

Revista Brasileira de Cartografia (2014) N^o 66/6:1265-1280
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

CARACTERIZAÇÃO FENOLÓGICA DA COBERTURA VEGETAL DO OESTE DA BAHIA A PARTIR DE SÉRIES TEMPORAIS DE EVI DO SENSOR MODIS

Phenological Characterization of Land Cover from Western Bahia State, Brazil, through the Time Series of MODIS EVI

Elane Fiúza Borges^{1,2} & Edson Eyji Sano^{1,3}

¹Universidade de Brasília - UnB

Instituto de Geociências

Campus Universitário Darcy Ribeiro, CEP: 70919-970 Brasília-DF
elaneborges@uefs.br

²Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS

Departamento de Ciências Humanas e Filosofia

Av. Transnordestina, CEP: 44036-900 Feira de Santana-BA

³Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

Embrapa Cerrados

BR-020 km 18, CEP: 73301-970 Planaltina-DF
edson.sano@embrapa.br

Recebido em 19 de Dezembro, 2013/ Aceito em 20 de Fevereiro, 2014

Received on December 19, 2013/ Accepted on February 20, 2014

RESUMO

Esta pesquisa objetivou caracterizar a fenologia da cobertura vegetal do Oeste da Bahia por meio de métricas fenológicas derivadas de séries temporais de índice de vegetação realçado (EVI) do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (Modis) do período de 2000-2011. As séries temporais foram processadas no programa Timesat para extrair as seguintes métricas fenológicas: início, fim, amplitude e comprimento do período de crescimento vegetativo; taxas de aumento (rebrotas) e diminuição (senescência), respectivamente, no início e no fim do período de crescimento vegetativo (derivadas da esquerda e da direita); e integrais maior (produtividade total) e menor (produtividade sazonal). Posteriormente, realizaram-se as tabulações cruzadas entre as métricas fenológicas obtidas das seguintes classes de cobertura vegetal natural e antrópica da área de estudo: formação campestre, formação savânica, formação florestal e agropecuária (culturas agrícolas de sequeiro e pastagens cultivadas). Resultados desse estudo permitiram evidenciar as adaptações vegetativas relacionadas à periodicidade da vegetação no Oeste da Bahia. Observou-se grande heterogeneidade na representação das métricas fenológicas, pois a vegetação do Cerrado apresenta elevada diversidade em termos de estrutura (composto por um mosaico de formações campestre, savânica e florestal), além de apresentar forte influência da sazonalidade climática. Essas características refletem-se em acentuadas diferenças em termos de índice de área foliar, densidade e distribuição espacial de indivíduos e teor de água nas folhas, entre outros parâmetros. Portanto, os distintos padrões das métricas encontrados nesse estudo estão relacionados às características naturais e adaptativas ao ambiente de cada fitofisionomia presente na área de estudo. No caso da classe denominada agropecuária, as métricas

também apresentaram elevada heterogeneidade, por causa da diversidade em termos de tipo de cultura (por exemplo, soja, milho, algodão e milheto) e do manejo de solos e planta (por exemplo, plantio direto e plantio convencional).

Palavras chaves: Sazonalidade, Índice de Vegetação, Métricas Fenológicas, Cerrado.

ABSTRACT

This study aimed to characterize the vegetation cover phenology in the western Bahia State, Brazil, through phenology metrics derived from time series of enhanced vegetation index (EVI) calculated from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (Modis) sensor data from 2000 to 2011. The time series were processed in the Timesat code to extract the following phenology metrics: start, end, amplitude and length of the growing period; rate of increase and decrease at the beginning and the end of the growing period, respectively (left and right derivatives); and large and small growing period integrals. Cross-tabulations between phenology metrics of following land use and land cover classes were performed: grasslands, shrublands, forestlands and agriculture (rainfed croplands and cultivated pasturelands). Results of this study allowed to highlight the vegetation adaptations related to vegetation periodicity in western Bahia. It was detected great heterogeneity in the representation of phenology metrics since Cerrado vegetation presents high diversity in terms of structure (composed by a mosaic of grasslands, shrublands and forestlands), besides presenting strong influence of climatic seasonality. Such characteristics reflect themselves in strong differences in terms of leaf area index, plant density and spatial distribution and leaf water content, among other parameters. Therefore, the distinct patterns of metrics found in this study are related to natural and adaptive characteristics to the environment of each phytophysiology present in the study area. In the case of agriculture, the metrics also presented high heterogeneity due to the diversity in terms of crop variety (e.g., soybean, maize, cotton and millet) and crop and soil managements (e.g., conventional and no-till planting).

Keywords: Seasonality, Vegetation Index, Phenology Metrics, Cerrado.

1. INTRODUÇÃO

As fitofisionomias caracterizadas pela elevada influência da sazonalidade climática, como é o caso do Oeste da Bahia, podem ser estudadas por meio de ciclos fenológicos (MORELLATO, 1991, 1995). De acordo com Talora e Morellato (2000), a fenologia pode ser definida como o estudo da ocorrência (e suas causas) de eventos biológicos repetitivos, relacionados com fatores bióticos e abióticos. As variações sazonais da vegetação estão associadas principalmente à diversidade de espécies, precipitação, temperatura, iluminação solar e umidade do solo, isto é, às características relacionadas às fitofisionomias e ao ambiente. Elas podem estar ainda relacionadas com processos endógenos das plantas e pressões seletivas bióticas (TALORA e MORELLATO, 2000), os quais podem influenciar na periodicidade das fenofases, tais como floração, frutificação, senescência e brotamento foliar. Tais características podem ser refletidas nas métricas fenológicas.

Trabalhos de fenologia de vegetação realizados de forma controlada e *in loco* (método direto) têm revelado resultados relevantes, capazes de identificar nuances no comportamento

fenológico de uma ou de várias espécies. Porém, são dispendiosos, morosos e geralmente são pontuais. Diversos estudos têm utilizado dados de sensoriamento remoto para caracterizar distintos aspectos fenológicos em diferentes regiões. Por exemplo, Lee et al. (2002) utilizaram dados quinzenais de índice de vegetação normalizado pela diferença (NDVI) derivados do sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) do período 1982-1990 para determinar o início do verdejamento (*green-up* em inglês) das estepes da Mongólia Interior. Zhang et al. (2003) utilizaram dados do índice de vegetação realçado (EVI) do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (Modis) (junho/2000 a maio/2001) do nordeste dos Estados Unidos para analisar a dinâmica interanual da vegetação. Esses últimos autores demonstraram que as estimativas referentes ao início do verdejamento, início da maturidade e início da dormência da vegetação foram consistentes, do ponto de vista geográfico e ecológico, com o comportamento fenológico conhecido da vegetação local.

Para a vegetação do bioma Cerrado, embora apresente acentuada interferência da sazonalidade climática (BECERRA et al., 2009), a grande maioria dos estudos de discriminação de

fitofisionomias e suas alterações antrópicas tem sido realizada a partir de imagens de satélites envolvendo apenas uma cena por órbita/ponto e por ano, o que pode implicar em dificuldades na discriminação da cobertura vegetal devido ao referido comportamento sazonal. Por exemplo, Menke et al. (2009) utilizaram imagens dos satélites Landsat *Enhanced Thematic Mapper* (ETM+) e *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS) *Panchromatic Remote Sensing Instrument for Stereo Mapping* (PRISM) do município de Luís Eduardo Magalhães para gerar nove mapas de uso e cobertura de terras no período de 1987 a 2008. De forma similar, Sano et al. (2011) utilizaram imagens do satélite Landsat para gerar sete mapas de uso de terras da mesorregião do Extremo Oeste da Bahia do período de 1975 a 2005. Os dois trabalhos objetivaram analisar a evolução temporal da expansão da agricultura no Oeste da Bahia.

A análise de imagens orbitais obtidas com pouca variação temporal para discriminar fitofisionomias e tipos de uso implica em conhecer as fenofases de cada classe da cobertura vegetal para não selecionar cenas com datas de passagem inapropriadas ou para se certificar em qual fase a vegetação se encontrava na data de aquisição da cena. Épocas mais propícias para diferenciar tipos de vegetação ou para extrair informações biofísicas, a partir de dados de sensoriamento remoto, dependem das características temporais de cada fenofase, pois a grande maioria das espécies vegetais possui ciclos fenológicos específicos (JENSEN, 2009).

