertilidade por um prolongado período e reduzindo ou evitando a ocorrência de efeitos tóxicos da aplicação de fertilizantes (RONQUIM, 2010).

Para se ter o conhecimento dos pontos exatos do talhão onde podemos otimizar a cultura, de forma precisa, sabendo onde melhorar a produtividade da lavoura, o uso das ferramentas de sensoriamento remoto é viável para propor tomadas de decisões antes e durante do manejo da cultura da soja, principalmente na área da agricultura de precisão, na aplicação de insumos, combate a pragas, e estimativa de produtividade.

A estimativa de produtividade de soja por meio de sensoriamento remoto sugere uma ferramenta potencial para agricultura de precisão, qualificando e quantificando o potencial produtivo da lavoura, propondo classificar áreas de acordo com o desenvolvimento do cultivo e assim realizar os tratos culturais adequados para cada situação mapeada (FERNANDES, VEIVERBERG, SEBEM, 2009).

Caracterizar temporalmente uma cultura traz para o pesquisador diferentes informações importantes sobre a mesma. Os avanços da caracterização temporal da vegetação foram impulsionados pelo sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), devido à conjugação da alta resolução temporal e moderada resolução espacial (HUETE et al., 2002).

A análise dos dados de produtividade com dados físicos e químicos do solo obtidos *in situ* com o comportamento espectral de resposta dos pixels das imagens multiespectrais de satélite, podem indicar correlações positivas ou negativas importantes para determinar e estimar a produtividade.

Índices de vegetação buscam combinar sob a forma de razões, informações contidas na radiância refletida pelos dosséis da vegetação. Os parâmetros biofísicos da vegetação, como os estágios fenológicos de cultivos, mostram-se relacionados com suas variações espectrais e podem ser obtidos através de índices de vegetação de sensores orbitais. Dentre os principais índices, se destacam o NDVI e o EVI (HUETE et al, 2002). Os índices de vegetação vêm sendo utilizados para a detecção das variações sazonais da vegetação.

De maneira geral, o NDVI é mais sensível à presença de clorofila e outros pigmentos responsáveis pela absorção da radiação solar na banda do vermelho, enquanto que o EVI é mais sensível à variação da estrutura do dossel, incluindo o Índice de Área Foliar (IAF), a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel (GAO et al., 2000; HUETE et al., 2002).

Partindo da hipótese que a utilização e análise de produtos do sensoriamento remoto, como os índices de vegetação (NDVI e EVI), auxilia na previsão da produtividade da lavoura e pode evitar gastos desnecessários do produtor em sua cultura no que diz respeito a correção dos nutrientes do solo, esse trabalho teve o objetivo de avaliar a correlação entre os índices NDVI e EVI extraídos do sensor MODIS com o ciclo fenológico da soja a partir de um perfil espectro temporal, relacionando sua resposta espectral com a produtividade e os atributos físicos e químicos do solo em diferentes talhões comerciais de soja.

## 2. Metodologia de Trabalho

Foram utilizados dados de atributos do solo e de plantas de soja referente a quatro áreas comerciais de produção de grãos de soja, nomeadas de talhão 1, 2, 3 e 4, com áreas de 93,13 ha, 157,33 ha, 152,46 ha e 107,42 ha respectivamente. Os talhões se situam no município de Campo Verde, na região sul de Mato Grosso (MT), com clima tropical quente e sub-úmido (Aw), segundo o sistema de classificação de Koppen.

A escolha de um índice é de suma importância para melhor identificação do fenômeno, como o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e o *Enhanced Vegetation Index* (EVI), utilizados neste trabalho (Equação 1 e 2).

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad (1)$$

$$EVI = G * \frac{(IVP - V)}{(IVP + c1 * V - c2 * A + L)} \quad (2)$$

em que, IVP é a reflectância no infravermelho próximo; V é a reflectância no vermelho; A é a reflectância no azul; c1 é o coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do vermelho (6); c2 é o coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do azul (7,5); L é o fator de correção para a interferência do solo (1); G = fator de ganho (2,5).

O levantamento dos dados em campo foi realizado de agosto de 2012 a fevereiro de 2013, compreendendo a safra 2012/2013. O solo da região pertence a classe dos Latossolos. O relevo dessas áreas apresenta declividade plana a suave ondulada (IBGE, 2007).

