

Revista Brasileira de Cartografia (2012) N^o 64/3: 405-418
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

SÉRIES TEMPORAIS MODIS APLICADAS EM SUCESSÃO DE CULTURAS DE SOJA (*GLYCINE MAX (L.) MERRILL*) E MILHO (*ZEAMAYS L.*) EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

MODIS time series applied to crop succession of soybean (Glycine max (L.) Merrill) and maize (Zea mays L.) in no-tillage system

**Antonio Felipe Couto Junior¹, Osmar Abílio de Carvalho Junior²
& Éder de Souza Martins³**

¹Universidade de Brasília

Campus Planaltina

Vila Nossa Senhora de Fátima, 73300-000, Planaltina, DF

afcj@unb.br

²Universidade de Brasília

Departamento de Geografia - Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais (LSIE)

Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília, DF

osmarjr@unb.br

³Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Embrapa Cerrados

Rodovia Brasília-Fortaleza, km 18, Planaltina, DF

eder@cpac.embrapa.br

Recebido em 10 Dezembro, 2011/ Aceito em 03 Junho, 2012

Received on December 10, 2011/ Accepted on July 03, 2012

RESUMO

Os sensores orbitais com alta resolução temporal proporcionam identificar as etapas fenológicas dos cultivos agrícolas. O presente artigo teve como objetivo analisar séries temporais do sensor *Moderate Imaging Spectroradiometer* (MODIS) para a descrição das sucessões soja-milho e milho-soja em sistema de plantio direto. As imagens utilizadas são os produtos de reflectância de superfície composição de oito dias (MOD09), contendo sete bandas sobre um período de 12 anos (200-2011). A metodologia adotada pode ser subdividida nas seguintes etapas: (a) eliminação dos ruídos das séries temporais a partir da combinação do filtro de mediana com a Fração Mínima de Ruído (FMR), (c) elaboração dos índices de vegetação *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI); *Enhanced Vegetation Index* (EVI) e *Normalized Difference Water Index* (NDWI); (c) análise estatística com o propósito de identificar a correspondência das séries temporais com as fases de sucessão de culturas soja e milho. Os dados temporais NDVI, EVI, e NDWI apresentam respostas sazonais para o cultivo de sucessão de milho-soja e soja-milho, mostrando-se consistentes com a fenologia das culturas. Os perfis temporais tratados evidenciaram os comportamentos ao longo do tempo, sendo que a soja como primeira cultura apresentou maiores valores para todos os índices avaliados. A soja apresentou em média um ciclo de 143 dias, com início da semeadura em 23 de outubro. O ciclo produtivo médio do milho como cultura principal foi 127 dias, com início em 08 de novembro.

Palavras chaves: perfil temporal, dados orbitais, sucessão cultural, índice de vegetação.

ABSTRACT

The orbital sensors with high temporal resolution allowed improvements in the phenological stages characterization. This paper aimed to analyze time series from Moderate Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensor for the soybean-corn and corn-soybean succession in no-tillage system. The images used are the MODIS surface reflectance 8-day composite products (MOD09), containing seven-band over a 12-year period (2000-2011). The methodology can be subdivided into the following steps: (a) noise elimination of time series combining the median filter with a Minimum Noise Fraction (MNF); (b) application of vegetation indices: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Water Index (NDWI); and (c) statistical analysis in order to identify the correspondence of the time series with the phases of crop rotation soybeans and corn. EVI, NDVI and NDWI temporal profiles show seasonal responses to crop succession of corn-soybeans and soybeans-corn. Temporal signatures were consistent with the general phenological characteristics. The smoothed temporal profiles evidenced the behavior through the time and that the soybean as first crop showed the highest values for all vegetation indices evaluated. The soybean had an average 143-days cycle, beginning in October 23th. The average productive cycles of the maize as main crop were 127-days, starting in November 8th.

Keywords: Temporal profile orbital data, crop succession, vegetation index.

1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade dos agroecossistemas depende de manejos que minimizem a exposição do solo à erosão durante a entressafra e proporcionem cobertura da terra, como por exemplo, a adubação verde (CARVALHO et al., 2004). Esses adubos verdes promovem incrementos na produtividade das culturas subsequentes em cerca de 65 % (ARF et al., 1999). Neste contexto a sucessão de cultivos proporciona a manutenção do equilíbrio de nutrientes no solo, reduz a demanda por insumos agrícolas, além de permitir o aumento da área cultivada no sistema de plantio direto (PASQUALETTO & COSTA, 2001; CARVALHO et al. 2004; REZENDE, 2011).

Dentre os principais produtos agrícolas produzidos no Brasil Central, destaca-se a soja (*Glycinemax* (L.) Merrill) e o milho (*Zeamays* L.), correspondendo a 41,2% e 40,9 %, respectivamente, no acompanhamento de safra 2011/2012 (CONAB, 2012).

A produção de soja no Cerrado foi resultante de sua adaptação genética às baixas latitudes, por ser considerada uma planta de dia curto (EMBRAPA, 2010). Sua escala fenológica é fundamentada no desenvolvimento da haste principal, apresentando estádios vegetativos e reprodutivos (FEHR & CALVINNESS, 1977). A produção é dependente de fatores climáticos, em que: (a) a ocorrência de altas temperaturas e alta

umidade ocasiona diminuição da qualidade da semente; (b) altas temperaturas e baixa umidade predis põem as sementes a danos mecânicos durante a colheita; e (c) baixa temperatura e alta umidade atraso na colheita (EMBRAPA, 2010).

O milho é plantado em praticamente todo o território nacional, sendo que mais de 70% da área plantada encontra-se nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste (CRUZ et al., 2011). Considerando o aspecto fenológico, observa-se que subperíodos (vegetativos e reprodutivos) mostram-se relacionados às variações das condições ambientais, especialmente, a temperatura média do ar (GADIOLI et al., 2000). O método mais satisfatório para a determinação das etapas de desenvolvimento leva em consideração as exigências térmicas ou calóricas (FANCELLI & DOURADO-NETO, 1997).

Devido à importância dessas culturas na produção agrícola nacional torna-se fundamental desenvolver métodos para descrever seu comportamento biofísico no espaço ao longo temporal em escala regional. No entanto, esse monitoramento é baseado em relatórios de campo, mostrando-se insuficientes para evidenciar os padrões espaço-temporais. As observações visuais de fenologia em campo apresentam alto custo e são demoradas.

Nesse contexto, o sensoriamento remoto destaca-se neste processo de descrição regional dos padrões espaço-temporais do milho e soja. O

emprego do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) possibilita este monitoramento por combinar resolução temporal elevada (cobertura repetição quase diária) com resoluções espaciais moderadas (ou seja, 250 m e 500 m). Este sensor vem sendo empregado para análise espaço-temporal tanto de áreas naturais (CARVALHO JÚNIOR et al., 2006, 2008, 2009; COUTO JUNIOR et al. 2011, JONATHAN et al. 2007; LACRUZ & SOUZA JÚNIOR, 2007, KANG et al., 2003; LATORRE et al. 2007; SANTANA et al., 2010a; ZHANG et al., 2003), como também, de áreas agrícolas (GALFORD et al., 2008; WARDLOW & EGBERT, 2008; OZDOGAN, 2010). Neste sentido, séries temporais de índices de vegetação do sensor MODIS têm sido utilizadas com sucesso para descrever os estágios fenológicos de diversos cultivos agrícolas: arroz (SAKAMOTO et al, 2005, 2006; XIAO, et al. 2005), cana de açúcar (AGUIAR et al. 2008; RAMME et al. 2010, XAVIER et al., 2006), batatas (ISLAM & BALA, 2008), milho e soja (SAKAMOTO et al. 2010).

O presente artigo teve como objetivo avaliar o comportamento temporal da sucessão soja e milho no sistema de plantio direto na região do Oeste da Bahia (bioma Cerrado) utilizando séries temporais de índice de vegetação do sensor MODIS.