Atualmente, já existem sensores imageadores que disponibilizam séries temporais de imagens com mais de 10 anos de histórico de aquisição. Esse é o caso do Modis, lançado a bordo das plataformas Terra e Aqua em 1999 e 2002, respectivamente. Este sensor obtém imagens da superfície terrestre a cada 1-2 dias, com resolução espacial de 250 a 1.000 m (JUSTICE et al., 2002; SOARES et al., 2007). Um dos principais produtos derivados do Modis é o EVI (HUETE et al., 2002).

Por meio de séries temporais, é possível extrair membros de referência (assinaturas temporais) característicos de determinadas fitofisionomias ou culturas agrícolas. Santana et al. (2010) utilizaram uma sequência de imagens do Modis NDVI de janeiro de 2000

a dezembro de 2008 da bacia do rio Paracatu (Distrito Federal, Goiás e Minas Gerais) para obter espectros temporais representativos das seguintes classes de cobertura vegetal: área de plantio, floresta de galeria, Cerrado, pastagem, área urbana e floresta estacional semidecidual. Silva et al. (2010) utilizaram 46 cenas do sensor Terra Modis de outubro de 2000 a outubro de 2002 para gerar séries temporais das seguintes classes de cobertura vegetal natural e antrópica do Cerrado matogrossense: Cerradão, Cerrado Denso, Campo Limpo, Campo Sujo, pastagens cultivadas e culturas agrícolas. Couto Jr. et al. (2013) utilizaram séries temporais de reflectância de oito dias do sensor Modis (MOD09) (período de 2000 a 2011) para caracterizar a fenologia da cultura de algodão no município de Luís Eduardo Magalhães/BA.

Alguns parâmetros biofísicos da vegetação podem ser estimados a partir dessas séries temporais, como a produtividade primária bruta (SILVA et al., 2013) e métricas fenológicas como senescência, produtividade total e sazonal, valores de mínimo e máximo de índice de vegetação, comprimento, amplitude, início, meio e fim de cada ciclo fenológico durante a série temporal analisada (EKLUNDH e JÖNSSON, 2012).

Uma das regiões do Cerrado que se destaca pela necessidade de estudos fenológicos mais aprofundados é o Oeste da Bahia. Essa região constitui-se em uma área de transição, cujo gradiente climático (temperatura, fotoperíodo, evapotranspiração), padrões de relevo (altitude e formas) e tipos de solos (predominância de solos arenosos e pobres, muito suscetíveis aos processos erosivos) influenciam diretamente na composição de mosaicos paisagísticos que determinam as tipologias das unidades ambientais existentes, bem como na organização e na produção do espaço geográfico (BRASIL, 1982, 2003; SILVA, et al., 2008).

De acordo com Sano et al. (2011), nessa região há uma extensa produção de grãos (notadamente, soja, milho e algodão) nas áreas com topografia plana (chapadas), além de pastagens cultivadas para criação de gado bovino, principalmente na porção mais a leste da região. Segundo Menke et al. (2009), a conjunção de solos propícios à mecanização e à existência de água disponível tanto para

plântio de sequeiro como para plântio irrigado estabelecem condições ideais para produção de *commodities* agrícolas voltadas para exportação. Essa rápida e intensa expansão agrícola é feita, segundo Cunha et al. (2001), em solos de textura arenosa e média, bem drenados e com baixa capacidade de troca catiônica (CTC). Tais fatores edáficos são bastante propícios para gerar problemas ambientais como erosão de solos e contaminação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Esta pesquisa objetivou caracterizar a fenologia da cobertura vegetal do Oeste da Bahia por meio de métricas fenológicas derivadas de séries temporais de EVI da plataforma Terra Modis, do período de 2000-2011. A premissa utilizada nesse estudo é a de que métricas fenológicas, extraídas de séries temporais de EVI, permitem a identificação e a análise das fenofases e, portanto, subsidiam a caracterização fenológica das diferentes classes de cobertura vegetal natural e antrópica, representativas da área de estudo, além de subsidiar ações de conciliação entre produção agrícola e preservação ambiental.

Esse trabalho está estruturado da seguinte forma: na seção de Introdução, são apresentados o conceito de fenologia da vegetação e as métricas fenológicas que podem ser extraídas das séries temporais de índice de vegetação. Posteriormente, os materiais e os procedimentos metodológicos adotados são apresentados. Finalmente, foram analisadas as métricas extraídas de séries temporais de EVI para caracterizar o comportamento fenológico das classes de cobertura de terras (natural e antrópica) representativas do Oeste da Bahia.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo, delimitada aproximadamente entre as coordenadas 10,05° e 15,30° de latitude sul e entre 43,25° e 46,70° de longitude oeste, corresponde à mesorregião do Extremo Oeste da Bahia, a qual ocupa uma área de aproximadamente 117 mil km² e é composta por três microrregiões (Barreiras, Cotegipe e Santa Maria da Vitória) e 24 municípios (Fig. 1). O índice pluviométrico anual da área de estudo varia entre 630 a 1.602 mm. De um modo geral, o regime de chuvas é superior a 1.000 mm na porção ocidental da área de estudo e inferior a

1.000 mm na porção oriental da área de estudo.

Esta região, inserida no bioma Cerrado, é caracterizada pela sazonalidade climática bem definida: inverno seco e verão chuvoso (AB'SABER, 2003) e tipologia climática tropical continental, o que corresponde, na classificação de Köppen (1948), ao clima tropical de savana com chuvas de verão (Aw). O Oeste da Bahia é caracterizado ainda por um mosaico de vegetação com formações campestres, savânicas e florestais. De acordo com a proposta de sistema de classificação da vegetação do bioma Cerrado do Ribeiro e Walter (2008), as formações campestres são compostas por fitofisionomias denominadas Campo Limpo, Campo Sujo e Campo Rupestre; as formações savânicas por fitofisionomias denominadas Cerrado Ralo, Cerrado Típico, Cerrado Denso, Cerrado Rupestre, Vereda, Parque de Cerrado e Palmeiral; e as formações florestais por Cerradão, Mata Seca, Mata Ciliar e Mata de Galeria.

Além das fitofisionomias diversificadas, o Oeste da Bahia é marcado pela intensa atividade agrícola e por pastagens cultivadas. Segundo Brannstrom et al. (2008), as atividades agropecuárias ocupavam 11% do Oeste da Bahia em 1986, enquanto que, em 2002, essa porcentagem aumentou para 44%. No estudo conduzido por Sano et al. (2011), a área plantada com culturas agrícolas passou de 225 mil hectares em 1985 para mais de 1,8 milhões de hectares em 2005 (um acréscimo de 352% no referido período).

Os dados básicos de sensoriamento remoto utilizados nesta pesquisa foram as séries temporais de EVI, *tile h13v10*, do produto MOD13Q1 (resolução espacial = 250 m; resolução temporal = 16 dias). O período considerado foi a série temporal de 12 anos (2000-2011), totalizando 276 imagens. O EVI foi desenvolvido como alternativa para minimizar algumas limitações existentes em outros índices de vegetação como o NDVI, referentes à saturação do índice em regiões com altos valores de biomassa como é o caso das florestas tropicais e à interferência das diferentes condições atmosféricas durante a aquisição das imagens (JUSTICE et al., 1998; HUETE et al., 2002). Gao et al. (2000) e Huete et al. (2002) afirmaram ainda que, enquanto o NDVI é mais sensível às variações nas atividades fotossintéticas da