A coleta das amostras de solo foi realizada nas entrelinhas das culturas agrícolas anteriores (milho e algodão), na profundidade de 0,0 a 0,20 m. Para isso, utilizou-se uma parafusadeira com broca de uma polegada de diâmetro, acoplada em uma moto modelo boss 150 CC, com um GPS Mio P 350 configurado em datum WGS 84 e fuso 21.

Cada ponto amostral foi representado por uma amostra composta, coletada em cinco locais, com distância de 60 a 80 m um do outro, representando uma quadrícula de aproximadamente 4 hectares, sendo coletados 22, 39, 43 e 24 pontos, respectivamente nos talhões 1, 2, 3 e 4 (Figura 1). Os pontos amostrais que estavam localizados em mesmo *pixel* foi considerado o mesmo valor para ambos os pontos.

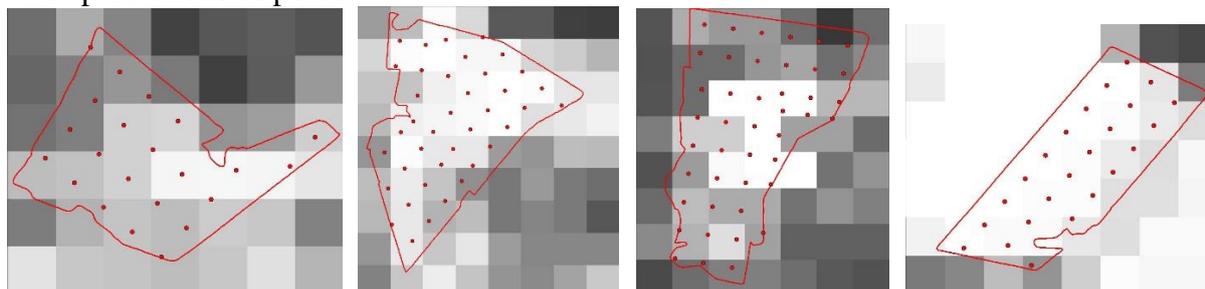


Figura 1. Talhões 1, 2, 3 e 4 respectivamente, e os pixels com valores de EVI na fase R3 (Final da Floração - 12/10/12) do ciclo da soja em ambos os talhões.

Após a coleta, as amostras de solo coletadas foram encaminhadas para laboratório agropecuário credenciado pela Embrapa, Profert e IAC para efetuar a análise textural (teor de Argila), fósforo (P), potássio (K), matéria orgânica (MO) e a capacidade de troca de cátions a pH7 (CTC). A MO ( $\text{g}/\text{dm}^3$ ), foi obtida pela extração em dicromato de sódio 4N e ácido sulfúrico 10N. A leitura do pH foi efetuada em cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ).

Foram semeados os quatro talhões em outubro de 2012 com o cultivar 7639 RR com espaçamento entre linhas de 0,45 m, de hábito de crescimento indeterminado e ciclo médio de 115 dias. Todos os talhões foram cultivados sob cultivo mínimo, sendo realizada a semeadura sob a palhada da cultura anterior.

Nesse trabalho foram utilizados produtos do sensor MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer), MOD13Q1 e MYD13Q1, “tile” h12v10, que estão a bordo dos satélites Terra e Aqua respectivamente. O MOD13Q1 e o MYD13Q1 quando usados em conjunto, apresentam particularidades quando o interesse é monitorar atividades agrícolas de 8 em 8 dias, já que cada produto apresenta uma resolução temporal de 16 dias não coincidente.

Tais produtos apresentam composições de imagens sob a forma dos índices de vegetação NDVI e EVI. O sensor MODIS possui resolução espacial de 250 x 250 m nas duas primeiras bandas (vermelho e infravermelho próximo), 500 x 500 m nas bandas 3 a 7. Estas imagens podem ser obtidas através da página do USGS (<https://www.earthexplorer.usgs.gov>), estando originalmente na projeção sinusoidal e no formato HDF (hierarchical data format).

Foram baixadas no total 16 imagens MODIS (8 MOD13Q1 e 8 MYD13Q1) para englobar os ciclos fenológicos dos quatro talhões. Em cada uma dessas imagens foram extraídos o EVI, o NDVI, e o *Pixel Reliability*. A extração destes, para cada data, foi através da ferramenta MODIS *Reprojection Tool* ([https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/tools/modis\\_reprojection\\_tool](https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/tools/modis_reprojection_tool)), sendo reprojatados pelo software para a projeção UTM-WGS-84-Fuso21 e formato GeoTiff.