2. ÁREA DE ESTUDO

Este trabalho utilizou informações referentes à Fazenda Alvorada, localizada no município de Luís Eduardo Magalhães (LEM), inserido na mesorregião do Extremo Oeste da Bahia e dentro do Bioma Cerrado (Figura 1).

O clima predominante dessa região é úmido, apresentando duas estações bem definidas: estação seca e fria (maio a setembro) e chuvosa e quente (outubro a abril). A precipitação média anual é de cerca de 1500 mm e a temperatura média anual fica entre 21° e 27°C (INMET, 2012). No contexto geológico, a área encontra-se sobre o Grupo Urucuaia, formado durante o Cretáceo e constituído quase que exclusivamente por arenitos de origem eólica (CAMPOS & DARDENNE, 1997). Os solos são bem intemperizados e drenados,

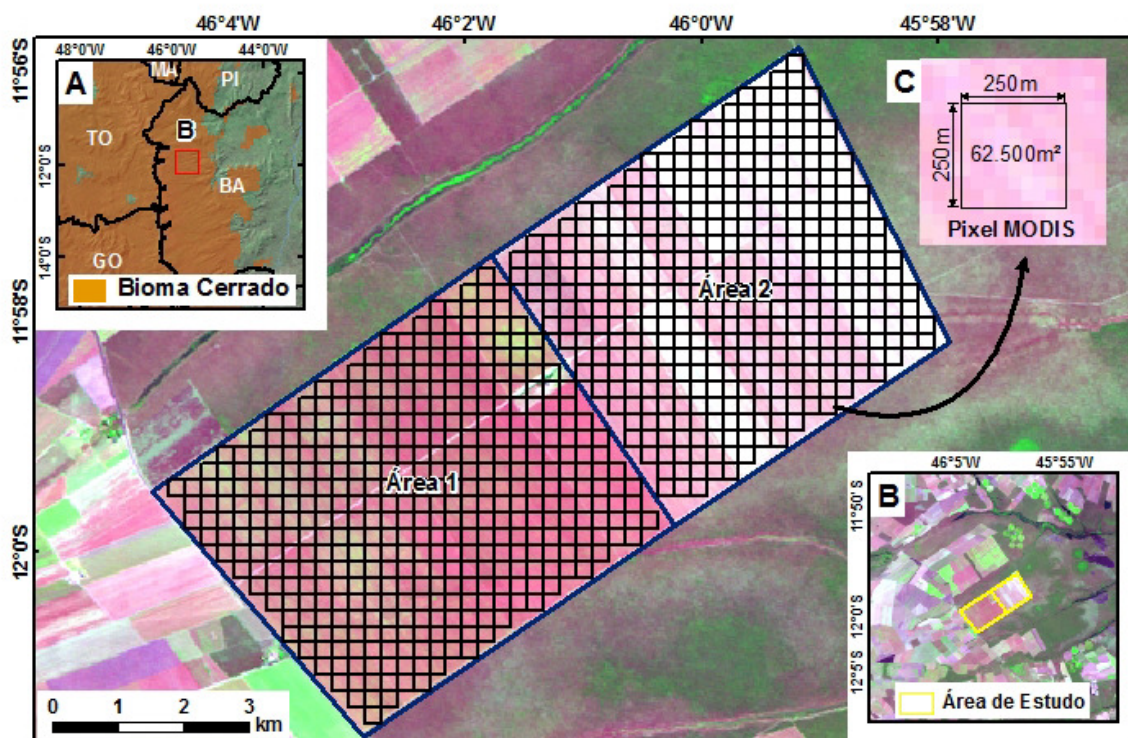


Fig. 1 - Área de estudo dividida em Área 1 e 2, com a projeção dos quadrantes referentes aos pixels do sensor MODIS em relação à imagem Landsat TM5 (R5G4B3), adquirida no dia 14 de julho de 2010; localização aproximada em relação ao Bioma Cerrado (A); entorno da área de estudo dentro do município de Luis Eduardo Magalhães (B); (C) detalhe do pixel do sensor MODIS (250mx250m).

apresentando baixa fertilidade natural, em um relevo plano (BATISTELLA et al., 2002). A vegetação é tipicamente de Cerrado (SANTANA et al. 2010b).

A propriedade avaliada emprega o sistema de plantio direto em cerca de 5000 hectares, sendo dividida em duas áreas de acordo com a sucessão das culturas (Figura 1). Ao longo do período avaliado, a Área 1 empregou a sucessão soja-milho com espaçamento entre linha de 0,76 m até 2008 e, de 2009 em diante, 0,5. A Área 2 (milho-soja) passou de um espaçamento entre linha de 0,9 até 2006 para 0,45, desta ano em diante. Considerando a projeção dos pixels do sensor MODIS, foram encontrados 428 pixels cobrindo a sucessão soja-milho e 386 a milho-soja.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Séries temporais do sensor MODIS

Os dados orbitais oriundos do sensor MODIS proporcionam maior compreensão do funcionamento dos sistemas globais, principalmente, devido à sua alta resolução temporal (JUSTICE et al., 2002). Esses dados são disponibilizados gratuitamente pela *National Aeronautic Space Administration* (NASA) georreferenciados e corrigidos dos efeitos atmosféricos, como nuvens,

aerossóis, entre outros (VERMOTE, et al., 2002; WOLFE et al., 2002).

Neste trabalho foi utilizado o produto MOD09 (reflectância da superfície) composto por sete bandas: 1 (620-670 nm), 2 (841-876 nm), 3 (459-479), 4 (545-565 nm), 5 (1230-1250 nm), 6 (1628-1652 nm), and 7 (2105-2155 nm). Os produtos utilizados são uma composição das melhores imagens dentro do período de 8 dias. As bandas 1 e 2 possuem uma resolução espacial de 250 metros, enquanto as demais possuem uma resolução de 500 metros. As bandas com menor resolução espacial foram reamostradas para 250 metros, com o propósito de padronizar as bandas em uma mesma dimensão. No presente trabalho foi avaliado o período de 12 anos, entre 2000 e 2011.

Para cada banda foram construídas séries temporais, onde a longitude é representada pelo eixo X, a latitude pelo eixo Y; e o tempo pelo eixo Z (Figura 2). Isso permite estabelecer para cada pixel um perfil temporal, analogamente a curva espectral em dados hiperespectrais.

Neste trabalho foram elaborados a partir das bandas MODIS três índices de vegetação: *Normalized Difference Vegetation Index*- NDVI (ROUSE et al., 1973); *Enhanced Vegetation*

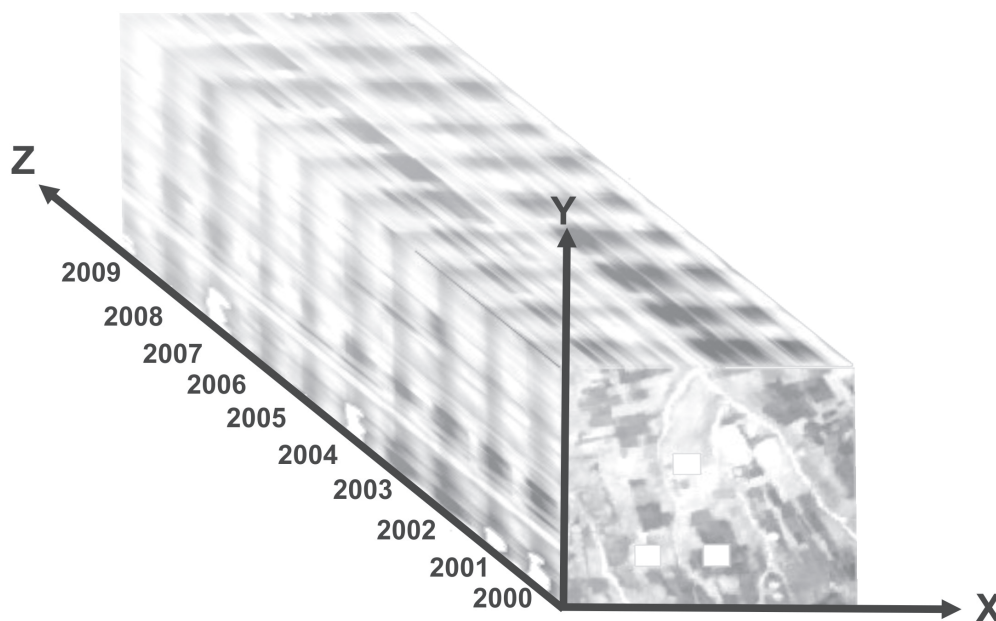


Fig. 2 – Série temporal MODIS gerado a partir das imagens corrigidas dispostas em sequência crescente.

