

USO DE MÉTRICAS FENOLÓGICAS DERIVADAS DE SÉRIES TEMPORAIS DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DO SENSOR MODIS NA ANÁLISE DE FEIÇÕES NATURAIS E ANTRÓPICAS DA CAATINGA

Udmilla Moura Contes Fortunato¹, Elane Fiúza Borges²

¹Geógrafa, Mestranda em Ciências Ambientais, Universidade Estadual de Feira de Santana, Av. Transnordestina, CEP 44036-900, S/N, Novo Horizonte, Feira de Santana, BA, udfortunato@gmail.com.

²Doutora, Professor Titular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Geografia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Av. Transnordestina, CEP 44036-900, S/N, Novo Horizonte, Feira de Santana, BA, elaborages@gmail.com.

RESUMO

A análise do comportamento da vegetação ganhou destaque nos últimos anos em decorrência da crescente preocupação com as dinâmicas das alterações globais e a preservação do meio ambiente, apontando a intensa degradação ambiental de diferentes ambientes semiáridos e áridos. Analogamente, a fenologia vegetal é influenciada por características do ambiente, sendo assim um indicador da resposta de um ecossistema a um conjunto de variáveis ambientais. Desse modo, objetivou-se extrair e analisar as métricas fenológicas de amplitude, comprimento e as taxas de rebrota e senescência para investigar o comportamento fenológico da cobertura vegetal natural e antrópica do bioma Caatinga. Para tal, foram utilizadas séries temporais de EVI do sensor MODIS para extrair as métricas fenológicas do período de crescimento vegetativo. Os resultados obtidos demonstraram que as feições vegetacionais naturais e antrópicas obedecem a um padrão ao longo do ciclo fenológico inerente à sazonalidade climática, em específico, a irregularidade pluviométrica.

Palavras-chave — fenologia de superfície terrestre; semiárido; EVI.

ABSTRACT

The analysis of vegetation behavior has gained prominence in recent years due to the growing concern with the dynamics of global changes and the preservation of the environment, pointing out the intense environmental degradation of different semi-arid and arid environments. Similarly, plant phenology is influenced by environmental characteristics, thus being an indicator of an ecosystem's response to a set of environmental variables. Thus, the objective of this work was to extract and analyze the phenological metrics of amplitude, length and rates of regrowth and senescence to investigate the phenological behavior of the natural and anthropic vegetation cover of the Caatinga biome. For this, EVI time series of the MODIS sensor were used to extract the phenological metrics of the vegetative growth period. The results obtained showed that natural and anthropic vegetation features follow a pattern throughout the phenological cycle inherent to climatic seasonality, in particular, rainfall irregularity.

Key words — land surfacy phenolog; semi-arid; EVI.

1. INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto (SR) é uma fonte primária de dados imprescindíveis para a discriminação, caracterização e mapeamento da vegetação. Com estudos vinculados a discriminação de culturas agrícolas [1,2,3,4] e ao uso e cobertura da terra [4] as séries temporais derivadas de imagens de satélites fornecem dados essenciais para avaliação do perfil temporal e dos componentes de tendência e sazonalidade da vegetação.

Os sensores com alta resolução temporal – em especial o *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), tornaram-se ferramentas fundamentais no monitoramento da vegetação e no estudo da dinâmica dos ecossistemas, sobretudo com o fornecimento de séries temporais de índices de vegetação (IV) que se apresentam como principais fontes de dados para estudo do uso e cobertura das terras, pois permitem análises espaço-temporais, fundamentais para garantir informações precisas e atuais [5].

Analogamente, o estudo do comportamento fenológico refere-se aos eventos cíclicos que ocorrem na vida das plantas [6, 7]. Da perspectiva do SR, desenvolve-se a fenologia de superfície terrestre – *land surfacy phenolog* (LSP) que se fundamenta na ocorrência de ciclos simultâneos denominados de fenofases, de forma a gerar parâmetros que permitem a análise e interação destes ciclos [8] – denominadas métricas fenológicas.

As métricas fenológicas extraídas de séries temporais de IV têm sido importantes para mapear o uso e cobertura da terra de diferentes paisagens [9, 10, 11]. Estudos realizados em ambientes áridos e semiáridos usando SR com sensores de alta resolução temporal e moderada resolução espacial [12, 13,14] demonstraram o potencial das métricas para explicar a distribuição de padrões agrícolas e a resiliência de ecossistemas de terras secas às mudanças climáticas. Para região semiárida inserida na Caatinga, verificou-se o potencial do uso das métricas para análise do comportamento sazonal da vegetação, especificamente os eventos de seca. [15, 16].