Como os dados de NDVI e EVI foram coletados de 8 em 8 dias, a partir da data de 29/09/2012 até dia 18/02/2013, foi possível acompanhar detalhadamente todo o ciclo

fenológico da safra englobando os quatro talhões, sendo determinado esse ciclo de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos estádios de desenvolvimento da cultura de soja

<u>Fase Vegetativa</u>	<u>Fase Reprodutiva</u>
VC: Da emergência a cotilédones abertos.	R1: Início da floração: até 50% das plantas com flor.
V1: Primeiro nó; folhas unifolioladas abertas.	R2: Floração plena: maioria dos racemos com flores abertas.
V2: Segundo nó; primeiro trifólio aberto.	R3: Final da floração: flores e vagens com até 1,5cm
V3: Terceiro nó; segundo trifólio aberto.	R4: Maioria das vagens no terço superior com 2-4cm.
V4: Quarto nó; terceiro trifólio aberto.	R5: Fase de enchimento dos grãos
V5: Quinto nó; quarto trifólio aberto.	R6: Vagens com granação de 100% e folhas verdes.
V6: Sexto nó; quinto trifólio aberto.	R7: Início da maturação
	R8: 95% das vagens com coloração de madura.
	R9: Colheita

Fonte: Adaptado de Neumaier et al (2000)

Outro produto da MODIS usado foi o *Pixel Reliability* (Confiabilidade do pixel), tal produto aponta os valores de *pixels* não confiáveis da imagem, ou seja, os valores de reflectância que sofreram interferência de um fator externo, no caso, a grande presença de nuvens acima dos talhões. Para eliminar os pixels que sofreram interferência foi realizado um processo de máscara dos valores de interesse nas imagens em cada data através do *software* ENVI, em que foi considerado somente os pixels de valor 0 e 1 do produto *Pixel Reliability* como dados utilizáveis (Tabela 2).

Tabela 2. Descrição da Imagem *Pixel Reliability* do produto MOD13Q1 e MYD13Q1.

<u>Valor do Pixel</u>	<u>Significância</u>	<u>Descrição</u>
0	Dado Bom	Uso com Confiança
1	Dado Marginal	Utilizável, porém consultar outro QA
2	Neve	Alvo coberto por Neve/Gelo
3	Nuvem	Alvo coberto com Nuvem

Com os pontos de campo georreferenciados e as imagens tratadas e projetadas corretamente, foi utilizado o *software* QGIS para a extração dos valores de NDVI e EVI nos pixels das imagens do sensor MODIS a cada 8 dias durante a safra. Esses valores extraídos foram divididos por 10000 (dez mil) para se ajustarem aos valores conhecidos de índices de vegetação na escala de 0 a 1.

Com os dados de campo e os índices NDVI e EVI extraídos, iniciou-se o processo de confecção de gráficos para visualização do fenômeno, e assim feitas correlações dos dados através do *software* IBM SPSS Statistics v.24, usando o coeficiente de correlação de Pearson.

É importante ressaltar neste trabalho, que as datas da fase R3 e R5 não sofreram nenhuma interferência de nuvem durante a safra nos quatro talhões em estudo. Os pontos a destacar dessas fases que serão adiante tratadas apresentam confiabilidade nos valores dos índices.

### 3. Resultados e Discussão

Com bases na média de cada atributo químico do solo, apenas a CTC apresentou nível baixo no talhão 1. Os demais atributos apresentaram níveis adequados, médios e altos (Tabela 3).

Tabela 3. Média e níveis A (alto), Ad (Adequado), M (Médio), B (Baixo), dos atributos químicos do solo em cada talhão de acordo com a classificação de Alvarez et al. (1999) e Sousa e Lobato (2004).