Index - EVI (HUETE et al., 1997) e *Normalized Difference Water Index - NDWI* (GAO, 1996). O NDVI é representado pela seguinte formulação:

$$NDVI = (\tilde{n}_{IVP} - \tilde{n}_{Ver}) / (\tilde{n}_{IVP} + \tilde{n}_{Ver}) \quad (1)$$

Em que, \tilde{n}_{IVP} é o valor da refletância no infravermelho próximo (banda 2: 841-876nm) e \tilde{n}_{Ver} é a refletância na faixa do vermelho (banda 1: 620-670 nm).

O EVI reduz a influencia do solo e da atmosfera, sendo expresso pela seguinte formulação (HUETE et al., 1997):

$$EVI = G \cdot [(\tilde{n}_{IVP} - \tilde{n}_{Ver}) / (\tilde{n}_{IVP} + C1 \cdot \tilde{n}_{Ver} - C2 \cdot \tilde{n}_{Azul} + L)] \quad (2)$$

Em que, \tilde{n}_{IVP} e \tilde{n}_{Ver} são as refletâncias das bandas 1 e 2 do MODIS e o \tilde{n}_{Azul} , a refletância do azul (banda 3: 459-479 nm); C1 e C2 coeficientes de resistência atmosférica; L é o fator de correção de brilho do dossel; e G é o fator de ganho. Para o MODIS, esses valores são C1= 6; C2 = 7,5; L = 1; e G = 2,5.

O NDWI evidencia o conteúdo de água na estrutura interna da folha, sendo expresso pela seguinte equação (GAO, 1996):

$$NDWI = (\tilde{n}_{IVP} - \tilde{n}_{IVC}) / (\tilde{n}_{IVP} + \tilde{n}_{IVC}) \quad (3)$$

Em que, \tilde{n}_{IVP} é o valor da refletância no infravermelho próximo (banda 2: 841-876 nm) e \tilde{n}_{IVC} é o valor da refletância no infravermelho médio (banda 5: 1230-1250nm). O valor de \tilde{n}_{IVP} mostra-se afetado pela estrutura interna da folha e teores de matéria seca, e não pelo conteúdo de água. Por outro lado, a \tilde{n}_{IVC} reflete as mudanças tanto no conteúdo de água da vegetação como da estrutura do mesófilo esponjoso no dossel da vegetação. Nesse sentido, essa combinação remove as variações induzidas pela estrutura interna da folha e os teores de matéria seca, melhorando a precisão na recuperação do teor de água de vegetação (CECCATO et al., 2001). Esse índice foi utilizado com intuito de evidenciar o conteúdo de água em cultivos de soja e milho, sendo constatado que a utilização do comprimento de onda do infravermelho médio permitiu melhor monitoramento dos padrões de crescimento (CHEN et al. 2005). A sensibilidade do NDWI permitiu a separação de fitofisionomias

do Cerrado segundo seus estratos vegetativos em ordem crescente, de acordo com o conteúdo de água (COUTO JUNIOR et al., 2010).

3.2. Tratamento do ruído

Mesmo após a geração de índices de vegetação, as séries temporais originadas na etapa anterior apresentaram limitações oriundas de cobertura de nuvens e outros tipos de ruídos. Visando reduzir a influência desses ruídos, foram realizadas três etapas de acordo com CARVALHO JUNIOR et al. (2012): (a) aplicação de um filtro móvel de mediana ao longo do tempo, (b) emprego da transformação Fração Mínima de Ruído (FMR), e (c) emprego da FMR inversa para a restituição dos parâmetros originais utilizando a fração sinal (Figura 3).

O filtro de mediana é um método não linear, que realiza uma organização das observações em ordem crescente identificando o valor central. Considerando um ordenamento estatístico de N números reais, $x(1) \dots x(N)$, em que N representa a janela do filtro digital, se o valor mínimo é $x(1)$, o máximo $x(N)$, sua mediana será $M((N + 1) / 2)$.

A Fração Mínima de Ruído (FMR) foi desenvolvida originalmente para o processamento de imagens hiperespectrais (GREEN et al., 1988). A FMR é uma transformação semelhante à Análise de Componentes Principais (ACP), porém possui a característica de maximizar a razão sinal/ruído para o ordenamento das imagens de acordo com a qualidade (CARVALHO JÚNIOR et al., 2002).

Para a transformação inversa FMR foi considerado o ponto de inflexão dos autovalores e a qualidade das imagens. Essa transformação tem o objetivo de retornar os valores referentes aos parâmetros das séries temporais, eliminando a presença do ruído branco (não-correlacionados e com baixa variância), bem como atenuação de possíveis níveis oriundos da filtragem de mediana.

3.3. Análise estatística dos perfis temporais e a fenologia desucessões culturais

A partir dos perfis temporais tratados foi realizada análise estatística descritiva, por meio de histogramas de frequência referentes aos índices de vegetação avaliados dentro de cada sucessão (soja-milho e milho-soja). Complementarmente, foi realizada análise de correlação entre essas sucessões e entre os índices de vegetação. Após esta etapa