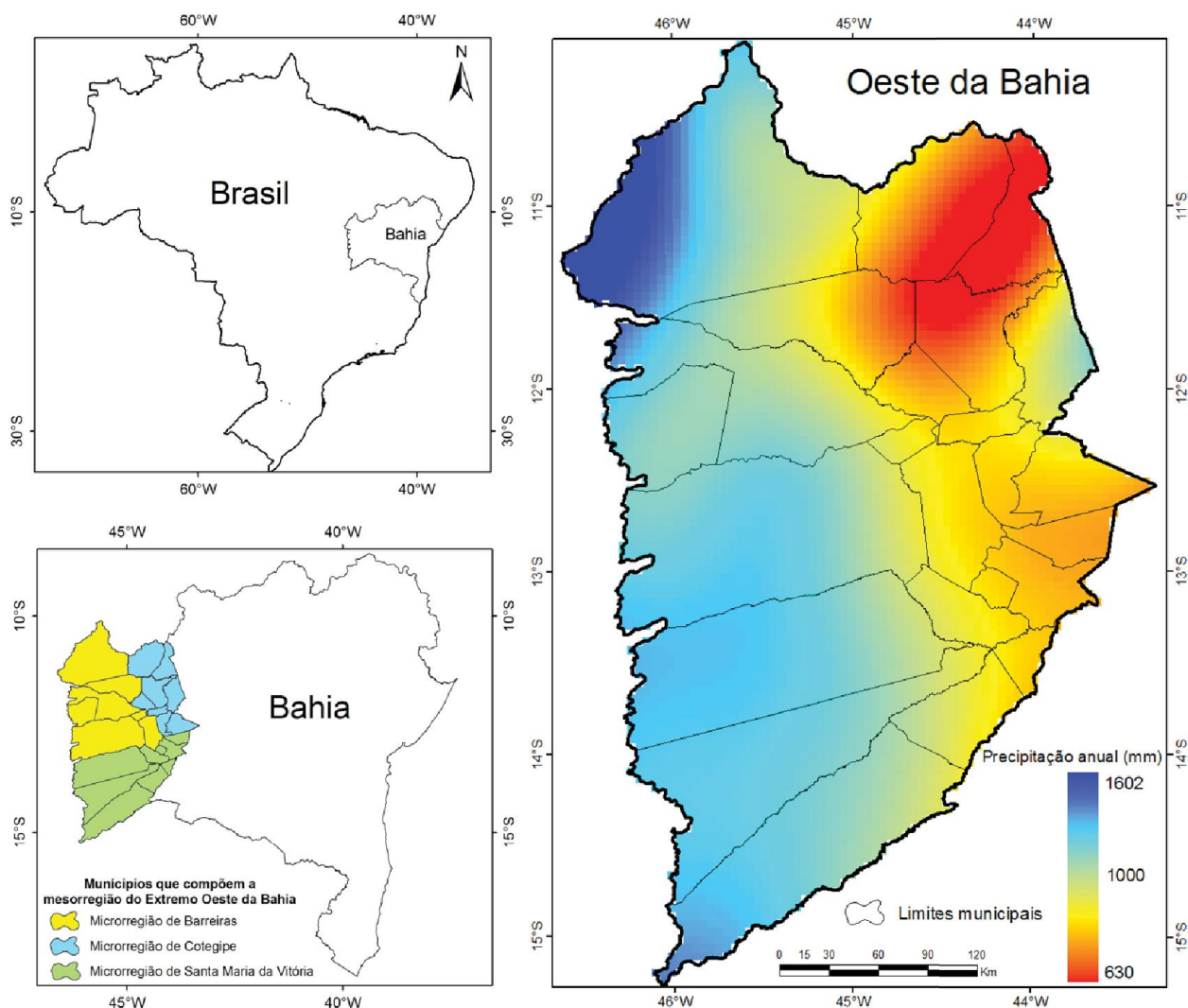


Fig. 1 - Mapa de localização do Oeste da Bahia, com destaque para o mapa do índice pluviométrico médio anual da região. Fonte: elaborado com base na SEI (1999).

vegetação, o EVI é mais sensível às variações na estrutura do dossel (variações nos índices de área foliar, fisionomia das plantas e arquitetura do dossel). A equação do EVI é dada por (HUETE et al., 2002):

$$EVI = 2,5 \frac{\rho_{IVP} - \rho_{VM}}{\rho_{IVP} + 6 \rho_{VM} - 7,5 \rho_{AZ} + 1} \quad (1)$$

onde ρ_{AZ} = reflectância na banda espectral do azul (Modis banda 3); ρ_{VM} = reflectância na banda espectral do vermelho (Modis banda 1); e ρ_{IVP} = reflectância na banda espectral do infravermelho próximo (Modis banda 2).

As séries temporais foram inicialmente processadas no programa computacional Timesat, o qual permite a filtragem dos dados para a remoção dos ruídos por meio de três filtros de suavização: filtro adaptativo e passa-baixa Savitzky-Golay, Gaussiano assimétrico e logística dupla (JÖNSSON e EKLUNDH, 2002, 2004). Os dois últimos filtros efetuam

ajustes pelo método ordinário dos mínimos quadrados. O Timesat corresponde a um programa computacional de domínio público, desenvolvido por meio de linguagens de programação MATLAB e FORTRAN 2003, é dedicado principalmente à análise de séries temporais de índices de vegetação e permite extrair informações sazonais (fenológicas) dessas séries temporais.

O desempenho dos três filtros de suavização foram testados estatisticamente para as séries temporais do Modis EVI do Oeste da Bahia por Borges et al. (2014) e a logística dupla foi o que apresentou melhor desempenho. Assim sendo, as métricas fenológicas consideradas nesse estudo foram derivadas a partir de séries temporais suavizadas pelo referido filtro. O filtro logística dupla corresponde a uma função polinomial e harmônica, é mais flexível em relação aos outros dois filtros implementados no Timesat e suaviza

séries temporais anuais em função do tempo por meio da seguinte equação (Eq. 2):

$$g(t; a_1 \dots a_4) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{a_1 - t}{a_4}\right)} - \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{a_3 - t}{a_4}\right)} \quad (2)$$

onde a_1 e a_3 determinam as posições dos pontos de inflexão à direita e à esquerda da curva, respectivamente; a_2 e a_4 determinam a magnitude de mudança à direita e à esquerda dos pontos de inflexão, respectivamente; e $t =$ tempo.

O comportamento fenológico da vegetação está relacionado aos efeitos da sazonalidade, principalmente aos efeitos da precipitação, temperatura e fotoperíodo (comprimento do dia, isto é, números de horas de radiação solar). Para o programa Timesat, cada estação corresponde a um ciclo completo de crescimento da vegetação, ou seja, um ciclo fenológico (EKLUNDH e JÖNSSON, 2012). Desta forma, as métricas representam as características da vegetação dentro do seu ciclo fenológico (fenofases), correspondem a parâmetros adimensionais de saída e podem ser calculadas, por exemplo, com base na curva espectro-temporal de EVI.

A Fig. 2 mostra a série temporal de EVI (com e sem suavização pelo filtro logística dupla) da fitofisionomia Cerrado ralo presente na área de estudo, com indicação de 11 ciclos fenológicos. O início e o fim de cada ciclo completo da vegetação são estabelecidos pelo usuário e constituem-se nos parâmetros de entrada do Timesat para gerar as métricas fenológicas relacionadas a cada ciclo. Apesar de se ter uma série temporal de doze anos, derivaram-se as métricas de onze ciclos fenológicos completos. As duas frações incompletas de ciclos no início e no fim das séries temporais são consideradas apenas para definição do início e fim dos ciclos (EKLUNDH e JÖNSSON, 2012).

As seguintes métricas foram calculadas para cada ciclo: início, fim, amplitude e comprimento do período de crescimento vegetativo; taxas de aumento (rebrotas) e diminuição (senescência), respectivamente, no início e no fim do período de crescimento vegetativo (derivadas da esquerda e da direita); e integrais maior (produtividade total) e menor (produtividade sazonal). De acordo com Eklundh e Jönsson (2012) e Alcântara et al. (2012), o início do período de crescimento corresponde à semana do ano em que o eixo à esquerda da função de ajuste aumenta em 20% da

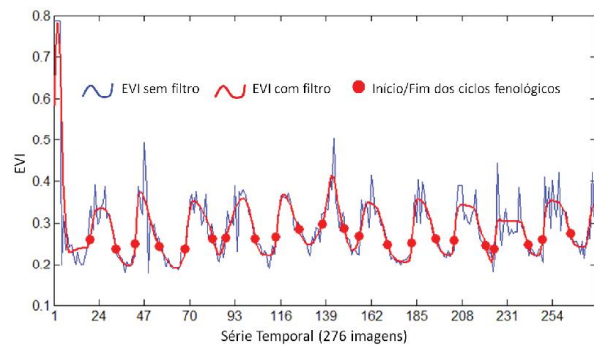


Fig. 2 - Curva espectro-temporal de EVI (com filtro e sem filtro) típica de Cerrado ralo do município de São Desidério, Bahia, com indicação de início e fim dos ciclos fenológicos (círculos em vermelho). Apesar da série temporal corresponder a 12 anos, é possível de se obter somente 11 ciclos fenológicos completos, pois as frações de ciclo no início e fim da série temporal são utilizados apenas para determinar o início e o fim do ciclo fenológico.

amplitude total do período de crescimento (Fig. 3). O fim do período de crescimento corresponde à semana do ano em que o eixo à direita da função de ajuste diminui em 20% da amplitude do período de crescimento.