	Talhão 1	Talhão 2	Talhão 3	Talhão 4
Atributo	Média	Média	Média	Média
P (mg/dm <sup>3</sup> )	24,145(A)	19,423(Ad)	30,293(A)	22,017(A)
K (mg/dm <sup>3</sup> )	37,591(M)	31,564(M)	29,512(M)	79,917(Ad)
MO (g/dm <sup>3</sup> )	26,673(M)	26,087(Ad)	21,558(Ad)	33,9(A)
CTC pH7(cmol/dm <sup>3</sup> )	6,691(B)	6,546(Ad)	5,702(M)	8,075(M)

A partir do produto *Pixel Reliability* do sensor MODIS, as máscaras geradas no ENVI para cada imagem, eliminou os valores de *pixels* não confiáveis nas datas referentes as fases do ciclo fenológico nos quatro talhões. Ao gerar os gráficos, as fases do ciclo foram desconsideradas nas datas que apresentaram valores não confiáveis devido a presença de nuvens. O uso do produto *Pixel Reliability* foi essencial para obter melhor detalhamento e comportamento da cultura nas fases do perfil do ciclo fenológico, tornando possível identificar o período vegetativo e reprodutivo da soja de forma mais nítida, principalmente no perfil espectro temporal do EVI (Figuras 2 e 3).

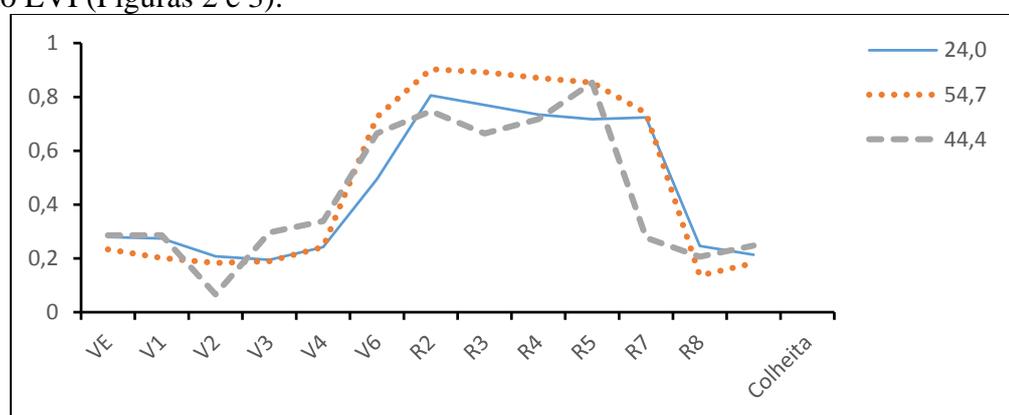


Figura 2. Perfil espectral temporal de EVI (eixo y) durante o ciclo da soja (eixo x) no talhão 1 levando em consideração três pontos de coleta com teores de argila (%) diferentes sem “pixels falhos”.

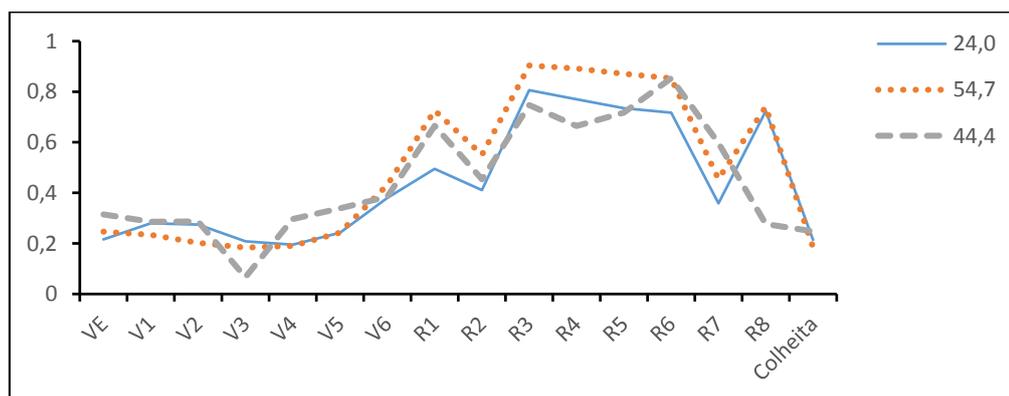


Figura 3. Perfil espectral temporal de EVI (eixo y) durante o ciclo da soja (eixo x) no talhão 1 levando em consideração três pontos de coleta com teores de argila (%) diferentes com “pixels falhos”.

Moraes e Rocha (2011) concluíram que o *Pixel Reliability* é importante para separar *pixels* bons e que usá-lo em estudos que trabalham com índices de vegetação os resultados se tornam mais confiáveis.