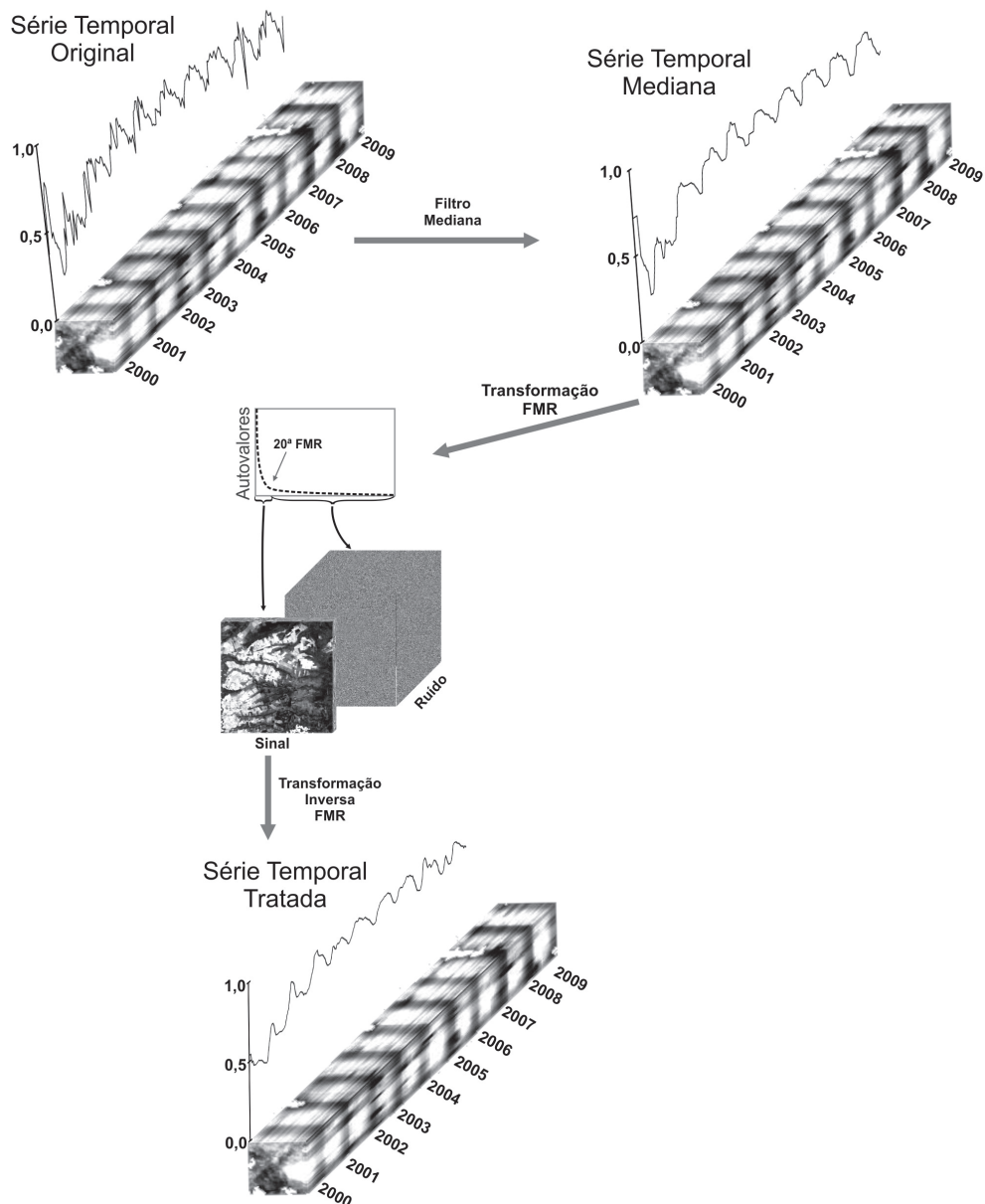


Fig. 3 – Sequência metodológica aplicada para o tratamento das séries temporais MODIS.

descritiva foi gerado o comportamento temporal médio de ambas as sucessões, além de identificadas suas transições fenológicas e seus estádios fenológicos por meio da 1ª e 2ª derivadas, respectivamente.

4. RESULTADOS

4.1. Resultados do tratamento do ruído

Os resultados indicaram uma redução significativa da presença de ruídos relativos à presença de nuvens e de sombra (Figura 4). O filtro de mediana com a janela 9x9 e passo um

proporcionou a redução desses ruídos de impulso, no entanto, promoveu a geração de patamares devido à repetição de valores.

O ordenamento dos dados seguiu a razão sinal/ruído, segregando a fração sinal nas 20 primeiras componentes, pode ser visualizada no gráfico de autovalores (Figura 3). Essa fração foi utilizada para a aplicação da transformação inversa da FMR, gerando um espectro suavizado sem a presença de ruídos brancos (ruídos sem correlação e de baixa variância) e dos eventuais pequenos

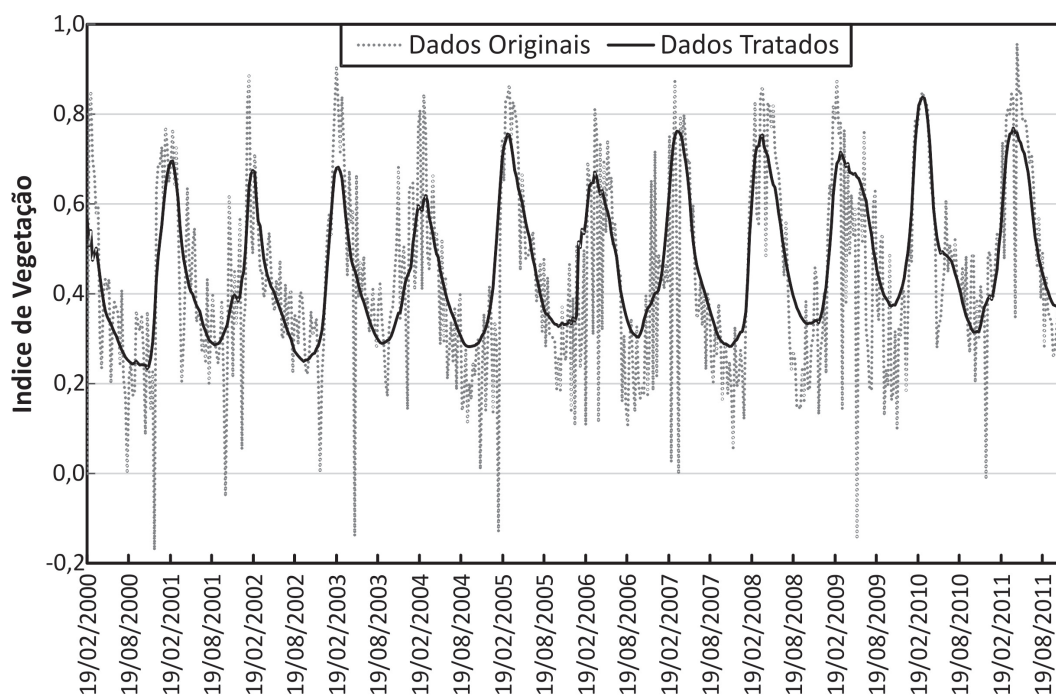


Fig. 4— Comparação entre os dados originais (linha pontilhada) e os dados tratados (linha preta).

patamares (sucessão de valores repetidos) gerados após a filtragem de mediana.

4.2. Resultados da análise estatística dos perfis temporais

Os histogramas evidenciaram a distribuição de frequência dos pixels ao longo de um período de 12 anos (Fig. 5). O eixo “Y” representou a número de pixels em uma determinada classe de valores de índices de vegetação (área) e o “X”, os comportamentos dos valores dos índices de vegetação ao longo do tempo. De uma forma geral, foi observada maior frequência de pixels com menores valores de índices de vegetação, com decréscimo em função do aumento dos valores dos índices de vegetação. Neste sentido, os valores inferiores caracterizaram o comportamento dos índices durante as estações secas ao longo dos anos estudados, e, conseqüentemente, os valores mais elevados, representaram o comportamento das estações chuvosas dentro intervalo avaliado. Esta tendência foi observada tanto na sucessão milho-soja (NDVI-A2 e EVI-A2), quanto na soja-milho (EVI-A1 e NDWI-A1) (Fig. 5). Por outro lado, nas sucessões soja-milho (NDVI-A1) e milho-soja (NDWI-A2) foram observados valores mais elevados na segunda e terceira classe de distribuição, respectivamente. Este fato indica que os valores

destes índices, correspondentes às estações secas, apresentaram incremento de área com maior cobertura vegetal.

Os valores máximos de todos os índices foram observados na sucessão soja-milho (Fig. 5), devido à arquitetura do dossel, fechamento do dossel e produção de biomassa. Essas características biofísicas também explicam os menores desvios padrões, para todos os índices, na sucessão milho-soja. Os valores de NDVI foram superiores aos de EVI em ambas as sucessões, devido à saturação pela clorofila.

A análise de correlação proporcionou tanto a avaliação do comportamento ao longo do tempo de um índice de vegetação em uma determinada sucessão, quanto à comparação entre diferentes sucessões. Observou-se forte correlação para todos os padrões dos índices, independente da ordem da sucessão (Fig. 5).