Amplitude do período de crescimento é a diferença entre o nível de base (média dos valores mínimos de EVI antes do início e depois do final do período de crescimento) e o EVI máximo. Comprimento é dado pelo tempo, em semanas, entre o início e o fim do período de crescimento. Derivada à esquerda é dada pela razão da diferença entre 80% e 20% da amplitude total do período de crescimento e correspondente diferença em semanas [unidade em valores de EVI/tempo (semanas)]. Derivada à direita é dada pela razão da diferença entre 80% e 20% da amplitude total do período de senescência e correspondente diferença em semanas [unidade em valores de EVI/tempo (semanas)]. A integral maior do período de crescimento corresponde à área sob a curva de função de ajuste relativa ao início e ao final do período de crescimento. Finalmente, a integral menor do período de crescimento corresponde à área sob a curva de função de ajuste relativa ao início e ao fim do período de crescimento a partir do nível de base do período de crescimento.

A partir das séries temporais filtradas pelo algoritmo de logística dupla, identificaram-

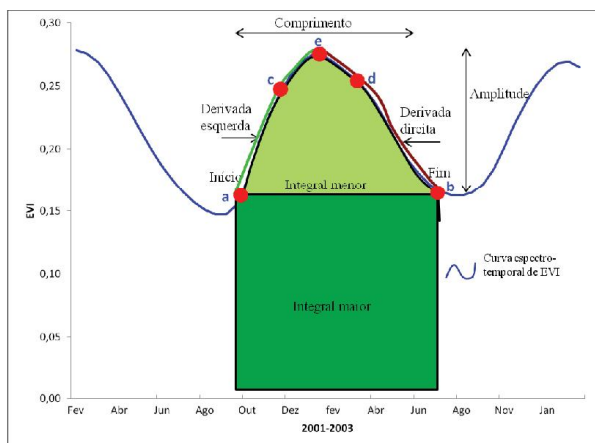


Fig. 3 - Demonstração da extração das métricas fenológicas a partir da curva espectro-temporal de EVI correspondente ao Cerrado ralo, localizada no município de Barreiras, no período de 2001-2003. Pontos (a) e (b) indicam, respectivamente, o início e o fim do período de crescimento vegetativo e são definidos pelo usuário. Pontos (c) e (d) correspondem a 80% da variação entre o valor máximo de EVI e o início e o fim do período, respectivamente. Ponto (e) indica o valor máximo de EVI.

se o início e o fim do período de crescimento vegetativo (EKLUNDH e JÖNSSON, 2012) em cinco áreas diferentes e bem distribuídas na região Oeste da Bahia. Em seguida, obtiveram-se as métricas fenológicas referentes aos onze ciclos identificados e calcularam-se as médias das mesmas, objetivando caracterizar a fenologia da cobertura vegetal (natural e antrópica) da área de estudo. As diferentes fitofisionomias do Cerrado foram agrupadas nas suas correspondentes formações vegetais. Assinaturas temporais de EVI representativas das classes de cobertura vegetal selecionadas para esse estudo são mostradas, a título de ilustração, na Fig. 4, sendo elas: formação campestre; formação savânica; formação florestal; e agropecuária (culturas agrícolas e pastagens cultivadas). Essas assinaturas temporais podem ser obtidas a partir de séries temporais suavizadas para efeitos de geometria de imageamento e cobertura de nuvens, conforme detalhadas por Borges e Sano (2014).

As classes de cobertura vegetal foram selecionadas com suporte no mapa de cobertura vegetal natural e antrópica da área de estudo (Fig. 5), produzido a partir dessa mesma série temporal de EVI do sensor Modis, processada

por meio de técnica de transformação por *Minimum Noise Fraction* (MNF) e classificada pelo algoritmo *Spectral Angle Mapper* (SAM). O MNF foi proposto por Green *et al.* (1988) e modificado por Boardman e Kruse (1994) e corresponde a uma técnica de processamento digital de imagens que reduz a dimensionalidade dos dados e elimina informações com variâncias menores, o que minimiza ruídos sem degradar o sinal. Além disso, o MNF leva em consideração os padrões espaciais repetitivos na série temporal para filtrar os dados. Desta forma, a aplicação desta técnica em séries temporais elimina a sobreposição das informações dos pixels em imagens de diferentes datas.

Após a transformação MNF, foi aplicada a MNF inversa que re-escala as informações concentradas nas primeiras frações selecionadas para o total de imagens utilizadas (BAPTISTA, 2012). Foram utilizadas as 50 primeiras frações resultantes da MNF para gerar a transformação da MNF inversa. Esse conjunto de frações foi classificado com base no algoritmo SAM e em membros de referência (séries temporais representativas das classes de uso e cobertura de terras consideradas) obtidos com base em inspeção de campo realizado em maio de 2012. O algoritmo SAM determina a similaridade espectral entre dois espectros a partir do cálculo do ângulo formado por esses dois espectros em uma dimensão igual ao número de bandas ou frações, no caso desse estudo (KRUSE *et al.*, 1993; SOUTH *et al.*, 2004). O referido mapa foi produzido por Borges e Sano (2014) e validado pelo mesmo autor por meio da estatística Kappa, cujo resultado foi considerado “muito bom”, de acordo com a classificação de qualidade deste índice, proposto por Landis e Koch (1977) (coeficiente de concordância Kappa = 0,8).

As classes agropecuária e formação campestre foram as que apresentaram, respectivamente, as maiores e as menores variações de valores de EVI. A formação florestal, composta basicamente pelas classes de Floresta estacional (decidual e semidecidual) e Cerradão, também apresentou destacada variação nos valores de EVI. Durante a estação seca, as florestas estacionais decíduais, geralmente localizadas em formações calcárias de elevada permeabilidade, perdem quase que completamente as suas folhas, voltando a rebrotar assim que começa a estação

chuvosa. A formação savânica foi a classe que apresentou as menores variações de EVI ao longo da série temporal.

Como as métricas fenológicas correspondem a dados de natureza contínua, elas foram fatiadas em intervalos de classes, utilizando-se o método de quebras naturais (JENKS, 1967; VALLADARES et al., 2012), que permite estabelecer os intervalos de modo a minimizar a variância intraclasse, isto é, os grupos tendem a apresentar, internamente, estimativas semelhantes de probabilidades. Definiram-se quatro classes para cada métrica fenológica, visando relacionar os intervalos estabelecidos às classes de vegetação natural e antrópica. Para tanto, realizaram-se as tabulações cruzadas entre o mapa de cobertura vegetal e as métricas fenológicas. Nesse procedimento, as variáveis foram tabuladas simultaneamente, sendo as classes de uma variável (mapa de cobertura vegetal) cruzadas com a outra variável (métrica fenológica), possibilitando observar como elas variavam entre si.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 5 mostra o mapa de cobertura vegetal natural e antrópica do Oeste da Bahia, derivado da série temporal do Modis EVI, enquanto a Fig. 6 mostra o comportamento médio das métricas fenológicas dos onze ciclos completos das variações anuais da vegetação, compreendidos entre os períodos de 2000-2011. Com exceção das métricas comprimento

e integral maior (produtividade total), todas as outras apresentaram padrão espacial concordante com o mapa de cobertura vegetal da Fig. 5. Assim, pode-se dizer que a classe agropecuária, que ocupa predominantemente a porção oeste da área de estudo, apresentou valores mais altos de senescência e de rebrota. Entretanto, em termos de produtividade (total e sazonal), os valores mais altos foram encontrados na formação florestal (predominantemente na porção leste da área de estudo). As formações savânica e campestre, que ocupam preferencialmente a porção central da região em questão, apresentaram valores intermediários de métricas relacionadas com produtividade e senescência.

Esse padrão de distribuição espacial das métricas fenológicas mostrado na Fig. 6 é decorrente da própria característica estrutural da vegetação do Cerrado, composto, segundo Coutinho (1990) e Ribeiro e Walter (2008), por um mosaico de formações campestre, savânica e florestal. Portanto, as distintas fitofisionomias que ocorrem em diferentes locais da área de estudo imprimem diferenças em relação ao índice de área foliar, densidade de indivíduos, teor de água, densidade dos dosséis, entre outros parâmetros.

As imagens apresentadas na Fig. 6 sintetizam as curvas espectro-temporais de EVI da área de estudo, as quais apresentam variabilidades inter e intra-anuais distintas, dependendo da classe de cobertura vegetal (natural e antrópica). Segundo Santana et al.