Analisando a figura 2 constatou-se um aumento do EVI da fase vegetativa para a fase reprodutiva da planta (V6 – R2), da fase R2 até R5 percebeu-se um valor constante pouco variável do EVI, da fase R5 para R7 a planta apresenta o processo de amarelamento da folha, que faz parte de uma mudança fisiológica natural da planta, pois os grãos já estão desenvolvidos

nas vagens. Essa queda da fitomassa verde da planta é nítida pela queda dos valores de EVI e NDVI nessa transição da fase.

Outra relação que pode ser observada nas figuras é a relação do teor de argila (%) e o valor do EVI na fase R5 (enchimento dos grãos) do ciclo da soja, a resposta desse índice é proporcional ao teor de argila em % nessa fase nos quatro talhões, quanto maior o teor de argila, maior é o valor do índice, veja o exemplo no talhão 1 (Figura 2).

O perfil espectro temporal do EVI caracterizou melhor o ciclo fenológico do que o NDVI. Maatoug et al. (2013) estudando a possibilidade de previsão de data de plantio de culturas de soja em MT, também afirma que ao se utilizar os perfis do EVI MOD13Q1, foi possível identificar de forma ainda mais clara a presença de dois ciclos vegetativos.

Por meio de produtos MODIS de índices de vegetação foi possível comparar dados temporais e espaciais das condições da cultura, monitorando sua atividade fotossintética, fazendo interpretações biofísicas e acompanhamento fenológico.

Segundo Huete et al. (1997), o EVI é uma variação do NDVI, aprimorado quanto a correções de influências atmosféricas e do solo (Equação 2). O EVI tem se mostrado adequado para o monitoramento agrícola, pois substitui, com vantagens, o NDVI, por ser menos suscetível à saturação e mais sensível à variação da estrutura, arquitetura do dossel e fisionomia da planta (Huete et al., 2002).

Outro ponto observado foi a resposta espectral total do índice na fase R3 do ciclo fenológico da soja, tal fase apresentou os maiores valores de EVI nos quatro talhões, que seria a fase que apresenta o pico de fitomassa verde durante o desenvolvimento da cultura nos talhões, já os valores totais de NDVI, variou entre a fase R3 e R4 no ciclo.

O EVI obteve tendência de valores de  $R^2$  maiores que o NDVI e maiores valores de correlação de Pearson com teor de argila, P e MO, mostrando que o uso da banda azul foi mais sensível para detectar os diferentes níveis nutricionais do que o uso da banda vermelha.

Na análise da resposta do EVI durante o ciclo fenológico, na fase R5 (enchimento dos grãos) o EVI teve alta correlação positiva com o teor de argila nos 4 talhões, e alta correlação negativa com o P (Tabela 4).

Tabela 4. Correlações positivas e negativas de Pearson, entre o teor de argila, P e MO com o índice EVI da fase R5 do ciclo fenológico da soja ( $p \leq 5\%$ ).

Atributo	Índice EVI correspondente a fase R5 do ciclo fenológico de cada talhão			
	Talhão 1	Talhão 2	Talhão 3	Talhão 4
<b>P (mg/dm<sup>3</sup>)</b>	-0,550	-0,350	-0,469	-0,371
<b>MO (g/dm<sup>3</sup>)</b>	0,578	NS	0,357	0,356
<b>Argila (%)</b>	0,641	0,438	0,594	0,618

NS - Não Significativa

Pode-se dizer que o teor de argila no solo desempenha papel fundamental para a fase de enchimento dos grãos de soja, consequentemente proporciona maior produtividade da cultura. Outra análise feita sobre a fase R5 (utilizando o EVI), foi que ela teve alta correlação negativa com o teor de fósforo (P) nos quatro talhões, ou seja, o P em excesso (Tabela 3) prejudicou a fase de enchimento dos grãos e consequentemente a produtividade final.

Risso et al (2009), também identificou que em metodologias que visem a identificação e quantificação de áreas cultivadas por meio de séries temporais, um melhor resultado pode ser obtido ao se utilizar o NDVI no período da entressafra e o EVI no período de safra da soja.

A fase R3 também teve alta correlação negativa com o teor de P nos quatro talhões e alta correlação com o teor de argila em dois dos quatro talhões (Tabela 5).