4.3. Resultados da fenologia das sucessões culturais

As distribuições de frequência sintetizaram a dinâmica da fenologia em ambas as sucessões avaliadas e seus comportamentos fenológicos médios de foram apresentados em perfis temporais (Figuras 6 e 7). Nesses perfis a amplitude representou a alternância entre os estágios dos tratos culturais, onde os picos representaram a época

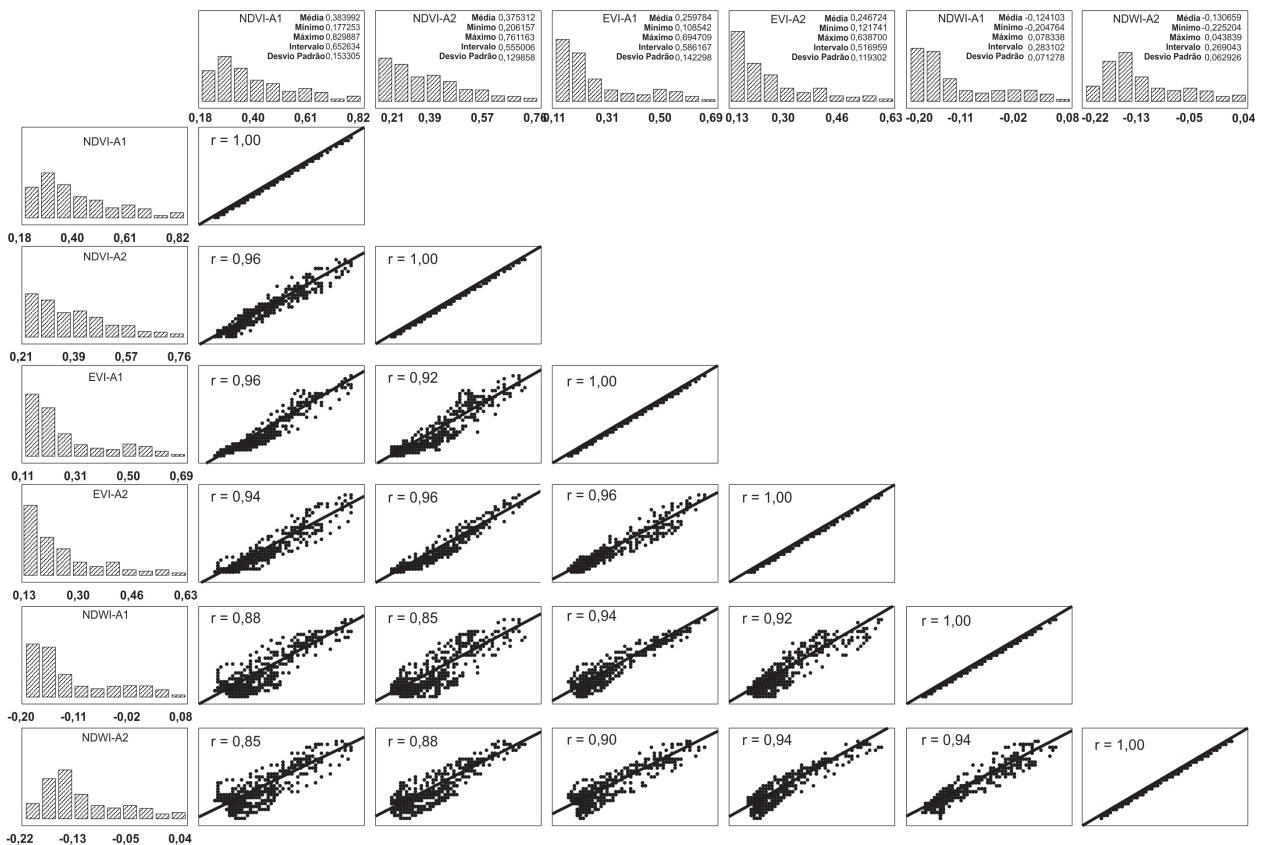


Fig. 5– Estatística descritiva considerando a distribuição de frequência dos pixels referentes à sucessão soja-milho (A1) e milho-soja (A2) em função do comportamento dos índices de vegetação (NDVI, EVI e NDWI), considerando um período de 12 anos; análise de correlação entre os índices de vegetação em uma determinada sucessão e entre sucessões.

chuvosa, e os vales, a seca. Neste sentido, observou-se que durante a época chuvosa, a sucessão soja-milho apresentou valores de NDVI próximos a 0,75 até o ano de 2008, tendo sido observada uma elevação para 0,8 a partir de 2009, devida à redução do espaçamento entrelinhas (Figura 6). Este incremento na densidade confirma o comportamento evidenciado pelo histograma de frequência NDVI relativos aos 12 anos (Figura 5). Nesta distribuição foi observada uma redução na classe de valores inferiores a 0,25 na sucessão soja-milho e aumento no intervalo de valores entre 0,25 e 0,31 NDVI. Este aumento foi de 8 % na superfície coberta durante o período de menor produção de biomassa (maio a setembro) para a sucessão soja-milho, passando a cobrir 650 hectares. Considerando a estação chuvosa (outubro a abril), período de maior produção de biomassa, observou-se um incremento de pelo menos 2% da cobertura (78 ha). O padrão do EVI da sucessão soja-milho também acompanhou o comportamento identificado pelo perfil do NDVI, porém, com valores médios, mínimos e máximos inferiores, devido à redução do

efeito de fundo do solo e interferência atmosférica. Também foi observado aumento nos valores de NDWI nos três últimos anos avaliados, ocasionando incremento no conteúdo de água foliar na sucessão soja-milho (Figura 6).

Os perfis temporais (NDVI, EVI e NDWI) da sucessão milho-soja apresentaram padrões similares aos observadas na sucessão soja-milho, porém, com valores inferiores (Figura 7). Além disso, também foi identificado o aumento da densidade do plantio a partir de 2008, quando foram observados maiores valores máximos dos índices de vegetação avaliados. Este incremento pode ser confirmado com a redução de cerca de 10 % da distribuição de valores de NDWI inferiores a -0,17, evidenciado no histograma de frequência (Figura 5). Por outro lado, foi observado crescimento de 26 % dos pixels encontrados na classe de valores de NDWI entre -0,17 e -0,13. Este fato evidencia um aumento no conteúdo de água foliar na cobertura desta sucessão nos 12 anos avaliados. Neste sentido, foi possível destacar que a sucessão milho-soja, empregada em sistema de

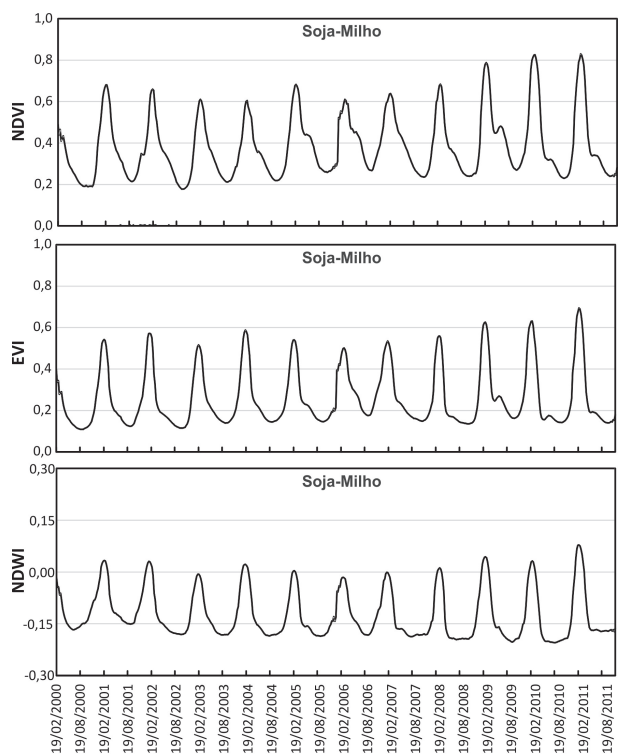


Fig. 6—Comportamento temporal dos índices de vegetação NDVI, EVI e NDWI para a sucessão soja-milho.