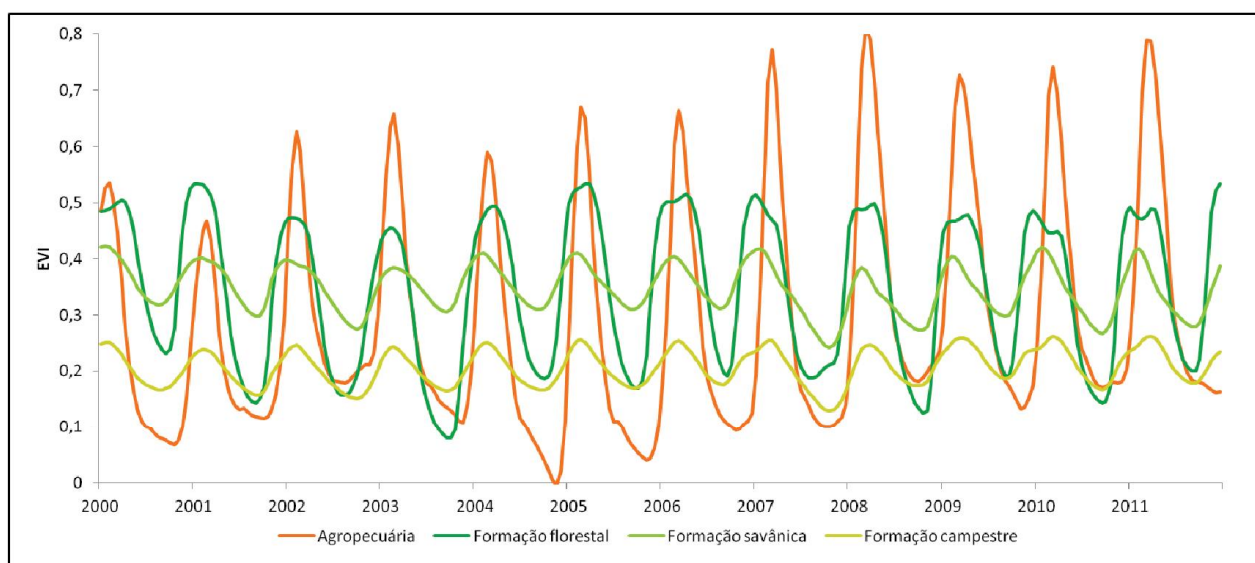


Fig. 4 - Assinaturas temporais de EVI representativas das classes consideradas na análise das métricas fenológicas no Oeste da Bahia (formações campestre, savânica, florestal e agropecuária).

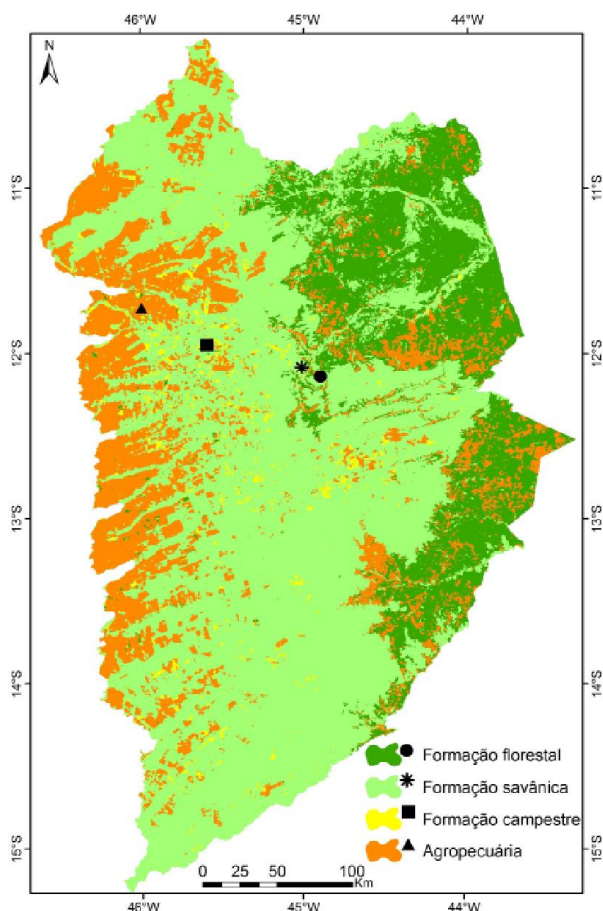


Fig. 5 - Mapa de cobertura vegetal natural e antrópica do Oeste da Bahia, derivado a partir de séries temporais de EVI do sensor Modis. Índice Kappa de validação do mapeamento = 0,80. Os quatro pontos indicados no mapa correspondem aos pontos utilizados para extração das assinaturas temporais da Fig. 4. Fonte: Borges (2014).

(2010), a cobertura natural geralmente possui uma maior complexidade em termos de mudanças fenológicas por causa da alta diversidade de espécies vegetais, o que contrapõe com a uniformidade das monoculturas que apresentam períodos definidos de ciclos de crescimento vegetativo intercalados com períodos de pousio (solo exposto ou coberto com palhada seca).

Os resultados das métricas fenológicas da área de estudo apontaram forte interferência dos efeitos da sazonalidade da precipitação na dinâmica espacial das principais classes de cobertura vegetal e uso do solo. Todavia, deve-se considerar que a precipitação total anual não caracteriza a sazonalidade, mas a forma como as chuvas são distribuídas ao longo do ano, isto é, o regime pluviométrico, estando as métricas fenológicas diretamente

associadas a tal distribuição. A compreensão dos ciclos fenológicos da vegetação no Oeste da Bahia perpassa pela análise das características fenológicas da vegetação de Cerrado, conforme ressaltado por Becerra et al. (2009) que afirmaram que a mesma passa por etapa de produção de novas folhas e aceleração dos processos metabólicos na estação chuvosa. Tal alternância é comandada pela disponibilidade hídrica.

As Fig. 7a a 7h correspondem ao resultado da representatividade das métricas fenológicas das classes de cobertura vegetal consideradas nesse estudo. As métricas fenológicas estão relacionadas às características naturais de cada tipo de vegetação, o que remete às características climáticas (temperatura, índice e regime pluviométricos) e, no caso da classe de cobertura vegetal antrópica, as métricas referem-se ao tipo de cultivo e manejo utilizados. Para a métrica de amplitude, os valores mais elevados estão associados à classe de cultura agrícola, pois são cultivos que utilizam técnicas modernas e controladas, inerentes à agricultura de precisão, que proporcionam às curvas de EVI alcançar valores superiores aos das classes de vegetação natural analisadas neste estudo.

A taxa de rebrota da classe de cultura agrícola, por exemplo, é mais elevada em função dos insumos e melhoramentos genéticos dos cultivares utilizados do que devido às características naturais da planta. A taxa de senescência da classe agropecuária é bastante elevada (Fig. 7h), pois as culturas agrícolas predominantes na área de estudo são anuais, portanto, maturam em um intervalo de tempo muito curto, o que implica no acréscimo acentuado da senescência nestas áreas agrícolas. Outro aspecto importante é o fato da colheita da produção deixar o solo exposto por um período relativamente longo. Outra razão que favorece o aumento da amplitude para a classe agropecuária é o fato dela alcançar, no caso de culturas agrícolas temporárias, valores muito baixos de EVI após a colheita, restando o solo exposto ou solo coberto com palhadas (restos de cultura). No caso de pastagens cultivadas, a vegetação fica seca praticamente na sua totalidade durante os seis meses de estação seca. Desta forma, pode se afirmar que, para a classe antrópica, o comportamento referente aos dados de amplitude está relacionado à prática de agricultura de