Tabela 5. Correlações positivas e negativas de Pearson, entre o teor de argila, P e MO com o índice EVI da fase R3 do ciclo fenológico da soja ( $p \leq 5\%$ ).

Atributo	Índice EVI correspondente a fase R3 do ciclo fenológico de cada talhão			
	Talhão 1	Talhão 2	Talhão 3	Talhão 4
P (mg/dm <sup>3</sup> )	-0,833	-0,326	-0,332	-0,524
MO (g/dm <sup>3</sup> )	0,726	NS	NS	NS
Argila (%)	0,811	0,397	NS	NS

NS - Não Significativa

Nos talhões 1 e 3, existiu uma correlação positiva entre a argila e a produtividade obtida em campo (Tabela 6), e uma correlação negativa entre o P e a produtividade obtida em campo.

Tabela 6. Correlações positivas e negativas de Pearson, entre o teor de P, MO, argila, o índice EVI da fase R5 e R3 do ciclo fenológico da soja com a produtividade ( $p \leq 5\%$ ).

Atributo	Produtividade final (Saca/ha)			
	Talhão 1	Talhão 2	Talhão 3	Talhão 4
P (mg/dm <sup>3</sup> )	-0,473	NS	-0,615	NS
MO (g/dm <sup>3</sup> )	0,441	NS	0,368	NS
Argila (%)	0,451	NS	0,540	NS
EVI fase R5	NS	NS	0,618	NS
EVI fase R3	0,488	NS	NS	NS

NS - Não Significativa

Como observado nas correlações acima, a fase R5, teve os melhores valores de R<sup>2</sup> com a produtividade final no talhão 3 (Figura 4A), essa fase também teve correlação com o teor de argila nesse mesmo talhão (Figura 4B).

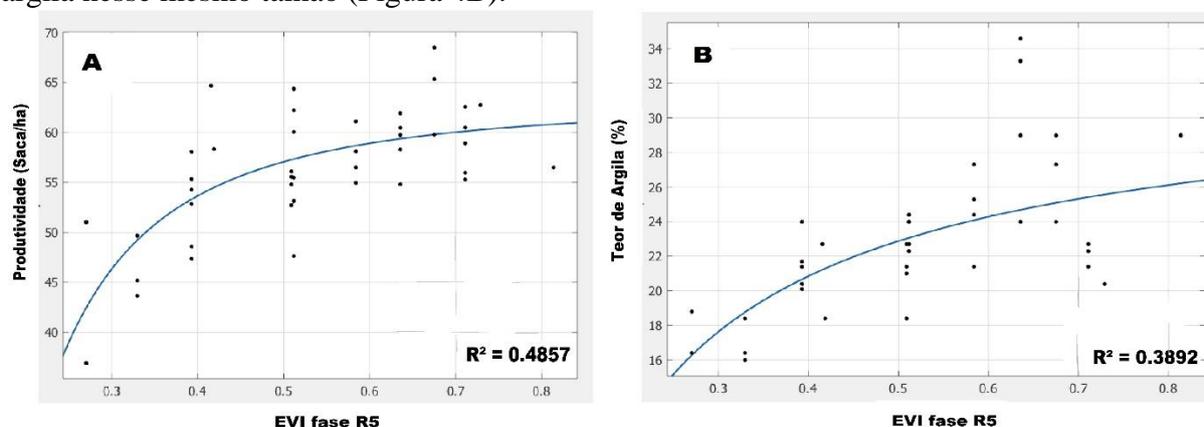


Figura 4. Relação entre as variáveis de EVI na fase R5 – 26/12/12 (eixo y) e a produtividade (eixo x) em sacas por hectare, apresentou um R<sup>2</sup> igual a 0,4857 através da equação  $f(x) = a * x^b + c$ , sendo  $a = -1,519$ ,  $b = -1,995$  e  $c = 63,12$  com 95% de confiança (A). Figura 4. Relação entre as variáveis de EVI na fase R5 – 26/12/12 (eixo y) e o teor de argila (eixo x), apresentou um R<sup>2</sup> igual a 0,3892 através da equação  $f(x) = a * x^b + c$ , sendo  $a = -5,875$ ,  $b = -0,8076$  e  $c = 33,16$  com 95% de confiança (B).