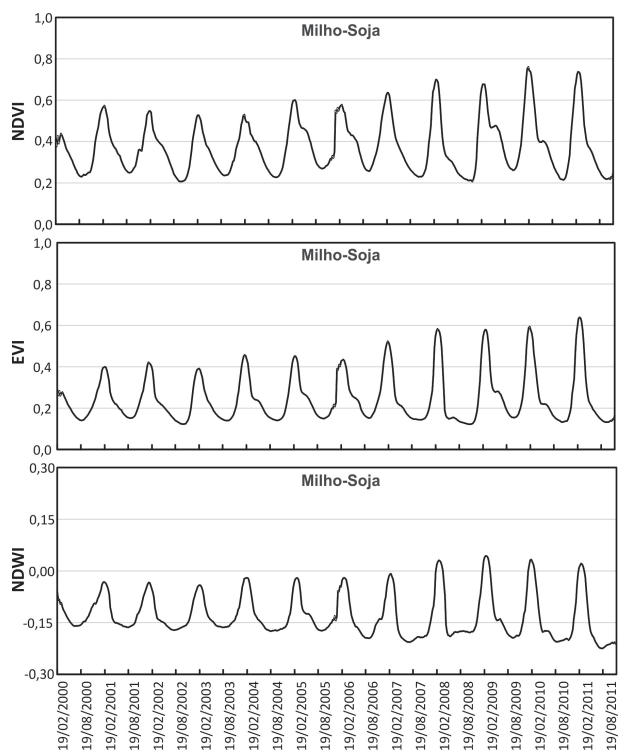


Fig. 7 - Comportamento temporal dos índices de vegetação NDVI, EVI e NDWI para a sucessão milho-soja.

plantio direto, apresentou maior potencial de aumento da umidade da cobertura vegetal.

Considerando os padrões ao longo de 12 anos estudados, foram gerados os perfis médios dos índices de vegetação (NDVI, EVI e NDWI) das sucessões avaliadas (Fig. 8). Nesses perfis, podem ser identificadas duas elevações, sendo que a primeira representa a primeira cultura da sucessão, e a segunda, mais suave, corresponde à segunda cultura. Para todos os índices a soja (primeira cultura) apresentou valores mais elevados do que os observados no milho, evidenciando sua maior

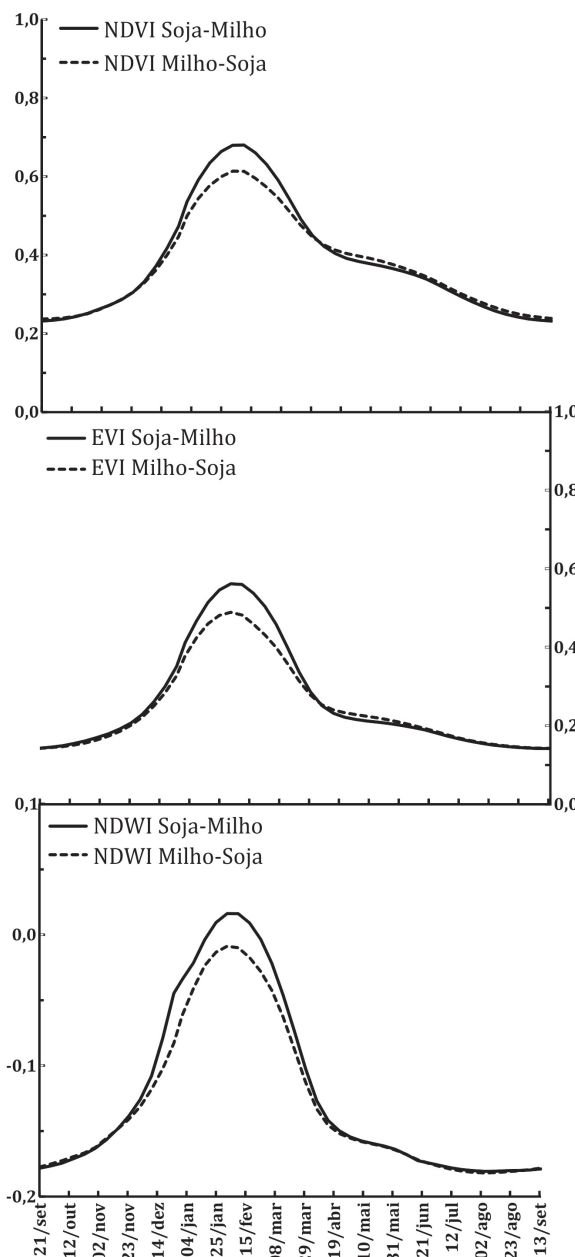


Fig. 8—Comportamento temporal médio dos índices de vegetação NDVI, EVI e NDWI referentes às sucessões soja-milho e milho-soja.

produção de biomassa. Este comportamento também foi observado, porém, pouco acentuado, para o NDVI e o EVI da soja como segunda cultura.

Dada a alta correlação entre os índices de vegetação, foram utilizados os perfis temporais médios de NDVI, de ambas as culturas, para caracterizar as principais transições fenológicas, por meio da 1ª derivada. As primeiras culturas, independente da sucessão, apresentaram maior amplitude em suas transições fenológicas do que as observadas nas segundas culturas (Fig. 9). A soja como primeira cultura apresentou maior variação entre o período vegetativo e a maturidade, confirmando o comportamento temporal médio caracterizado anteriormente (Fig. 8). As segundas culturas apresentaram comportamento similar entre si, sendo que as divergências mostraram-se relacionadas às diferenças entre as estruturas de seus dosséis.

Os estádios fenológico foram identificados por meio da 2ª derivada, que evidenciou as taxas de variação entre os estádios (Fig. 9). Em ambas as sucessões, seus períodos vegetativos (V) foram marcados por taxas positivas e ascendentes, indicando um incremento biomassa. Os períodos reprodutivos (R) foram assinalados taxas negativas, que corresponderam à queda da produção de biomassa e maior investimento das estruturas

reprodutivas. As segundas culturas, independente da sucessão, apresentaram taxas próximas à zero, evidenciando suas funções no sistema de plantio direto, principalmente para evitar a exposição do solo após a colheita. Além disso, este comportamento evidencia funções específicas, como repouso da terra (milho) e a incorporação de nitrogênio (soja).

Neste sentido, foi possível identificar o comportamento fenológico médio das sucessões, especialmente, das primeiras culturas (Tab. 1). Constatou-se que em média a soja como primeira cultura teve um ciclo de 143 dias e o milho, 127 dias. Dentro dos 12 anos estudados, a semeadura da soja ocorreu em período de 40 dias, com início no dia 23 de outubro. O milho apresentou um intervalo menor de semeadura, 24 dias, com início, em média, no dia 08 de novembro. Ambas as sucessões tiveram o mesmo intervalo em relação ao período vegetativo (V), com início, em média, no dia 2 de dezembro. O período reprodutivo (R) da soja foi, em média, de 40 dias, sendo considerado um dos momentos mais sensíveis em relação ao estresse ambiental (SAKAMOTO et al., 2010). Este período (R) teve um intervalo médio de 32 dias para o milho, sendo que durante o estágio R1 mostra-se sensível ao estresse hídrico. A maturidade (M) da soja teve início em 10 de fevereiro ao longo de 33 dias. O milho teve sua