Nesse sentido, objetivou-se extrair e analisar as métricas fenológicas de amplitude, comprimento e as taxas de rebrota e senescência para analisar o comportamento fenológico da cobertura vegetal natural e antrópica do bioma Caatinga.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é a porção da sub-bacia do Rio Vaza-Barris localizada na Bahia, no Polo Regional de Desertificação de Jeremoabo, composta por oito municípios: Antas, Canudos, Cícero Dantas, Coronel João Sá, Jeremoabo, Nova Triunfo, Pedro Alexandre e Uauá. A sub-bacia comporta as unidades de conservação Estação Ecológica Raso da Catarina, Área de Relevante Interesse Ecológico Cocorobó e Área de Proteção Ambiental Serra Branca/Raso da Catarina (Figura 1).

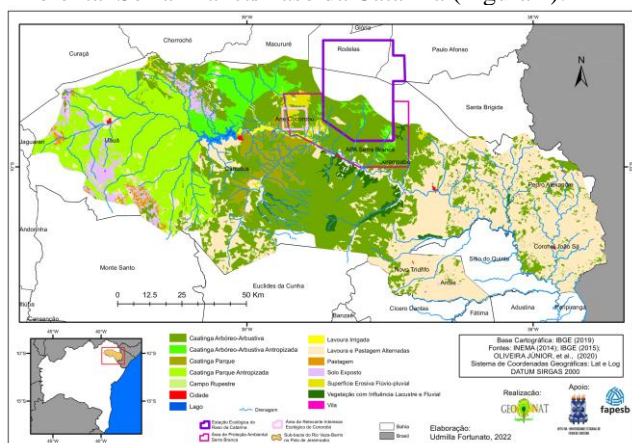


Figura 1. Localização e uso e cobertura da terra da sub-bacia do Rio Vaza-Barris/BA.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram adquiridas imagens MODIS/Terra, do produto MOD13Q1 (Vegetation Índices 16-Day L3 Global 250m). Adquiriram-se 69 imagens, com total de 23 imagens por ano para compor a série temporal de 3 anos (2018-2020). Utilizou-se exclusivamente o EVI (Índice de Vegetação Realçado), haja vista que no ambiente de Caatinga o uso de tal índice pode ser favorável, pois o mesmo reduz as influências do sinal de fundo do dossel e da atmosfera [17, 18].

A série temporal foi processada no programa computacional TIMESAT 3.1.1 e tornou-se necessário utilizar um filtro de suavização. Para tal, considerou-se o filtro *Savitzky-Golay*, que suavizou a curva ao utilizar ajuste linear de mínimos quadrados através de sucessivas equações polinomiais [19]. Para geração das métricas fenológicas foi selecionada a estação de crescimento correspondente aos anos de 2019-2020. Da série temporal filtrada foram obtidas 4 métricas fenológicas: (1) tempo de duração do ciclo, (2) amplitude sazonal, (3) taxa de rebrota, (4) taxa de senescência. Adicionalmente, na avaliação do desempenho e correspondência das métricas fenológicas utilizou-se um mapa de uso e cobertura da terra (Figura 1) como referência [20].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2a é apresentado o resultado da média da métrica de rebrota, a qual é associada ao verdejamento (*greenup*) e nesse caso se refere à taxa de variação desse evento, ou seja, a taxa de vigor vegetativo, expressa basicamente pela

biomassa [24]. Os valores elevados estão associados à variação de cores quentes e os menores às cores frias. Pode-se notar a abrangência de valores elevados, principalmente a leste da sub-bacia associados à predominância da classe Lavoura e Pastagem Alternadas, assim, esse comportamento é justificado pela presença de diferentes tipos de culturas agrícolas e práticas de manejos distintos da região.

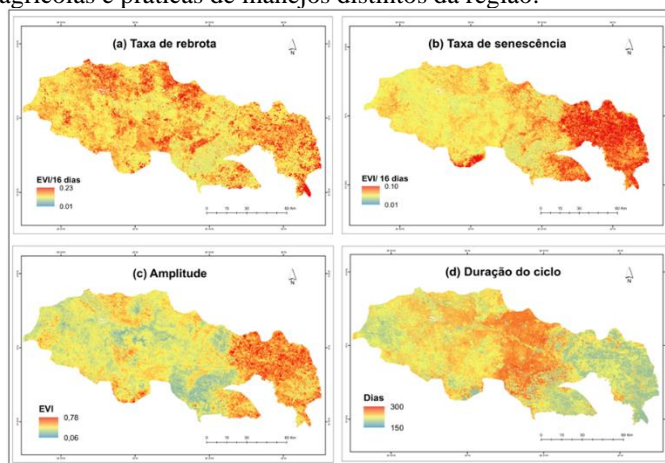


Figura 2. Métricas fenológicas da sub-bacia do Rio Vaza-Barris no Polo Regional de Jeremoabo extraída a partir da série temporal de 2018 a 2020.