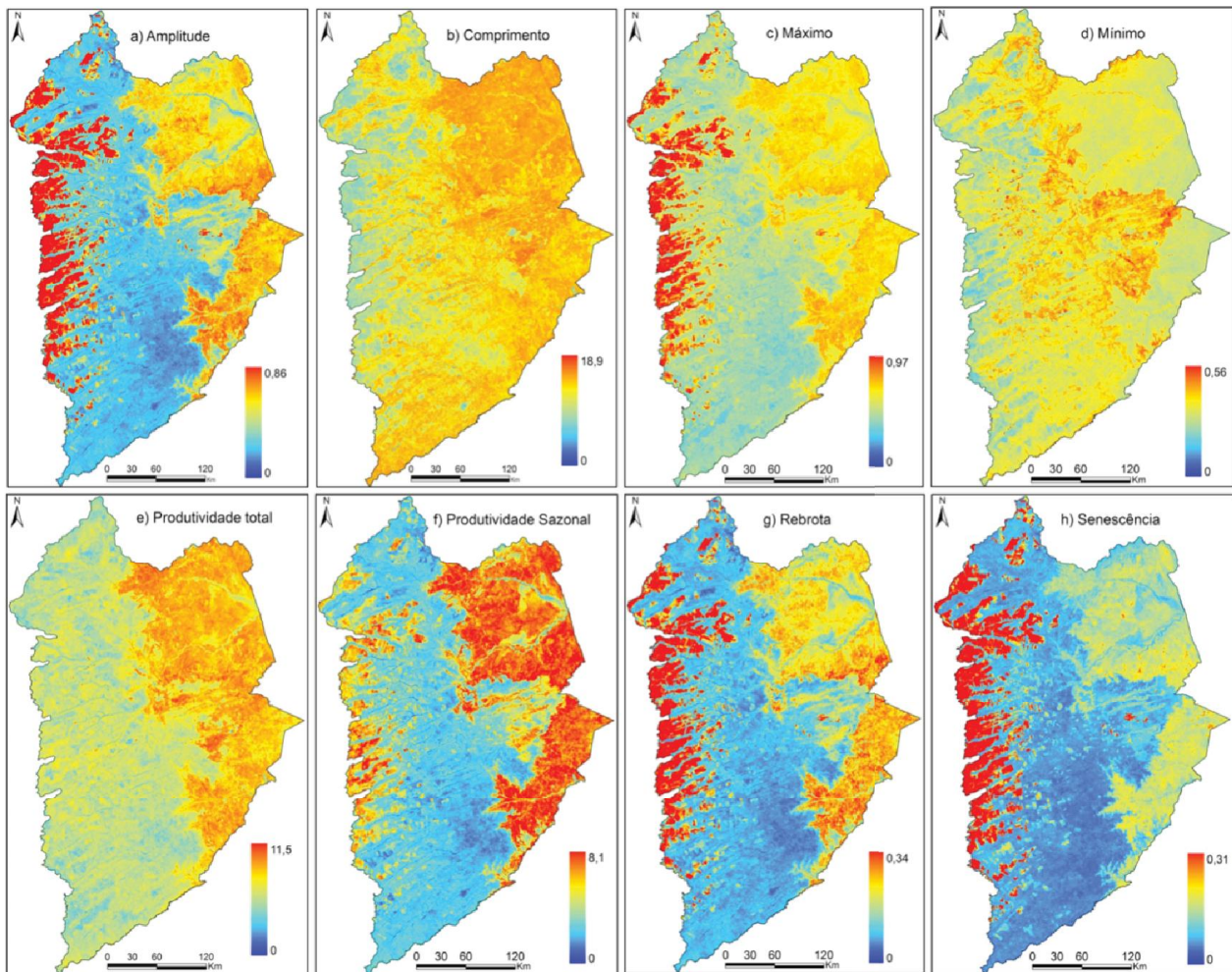


Fig. 6 - Métricas fenológicas do Oeste da Bahia extraídas da série temporal de EVI do período de 2000-2011.

sequeiro predominante na área de estudo, bem como às técnicas de manejo empregadas ou à intensa variação sazonal da biomassa (verde ou seca) das pastagens cultivadas.

Para as classes da cobertura vegetal analisadas, a formação florestal é a que apresentou amplitude mais elevada, devido às características de decidualidade e semidecidualidade, as quais empreendem valores de EVI baixos no período de seca e altos no período chuvoso. Todavia, em termos comparativos, este tipo de vegetação assume valores de amplitude intermediários, pois não supera os encontrados na classe antrópica, mas são bem mais expressivos do que os da formação savânica. As formações campestre e savânica apresentaram os menores valores de amplitude, o que significa que a variabilidade da produtividade foi menos acentuada para essas classes. Tais características estão intrinsecamente relacionadas aos fatores biológicos destas fitofisionomias de Cerrado, como adaptação à seca (perda parcial das folhas na estação seca)

e aos fatores físicos da paisagem, tais como o índice pluviométrico, relevo e solo, o que torna essas formações vegetais mais adaptadas às características do ambiente.

As áreas cujo ciclo fenológico apresentou maior comprimento, isto é, maior duração do ciclo, correspondem a formação florestal, vindo, a seguir, as fitofisionomias associadas à formação savânica. Tal fato deve-se à maior capacidade adaptativa destas fitofisionomias às características da sazonalidade climática e fatores biofísicos da paisagem. A formação savânica, por exemplo, inicia o período de rebrotas antes mesmo do período chuvoso, em contrapartida a formação florestal rebrotas quando começa a chover, porque está inserida em solos mais ricos em nutrientes.

Os menores valores encontrados na métrica fenológica de comprimento correspondem à classe agropecuária. As culturas agrícolas, predominantes nesta classe generalizada, são controladas por técnicas de cultivos modernas

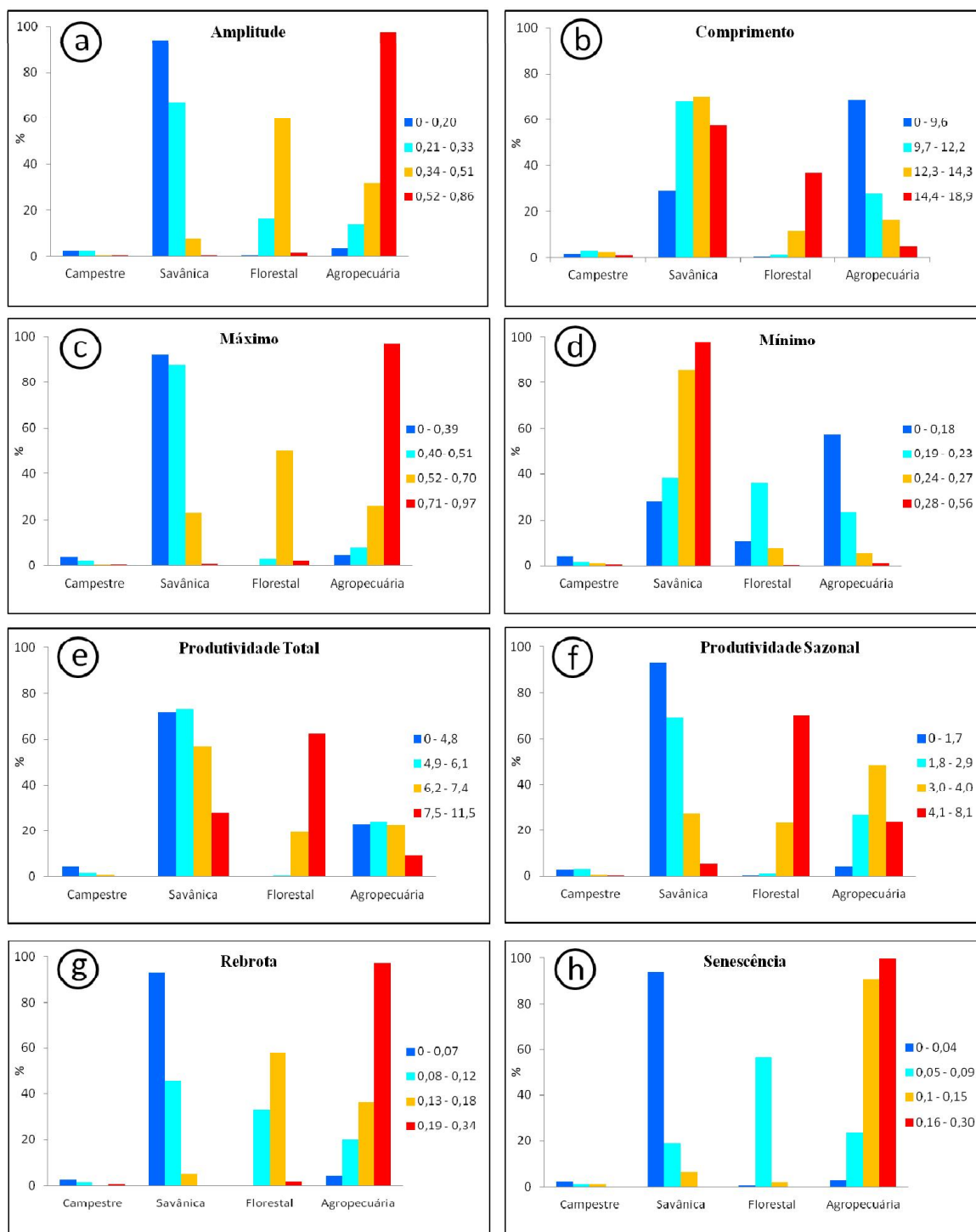


Fig. 7 – Dados da tabulação cruzada (em %) entre as métricas fenológicas e o mapa uso do solo e cobertura vegetal.