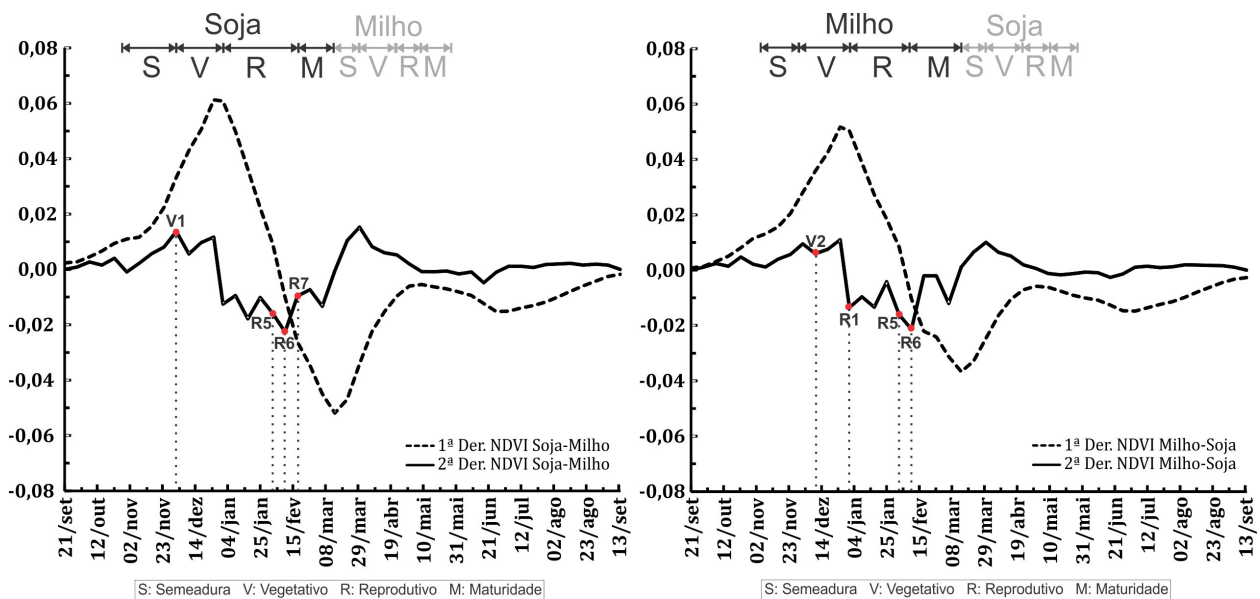


Fig. 9 – Fenologia das sucessões avaliadas, soja-milho (esquerda) e milho-soja (direita), considerando o comportamento médio do NDVI ao longo de 12 anos, as transições fenológicas foram evidenciada com a 1ª Derivada (linha segmentada) e os estádios fenológicos caracterizados pela 2ª Derivada (linha preta).

Tabela 1. Períodos fenológicos da 1ª cultura das sucessões avaliadas.

1ª Cultura	Transição Fenológica	Início	Término	Dias	Estádio	Data	Descrição
Soja	S	23/out	02/dez	40			
	V	02/dez	01/jan	30	V1	02/dez	Nós unifoliados completos
	R	01/jan	10/fev	40	R5	02/fev	Início da sementes
	M	10/fev	14/mar	33	R6	10/fev	Sementes completas
Milho					R7	18/fev	Início da maturidade
	S	08/nov	02/dez	24			
	V	02/dez	01/jan	30	V2	10/dez	Segunda folha completa
	R	01/jan	02/fev	32	R1	01/jan	Espigamento
					R5	02/fev	Granação
					R6	10/fev	Peso seco máximo

(S) Semeadura; (V) Período Vegetativo; (R) Período Reprodutivo; (M) Maturidade

maturidade (M) a partir do dia 2 de fevereiro e com duração média de 41 dias.

5. CONCLUSÃO

O emprego conjunto do filtro de mediana combinado com a transformação inversa da Fração Mínima de Ruído (FMR) proporcionou ganhos para a caracterização o comportamento temporal dos índices de vegetação avaliados (NDVI, EVI, NDWI).

Os perfis temporais tratados evidenciaram os comportamentos ao longo do tempo das sucessões soja-milho e milho-soja, dentro do sistema de plantio direto. A soja como primeira cultura apresentou maiores valores para todos os índices avaliados. A soja apresentou em média um ciclo de 143 dias, com início da sementeira em 23 de outubro. O ciclo produtivo médio do milho foi 127 dias, com início em 08 de novembro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, D.A.; RUDORFF, B.F.T., RIZZI, R., SHIMABUKURO, Y.E. 2008. **Monitoramento da colheita da cana-de-açúcar por meio de imagens MODIS**. Revista Brasileira de Cartografia, n 60/04, 375-383.

ARF, O.; SILVA, L.S. da; BUZETTI, S.; ALVES, M.C.; SÁ, M.E.; RODRIGUES, R.A.F.; HERNANDEZ, F.B.T. Efeitos na cultura do trigo da rotação com milho e adubos verdes, na presença

e na ausência de adubação nitrogenada. **Bragantia**, vol.58, p.323-334, 1999.

BATISTELLA, M.; GUIMARÃES, M.; MIRANDA, E.E.; VIEIRA, H.R.; VALLADARES, G.S.; MANGABEIRA, J.A.C.; ASSIS, M.C. **Monitoramento da expansão agropecuária da Região Oeste da Bahia**. Embrapa Monitoramento por Satélite. Documentos, 20, 41p., 2002.

CAMPOS, J.E.G.; DARDENNE, M.A. Estratigrafia e sedimentação da Bacia Sanfranciscana: uma revisão. **Revista Brasileira de Geociências**, vol. 27, p. 269-282, 1997.

CARVALHO JÚNIOR OA, CARVALHO APF, MENESES PR & GUIMARÃES RF. Classificação e eliminação dos ruídos em imagens hiperespectrais pela análise seqüencial da transformação por fração de ruído mínima. **Revista Brasileira de Geofísica**, vol. 20, n. 1, p. 31-41, 2002.

CARVALHO JUNIOR, O.; HERMUCHE, P.M.; GUIMARÃES, R.F. Identificação regional da Floresta Estacional Decidual na Bacia do Rio Paranã a partir da Análise Multitemporal de imagem MODIS. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 24, p. 319-332, 2006.

CARVALHO JUNIOR, O.; SAMPAIO, C.S, SILVA, N.C.; COUTO JUNIOR, A.F.; GOMES, R.A.T.; CARVALHO, A.P.F.; SHIMABUKURO, Y.E. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor MODIS no

- Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. **Revista Brasileira de Geofísica**, vol. 26, p.505-517, 2008.
- CARVALHO JUNIOR, O.; COUTO JUNIOR, A.F.; SILVA, N.C.; MARTINS, E.S.; CARVALHO, A.P.F.; GOMES, R.A.T. Avaliação dos classificadores espectrais de Mínima Distância Euclidiana e Spectral Correlation Mapper em séries temporais NDVI-MODIS no campo de instrução militar de Formosa (GO). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 61, p. 399-412, 2009.
- CARVALHO JUNIOR, O.; SILVA, N.C.; CARVALHO, A.P.F.; COUTO JUNIOR, A.F.; SILVA, C.R.; SHIMABUKURO, Y.E.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T. Combining noise-adjusted principal components transform and median filter techniques for denoising modis temporal signatures. **Revista Brasileira de Geofísica**, vol. 30, n. 2, p. 147-157, 2012.
- CARVALHO, M.A.C.; ATHAYDE, M.L.F.; SORATTO, R.P.; ALVES, M.C.; ARF, O. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 39, n.11, p.1141-1148, 2004.
- CECCATO, P.; FLASSE, S.; TARANTOLA, S.; JACQUEMOUD, S.; GREGOIRE, J.M. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. **Remote sensing of Environment**, vol. 77, p. 22-33, 2001.
- CHEN, D.; HUANG, J.; JACKSON, T.J. Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near- and short-wave infrared bands. **Remote sensing of Environment**, vol. 98, p. 225-236, 2005.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: grãos sétimo levantamento. 37p. 2012.
- COUTO JUNIOR, A.F.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; MARTINS, E.S.; ENCINAS, J.M.I. Identificação das assinaturas temporais NDVI das principais fisionomias da região do Ecomuseu do Cerrado. **Espaço e Geografia (UnB)**, v. 10, p. 173-189, 2007.
- COUTO JUNIOR, A.F., SOUZA, V.V.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; MARTINS, E.S.; SANTANA, O.A.; FREITAS, L.F.; GOMES, R.A.T. Integração de parâmetros morfométricos e imagem ASTER para a delimitação das fitofisionomias da Serra da Canastra, Parque Nacional da Serra da Canastra, MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 11, n.1, p.57-68, 2010.
- COUTO JUNIOR, A., CARVALHO JUNIOR, O., MARTINS, E., SANTANA, O., SOUZA, V., & ENCINA, J. Tratamento de ruídos e caracterização de fisionomias do Cerrado utilizando séries temporais do sensor MODIS. **Revista Árvore**, vol. 35, p.699-705, 2011.
- CRUZ, J.C.; CAMPANHA, M.M.; COELHO, A.M.; KARAM, D.; PEREIRA FILHO, I.A.; CRUZ, I.; GARCIA, J.C.; PIMENTEL, M.A.G.; GONTIJO NETO, M.M.; ALBUQUERQUE, P.E.P.; COSTA, R.V.; ALVARENGA, R.C.; QUEIROZ, V.A.V. Boas práticas agrícolas: milho. **Documentos 199**, Embrapa – Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 48 p., 2011.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – SOJA 2011. **Tecnologia de produção de soja – região central do Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 255 p., 2010.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. Milho: ecofisiologia e rendimento. In: GALVÃO, J.C.C. & MIRANDA, G.V. (Org.) **Tecnologia da produção de milho**. 1.ed. Piracicaba: Editora UFV, 1997. p.157-170.
- FEHR, W.R.; CALVINESS, C.E. Stages of soybean development. **Special Report**, n.80, Iowa, ISU, 1977.
- GADIOLI, J.L.; DOURADO-NETO, D.; GARCIA, A.G.; BASANTA, M.V. Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma calórica. **Scientia Agricola**, vol. 57, n.3, p.377-383, 2000.
- GALFORD, G.; MUSTARD, J.F.; MELILLO, J.; GENDRIN, A.; CERRI, C.C. & CERRI, C.E.P. Wavelet analysis of MODIS time series to detect expansion and intensification of row-crop agriculture in Brazil. **Remote Sensing of Environment**, vol.112, p.576-587, 2008.