A fase R5 do ciclo fenológico da soja está a 30 dias antes da colheita, ou seja, 1 mês antes da colheita é possível estabelecer a relação entre o índice de vegetação, mais precisamente o EVI, e o nível de produção da área, através principalmente da elaboração de modelos.

É importante lembrar que fatores naturais externos, como alta pluviosidade e ataque de pragas, afetam diretamente na produção de qualquer cultura e podem influenciar nos resultados

obtidos em campo, os próprios valores de *pixels* no talhão podem sofrer interferências dos *pixels* vizinhos, como por exemplo estradas e rios que passam próximo ao talhão.

#### 4. Conclusões

Utilizar o produto *Pixel Reliability* do sensor MODIS para eliminar os valores de *pixels* não confiáveis foi essencial para visualizar e entender melhor o perfil espectro temporal dos índices de vegetação durante o ciclo da cultura. Apontando para um produto de confiabilidade e importante para estudos que utilizam o sensor MODIS e seus índices de vegetação.

Dentre os índices de vegetação, o EVI foi mais eficaz para as correlações com os atributos físicos e químicos do solo. Seu comportamento espectro temporal representou melhor a fenologia da soja nos talhões. Além das correlações observadas entre P, K, MO, CTC e teor de argila, tais atributos do solo também se correlacionaram com os índices de vegetação em fases específicas do ciclo fenológico, principalmente nas fases R3 e R5.

A alta correlação positiva nos talhões do EVI da fase R5 com o teor de argila, e a alta correlação negativa do EVI da fase R5 com o P aponta para a importância desses elementos na fase de enchimento dos grãos e conseqüentemente para a produtividade do talhão, pensando nesses elementos em níveis adequados.

Com os valores de R<sup>2</sup> observados entre a fase R5 e a produtividade final do talhão 3, pode-se pensar em uma possível relação entre o índice de vegetação em fase específica do ciclo fenológico (R5) da soja com a produtividade final. Ainda se faz necessário uma análise de sensibilidade do modelo gerado para determinar, também em outras áreas de produção de soja, se 30 dias antes da colheita já é possível prever locais do talhão que irão produzir mais grãos de soja e também áreas que irão demandar maior atenção para a aplicação de insumos.

#### 5. Referências Bibliográficas:

- Alvares V.V.H.; Novais, R.F.; Barros, N.F.; Cantarutti, R.B.; Lopes, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvares V.V.H. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Viçosa, MG, 1999, p.25-32.
- Earth Explorer. Desenvolvido por U.S. Department of the Interior. **U.S. Geological Survey**, 2014. Disponível em: <<https://www.earthexplorer.usgs.gov>> Acesso em: 15.mai.2016.
- Fernandes, P.; Veiverberg, K. T.; Sebem E. Determinação da Produtividade de Soja por Sensoriamento Remoto em Nível de Talhão. In: **Anais... XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25 -30 abril 2009, INPE, p. 2009-2015.
- Gao, X.; Huete, A. R.; Ni, W.; Miura, T. Optical–Biophysical Relationships of Vegetation Spectral without Background Contamination. **Remote Sensing of Environment**, n. 74, p. 609–620, 2000.
- Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, P.; Gao, X. & Ferreira, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.195- 213, 2002.
- Huete, A; Liu, H. Q.; Batchily, K.; Leween, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, n. 59, p. 440–451, 1997.
- IBGE. **Manual técnico de Pedologia**. 2ªed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007, 316p.
- Maatoug, L.; Simões, M.; Bégué A.; Arvor, D. Monitoramento da fenologia de culturas através de Sensoriamento Remoto. In: **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 13-18 de abril de 2013, Foz do Iguaçu-PR: INPE, p. 453 – 459, 2013.
- Neumaier, N.; Nepomuceno, A.L.; Farias, J.R.B. Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. In: Bonato, E.R. (Ed.). **Estresses em soja**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPQ, p. 19-44, 2000.
- Risso, J.; Rizzi, J.R.R.; Epiphanyo, R.D.V.; Rudorff, B.F.T.; Formaggio, A.R.; Shimabukuro, Y.E.; Fernandes, S.L. Potencialidade dos índices de vegetação EVI e NDVI dos produtos MODIS na separabilidade espectral de áreas de soja. In: **Anais... XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Natal, RN, Anais. Natal: INPE, p. 379-386, 2009.
- Ronquim, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).
- Sousa, D.M.G.; Lobato, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. 416p.