e por insumos agrícolas, apresentando, desta forma, ciclos relativamente mais curtos. O aumento da intensidade do uso do solo no Oeste da Bahia tem provocado redução dos valores da métrica de comprimento, devido à inserção de cultivares com ciclos cada vez mais curtos (CRUZ et al., 2010). Notadamente para a métrica de máximo EVI, os valores mais elevados foram alcançados pela agropecuária, conforme era esperado. Salienta-se que a borda ocidental da

área de estudo, onde tal classe é predominante, corresponde às áreas de maior precipitação da região. Os valores medianos para esta métrica foram encontrados nas áreas de formação florestal e os valores mais baixos são encontrados nas formações savânica e campestre.

A métrica de mínimo EVI apresentou os valores mais baixos para a classe agropecuária, pois a maioria destas áreas fica com solos expostos ou cobertos por restos de palhada seca

durante boa parte do ano, conforme ressaltado anteriormente. Algumas áreas de cultivo agrícola não apresentaram valores referentes à métrica mínimo ainda menores porque as técnicas de plantio direto e de forrageiras (plantas de cobertura verde como sorgo e milho logo após a colheita de grãos) nestas áreas têm sido muito empregadas (SANO et al., 2011). Os valores intermediários relacionados à métrica de mínimo foram encontrados para a formação florestal (decidual e semidecidual). A métrica referente aos valores de mínimo de EVI durante os ciclos fenológicos analisados, apresentou resultados mais elevados nas áreas correspondentes à formação savânica, uma vez que esta, mesmo durante a seca, realiza atividade fotossintética, pois algumas das espécies que integram estas fitofisionomias não perdem totalmente as folhas e outras estão sempre verdes (LENZA e KLINK, 2006).

A maior proporção de produtividade total foi encontrada na formação florestal, enquanto os valores intermediários estiveram associados à formação savânica. Os valores mais baixos corresponderam às classes de cobertura antrópica (agropecuária) e à formação campestre. Portanto, pode-se afirmar que a densidade de indivíduos e a estrutura da vegetação influem diretamente nesta métrica fenológica. As maiores taxas de produtividade sazonal ocorreram na formação florestal devido aos processos metabólicos inerentes às fitofisionomias que integram esta formação vegetal (RIBEIRO e WALTER, 2008). Os valores intermediários estiveram associados às áreas de agricultura de sequeiro e os de menor produtividade sazonal às formações savânica e campestre.

Quanto ao resultado da métrica rebrota, observou-se que a classe correspondente à agropecuária foi a que teve valores mais elevados, pois o ciclo de vida das culturas agrícolas anuais é o mais curto dentre todas as classes consideradas nesse estudo. Os valores intermediários de rebrota correspondem à formação florestal, o que, analogamente às outras fitofisionomias naturais, implica afirmar que apresenta elevada taxa de verdejamento assim que se inicia o período chuvoso. Os menores valores de rebrota estão relacionados à formação savânica (composta predominantemente de Cerrado ralo e Cerrado típico) e formação

campestre (Campo sujo).

No caso da formação florestal, as copas podem cobrir até 90% da paisagem na estação chuvosa, o que explica a elevada taxa de rebrota até alcançar o ápice do verdejamento, bem como apresenta alto índice de senescência, porque perdem parcialmente ou totalmente as folhas. Estes dois processos, rebrota e senescência, caracterizam o perfil espectro-temporal desta fitofisionomia, pois alcança valores de EVI elevados no período chuvoso e valores muito baixos no período de seca. Onde o índice de precipitação é menor, a rebrota é mais rápida, por causa da adaptação destas fitofisionomias a essa característica climática restritiva, o que corresponde a uma estratégia adaptativa da vegetação para otimizar os processos fenológicos (vegetativos e reprodutivos) em ambientes tipicamente sazonais (OLIVEIRA, 2008). Todavia, os elevados valores de rebrota nas áreas de cultivos agrícolas não estão associados exclusivamente ao regime pluviométrico, mas também ao uso de técnicas controladas da chamada agricultura de precisão.

As culturas agrícolas são as que perdem o vigor vegetativo de forma mais brusca, apresentando valores elevados de senescência, após os processos de maturação e colheita. Em seguida, tem-se a formação florestal que apresenta valores de senescência intermediários, chegando a perder totalmente ou parcialmente as folhas durante a estação seca. A formação savânica perde folhas de forma relativamente mais lenta e algumas espécies dessa vegetação não alcançam a decidualidade total. Portanto, é natural que os menores valores de senescência estejam associados às formações savânicas e campestre.

Desta maneira, a formação florestal apresentou maior taxa de senescência do que a formação savânica. Algumas fitofisionomias savânicas passam por um processo de perda, total ou parcial, de folhas na estação seca e rebrota acelerada com aumento dos processos metabólicos na estação chuvosa (BECERRA et al., 2009), mas este processo é ainda mais expressivo para a formação florestal. A taxa de senescência, tal qual a taxa de rebrota, apresentada na classe de cobertura vegetal antrópica não está relacionada apenas à precipitação, mas ao tipo de cultura e manejo utilizados. A senescência das classes

naturais está correlacionada negativamente com a precipitação. Em contrapartida, as áreas com índice pluviométrico mais elevado, que deveriam apresentar menor taxa de senilidade, apresentaram valores elevados. Isto ocorreu porque nestas áreas predominam as culturas agrícolas, fato este intrinsecamente relacionado ao tipo de uso (agricultura de sequeiro) e ao manejo.

Observou-se padrão atípico, do ponto de vista biofísico da paisagem, ao se analisar as métricas fenológicas nas áreas de cultivos agrícolas, como as métricas de rebrota e senescência bastante acentuadas. Estas características apontam para fragmentação da vegetação na área de estudo, em função da expansão e intensidade do uso agrícola. As classes de uso comportam-se de maneira distinta e respondem diferentemente às condições ambientais, pois o processo é controlado, principalmente, pela ação humana em detrimento da dinâmica natural. Observou-se maior uniformidade nessa classe do que nas classes naturais que apresentaram maior complexidade no seu comportamento espectro-temporal, corroborando os resultados encontrados por Sakamoto et al. (2005) e Wardlow et al. (2007).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As séries temporais permitiram extrair e caracterizar a fenologia das formações vegetais naturais e antrópicas da área de estudo. As métricas fenológicas extraídas de séries temporais de EVI proporcionaram uma análise sinóptica acerca do comportamento sazonal da vegetação, potencializando a expansão de estudos de fenologia feitos de forma pontual ou envolvendo uma ou poucas espécies vegetais para regiões geográficas maiores. Recomenda-se testar o método utilizado nessa pesquisa para outras áreas do bioma Cerrado, ou mesmo em outros biomas como a Caatinga, que também apresentam sazonalidade marcante, no intuito de conhecer melhor a dinâmica fenológica das suas fitofisionomias.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de pesquisa de produtividade ao segundo autor. Aos revisores anônimos pela

relevante contribuição dada a este trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. Cotia, SP: Ateliê, 2003. 159 p.

ALCÂNTARA, C.; KUEMMERLE, T.; PRISHCHEPOV, A.; RADELOFF, V. C. Mapping abandoned agriculture with multi-temporal MODIS satellite data. **Remote Sensing of Environment**, v. 124, p. 334-347, 2012.

BAPTISTA, G. M. M. Processamento de dados hiperespectrais. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Org.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**, p. 221-238, Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.cnpq.br/web/guest/livro-eletronico>. Acesso em: 01 junho 2014.

BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ, R. C. S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de Cerrado da Amazônia Legal, usando índices espectrais de vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 125-134, 2009.

BOARDMAN, J. W.; KRUSE, F. A. Automated spectral analysis: a geologic example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains, Nevada. In: Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, 10. **Proceedings...** Ann Arbor: ERIM, v. 1, p. 407-418, 1994.