- GAO, B.C. NDWI – a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, vol.58, p.257-266, 1996.
- GREEN, A.A.; BERMAN, M.; SWITZER, P.; CRAIG, M.D. A transformation for ordering multispectral data in terms of images quality with implications for noise removal. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol.26, n.1, p.65-74, 1988.
- HUETE, A.; LIU, H.Q.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, vol.59, p.440-451, 1997.
- INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Climatologia. Disponível em <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em 09 de setembro de 2012.
- ISLAM, A. S. & BALA, S. K. Assessment of potato phenological characteristics using MODIS-derived NDVI and LAI information. **Geoscience & Remote Sensing**, vol. 45, p. 454-470, 2008.
- JONATHAN, M.; MEIRELLES, M.S.P.; BERROIR, J.P.; HERLIN, I. Considerações para o monitoramento do uso do solo com dados MODIS para longos períodos e em escala regional, e sua aplicação na bacia do alto Taquari, MS/MT. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 59/01, p.1-7, 2007.
- JUSTICE, C.O.; TOWNSHEND, J.R.G.; VERMOTE, E.F.; MASUOKA, E.; WOLFE, R.E.; SALEOUS, N.; ROY, D.P.; MORISSETTE, J.T. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, vol.83, p.3-15, 2002.
- KANG, S.; RUNNING, S.W.; LIM, J., ZHAO, M.; PARK, C.; LOEHMAN, R. A regional phenology model for detecting onset of greenness in temperate mixed forests, Korea: An application of MODIS leaf area index. **Remote Sensing of Environment**, vol. 86, p. 232– 242, 2003.
- LACRUZ, M.S.P.; SOUSA JÚNIOR M.A. 2007. Uso de séries temporais EVI/MODIS e análise harmônica para o estudo da bacia do rio Taquari. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 59/01, p. 9-15.
- LATORRE, M.L.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; SANTOS, J.R.; SHIMABUKURO, Y.E. Integração de dados de sensoriamento remoto multi-resoluções para a representação da cobertura da terra utilizando campos contínuos de vegetação e classificação por árvores de decisão. **Revista Brasileira de Geofísica**, vol.25, n.1, p. 63-74, 2007.
- OZDOGAN, M. The spatial distribution of crop types from MODIS data: temporal unmixing using independent component analysis. **Remote Sensing of Environment**, vol. 114, p.1190-1204, 2010.
- PASQUALETO, A.; COSTA, L.M. Influencia de sucessão de culturas sobre características agronômicas do milho (*Zea mays* L.) em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, vol. 31, p.61-64, 2001.
- RAMME, F.L.P.; LAMPARELLI, R.A.C.; ROCHA, J.V. Perfis temporais NDVI MODIS, na cana-soca, de maturação tardia. **Engenharia Agrícola**, vol. 30, n. 3, p. 480-494, 2010
- RESENDE, A.V. O sistema de plantio direto proporciona maior eficiência no uso de fertilizantes. **Documentos da Embrapa – Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 118, 25 p., 2011.
- RITCHIE, S.; HANWAY, J.J & BENSON, G.O. **How a Corn Plant Develops**. Special Report No. 48. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Ames, Iowa. 1993.
- ROUSE JW, HAAS RH, SCHELL JA & DEERING DW. 1973. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351, 301–317
- SAKAMOTO, T.; YOKOZAWA, M.; TORITANI, H.; SHIBAYAMA, M.; ISHITSUKA, N.; OHNO, H. A crop phenology detection method using time-series MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, vol. 96, p.366-374, 2005.
- SAKAMOTO, T.; NGUYEN, N.V. OHNO, H.; ISHITSUKA, N.; YOKOZAWA, M. Spatio-temporal distribution of rice phenology and cropping systems in the Mekong Delta with special reference to the seasonal water flow of the Mekong and

- Bassac rivers. **Remote Sensing of Environment**, vol. 100, p.1-16, 2006.
- SAKAMOTO, T.; WARDLOW, B.D.; GITELSON, A.A.; VERMA, S.B., SUYKER A.E., ARKEBAUER, T.J.A Two-Step Filtering approach for detecting maize and soybean phenology with time-series MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, vol. 114, p.2146-25159, 2010.
- SANTANA, O.A.; CARVALHO JUNIOR, PIMENTEL, C.M.M.; GOMES, R.A.T. & OLIVEIRA, S.N. Modelagem de espectros temporais NDVI-MODIS, no período de 2000 a 2008, na bacia do Rio Paracatu, Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, vol. 28, p.47-60, 2010a.
- SANTANA, O.A.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; GOMES, R.A.T.; CARDOSO, W.S.; MARTINS, E.S.; PASSO, D.P.; GUIMARÃES, R.F. Distribuição de espécies vegetais nativas em distintos macroambientes na região do Oeste da Bahia. **Espaço e Geografia**, v. 13, n. 2, p. 181-223, 2010b.
- VERMOTE, E.; EL SALEOUS, N.; JUSTICE, C. Atmospheric correction of the MODIS data in the visible to middle infrared: First results. **Remote Sensing of Environment**, vol.83, n.1-2, p.97-111, 2002.
- WARDLOW, B.D. & EGBERT, S.L. Large-area crop mapping using time-series MODIS 250m NDVI data: an assessment for the US Central Great Plains. **Remote Sensing of Environment**, vol. 112, p.1096-1116, 2008.
- WOLFE, R.E.; NISHIHAMA, M.; FLEIG, A.J.; KUYPER, J.A.; ROY, D. P.; STOREY, J.C.; PATT, F. S. Achieving Sub-Pixel geolocation accuracy in Support of MODIS Land Science. **Remote Sensing of Environment**, vol. 83, n.1-2, p. 31-49, 2002.
- XAVIER, A.C.; RUDORFF, B.F.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; BERKA, L.M.S.& MOREIRA, M.A. Multi-temporal analysis of MODIS data to classify sugarcane crop. **International Journal of Remote Sensing**, vol.27, p.755-768, 2006.
- ZHANG, X.; FRIEDL, M.A.; STRAHLER, A.H.; HODGES, J.C.F.; GAO, F.; REED, B.C.; HUETE, A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, vol. 84, p. 471-475, 2003.
- XIAO, X. M., BOLES, S., LIU, J., ZHUANG, D., FROLKING, S., LI, C. S., SALAS, W., 2005. Mapping paddy rice agriculture in southern China using multi-temporal MODIS images. **Remote Sensing of Environment**, vol. 95, p. 480-492, 2005.