BORGES, E. F. **Discriminação e caracterização fenológica de classes de cobertura vegetal natural e antrópica do Oeste da Bahia a partir de séries temporais do sensor Modis**. 2014. 138 f. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas). Universidade de Brasília. Brasília, 2014.

BORGES, E. F.; SANO, E. E.; MEDRADO, E. Radiometric quality and performance of TIMESAT for smoothing moderate resolution imaging spectroradiometer enhanced vegetation index time series from western Bahia State, Brazil. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 8, n.1, 2014.

BORGES, E. F.; SANO, E. E. Séries temporais de EVI do modis para o mapeamento de uso e cobertura vegetal do Oeste da Bahia. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 20, n. 3, p.526-547, 2014.

- BRANNSTROM, C.; JEPSON, W.; FILIPPI, A. M.; REDO, D.; XU, Z.; GANESH, S. Land change in the Brazilian savanna (Cerrado), 1986-2002: comparative analysis and implications for land-use policy. **Land Use Policy**, v. 25, p. 579-595, 2008.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SD. 23 Brasília; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 660 p., 5 mapas (Levantamento de Recursos Naturais, 29), 1982.
- BRASIL. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia: Sistema de Informações Geográficas – SIG e Mapas**. CPRM, 2003. CD-ROM.
- COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: GOLDHAMMER, J. G. (ed). **Fire in the Tropical Biota**, Springer-Verlag, p. 82-105, 1990.
- COUTO Jr., A. F.; CARVALHO Jr., O. A.; MARTINS, E. S. Séries temporais de NDVI, EVI e NDWI do sensor MODIS para caracterização fenológica do algodão. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n. 1, p. 199-210, 2013.
- CRUZ, T. V.; PEIXOTO, C. P.; MARTINS, M. C. Crescimento e produtividade de soja em diferentes épocas de semeadura no Oeste da Bahia. **Scientia Agraria**, v.11, n. 1, p. 33-42, 2010.
- CUNHA, T. J. F.; MACEDO, J. R.; RIBEIRO, L. P.; PALMIERI, F.; FREITAS, P. L.; AGUIAR, A. C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob Cerrado. **Ciência Rural**, v. 1, n. 1, p. 27-36, 2001.
- EKLUNDH, L.; JÖNSSON, P. **Timesat 3.1: Software Manual**. Lund University and Malmö University, Suécia, 82 p., 2012.
- GAO, X.; HUETE, A. R.; NI, W.; MIURA, T. Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, p. 609-620, 2000.
- GREEN, A. A.; BERMAN, M.; SWITZER, B.; CRAIG, M. D. A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 26, n. 1, p. 65-74, 1988.
- HUETE, A.; 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, n. 1-2, p. 195-213, 2002.
- JENKS, G. F. The data model concept in statistical mapping. **International Cartographic Association ed. International Yearbook of Cartography**, v.7, p. 186-190, 1967.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. EPIPHANIO, J. C. N. (Coord. Trad.). São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.
- JÖNSSON, P.; EKLUNDH, L. Seasonality extraction and noise removal by function fitting to time-series of satellite sensor data. **IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing**, v. 40, n. 8, p.1824-1832, 2002.
- JÖNSSON, P.; EKLUNDH, L. TIMESAT: a program for analyzing time-series of satellite sensor data. **Computers & Geosciences**, v. 30, n. 1, p. 833-845, 2004.
- JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J. R. G.; DEFRIES, R.; ROY, P. D.; HALL, D. K.; SALOMONSON, V.; PRIVETTE, J. L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, R. B.; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, S. W.; NEMANI, R. R.; WAN, Z.; HUETE, A. R.; LEEUWEN, W. V.; WOLFE, R. E.; GIGLIO, L.; MULLER, J. P.; LEWIS, P.; BARNESLEY, M. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p.1228-1247, 1998.
- JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J. R. G.; VERMOTE, E. F.; MASUOKA, E.; WOLFE, R. E.; SALEOUS, N.; ROY, D. P.; MORISETTE, J. T. An overview of MODIS land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 3-15, 2002.

- KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Econômica. 479 p., 1948.
- KRUSE, F. A.; LEFKOFF, A. B.; BOARDMAN, J. B.; HEIDEBRECHT, K. B.; SHAPIRO, A. T.; BARLOON, P. J.; GOETZ, A. F. H. The spectral image processing system (SIPS) - interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. **Remote Sensing of Environment**, v. 44, p. 145 – 163, 1993.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.
- LEE, R.; YU, F.; PRICE, K. P.; ELLIS, J.; SHI, P. Evaluating vegetation phenological patterns in Inner Mongolia using NDVI time-series analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 12, p. 2505-2512, 2002.
- LENZA, E.; KLINK, C. A. Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um Cerrado sentido restrito de Brasília, DF. **Revista Brasileira de Botânica**. v. 29, n. 4, p. 627-638, 2006.
- MENKE, A. B.; CARVALHO Jr., O. A.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, S. N. Análise das mudanças do uso agrícola da terra a partir de dados de sensoriamento remoto multitemporal no município de Luís Eduardo Magalhães – Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 21, n. 3, p. 315-326, 2009.
- MORELLATO, L. P. C. **Fenologia de árvores, arbustos e lianas em uma floresta semidecídua no sudeste do Brasil**. 1991. 176 f. Tese (Doutorado em Ecologia). Universidade de Campinas, Campinas, 1991.
- MORELLATO, L. P. C. As estações do ano na floresta. In: MORELLATO, P. C.; LEITÃO-FILHO, H. F. (Orgs.). **Ecologia e Preservação de uma Floresta Tropical Urbana**. Campinas: Editora da Unicamp, p. 37-41, 1995.
- OLIVEIRA, P. E. Fenologia e biologia reprodutiva das espécies de Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.). **Cerrado: Ecologia e Flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, p. 273-287, 2008.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.). **Cerrado: Ecologia e Flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, p. 151-199, 2008.
- 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**, v. 96, p. 366-374, 2005.
- SANO, E. E.; SANTOS, C. C. M.; SILVA, E. M.; CHAVES, J. M. Fronteira agrícola do Oeste baiano: considerações sobre os aspectos temporais e ambientais. **Geociências**, v. 30, n. 3, p. 479-489, 2011.
- SANTANA, O. A.; CARVALHO Jr., O. A.; 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**, v. 28, n. 1, p. 47-60, 2010.
- SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. **Balço hídrico do estado da Bahia**(Série Estudos e Pesquisas, 45). Salvador: SEI, 250 p., 1999.
- SILVA, F. A. M.; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A. Caracterização climática do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.). **Cerrado: Ecologia e Flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, p. 69-88, 2008.
- SILVA, G. B. S.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; ADAMI, M.; SANO, E. E. Discriminação da cobertura vegetal do Cerrado matogrossense por meio de imagens MODIS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 2, p. 186-194, 2010.
- SILVA, B. B.; GALVÍNCIO, J. D.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MACHADO, C. C. C.; OLIVEIRA, L. M. M.; MOURA, M. S. B. Determinação por sensoriamento remoto da produtividade primária bruta do perímetro irrigado São Gonçalo-PB. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 1, p. 57-64, 2013.
- SOARES, J. V.; BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y. E. Histórico e descrição. In: RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. (Org.). **O Sensor Modis**

- e suas Aplicações Ambientais no Brasil.** São José dos Campos: Parêntese, p. 3-22, 2007.
- SOUTH, S.; QI, J.; LUSCH, D. P. Optimal classification methods for mapping agricultural tillage practices. **Remote Sensing of Environment**, v. 91, p. 90-97, 2004.
- TALORA, D. C.; MORELLATO, P. C. Fenologia de espécies arbóreas em floresta de planície litorânea do sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 23, p.13-26, 2000.
- VALLADARES, G. S.; GOMES, A. S.; TORRESAN, F. E.; RODRIGUES, C. A. G.; GREGO, C. R. Modelo multicritério aditivo na geração de mapas de suscetibilidade à erosão em área rural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1376-1383, 2012.
- WARDLOW, B. D.; EGBERT, S. L.; KASTENS, J. H. Analysis of time series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the U.S. Central Great Plains. **Remote Sensing of Environment**, v. 108, p. 290-310, 2007.
- ZHANG, X.; FRIEDL, M. A.; SCHAAF, C. B.; STRAHLER, A. H.; HODGES, J. C. F.; GAO, F.; REED, B. C; HUETE, A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 84, p. 471-475, 2003.