Esse setor da sub-bacia também apresenta um mosaico de feições entre a classe de uso citada e a Caatinga Arbóreo-Arbustiva, apresentando valores elevados na taxa de rebrota, o que denota a heterogeneidade desta formação, também proveniente de diferentes estágios de antropização da vegetação e o comportamento do vigor vegetativo [21], associado diretamente à sazonalidade climática, em que no período seco ocorre deciduidade acentuada – com perda de folhas, e no período chuvoso há necessidade de recuperação do vigor vegetativo, com máximo aproveitamento de água disponível, fazendo com que algumas espécies apresentem padrões fenológicos marcados pela rápida renovação das copas em períodos chuvosos [22].

Por outro lado, esse comportamento não ocorre na região do curso principal do Rio Vaza-Barris, isto porque nesse setor da sub-bacia estão presentes diferentes classes, que bordejam as margens dos corpos d'água e não são totalmente decíduas, a constar Caatinga Parque, Vegetação com influência Lacustre e Fluvial e a Lavoura Irrigada, o que implica afirmar que não alcançarão elevadas taxas de rebrota, pois não perdem totalmente as folhas.

Na Figura 2b, é apresentado o resultado da métrica de senescência que se refere a taxa de variação do evento de senilidade e representa a redução da atividade fotossintética e perda de vigor vegetativo [23]. No geral, tal métrica tende a obedecer a um padrão de comportamento próximo a métrica de rebrota, isso também vai ocorrer para o Pantanal e o Oeste da Bahia – Cerrado [21, 23].

Ainda nesta lógica, pode-se notar que no setor leste da sub-bacia são encontrados os maiores valores de

senescência. Esse setor abrange um mosaico das classes Caatinga Arbórea-Arbustiva e Lavoura e Pastagem Alternada. Tal fator pode ser justificado pela heterogeneidade das classes, visto que algumas fitofisionomias passam por um processo de perda, total ou parcial, de folhas na estação seca [22] e pela perda abrupta do vigor vegetativo relacionado à prática da agricultura de sequeiro, em que no período de colheita se faz o corte e queima da vegetação, deixando a área com o solo exposto. No Oeste da Bahia, áreas com ocorrência da classe antrópica Agropecuária também apresentaram valores elevados de senescência, justificados pela perda de vigor vegetativo de forma brusca após os períodos de maturação e colheita [23].

Em contrapartida, as áreas de ocorrência de Caatinga Arbórea-Arbustiva, Caatinga Arbórea-Arbustiva Antropizada e Caatinga Parque são as que apresentam valores baixos a médios de senescência, isto porque, diferentemente das classes antrópicas, que geralmente possuem interferência humana no ciclo fenológico, essas obedecem à dinâmica natural. Notam-se, ainda para essas classes, nas proximidades do curso principal do Vaza-Barris e na porção oeste, que esses valores são ainda mais baixos – garantidos pela perda de folhas de forma relativamente mais lenta, ou quase nula por algumas espécies exóticas, a exemplo da algaroba.

A Figura 2c apresenta o comportamento da métrica de amplitude, a qual corresponde à variação sazonal da atividade fotossintética. Nota-se um comportamento próximo ao da métrica de rebrota, com valores mais elevados dispostos no setor leste da sub-bacia e associados à presença da classe Lavoura e Pastagem Alternadas. Estes valores são justificados pela utilização de técnicas de manejo agrícolas e presença de culturas agrícolas temporárias que proporcionam o alcance de valores mais elevados, já que se têm verdejamento e senilidade abruptos, correspondente também a completa exposição do solo após a colheita agrícola e ao elevado vigor vegetativo alcançados pelas culturas agrícolas com padrão homogêneo no período de crescimento.

São perceptíveis também os valores baixos e médios ao longo e nas proximidades do curso principal do Rio Vaza-Barris, com um mosaico de manchas vegetacionais entre as classes Lavoura Irrigada, Lavoura e Pastagem Alternadas e Caatinga Parque. No caso da métrica de amplitude, esses valores podem ser explicados pela disposição de fitofisionomias da Caatinga Parque caracterizada por recobrir todo o solo durante o período chuvoso [20] e também pela ocorrência de algaroba (*Prosopis juliflora*), espécie vegetal inserida na caatinga, estabelecida junto as áreas de matas ciliares [24] caracterizadas como perenes, mesmo nos períodos de secas, não obtendo variação acentuada, o que garante a manutenção de um ciclo vegetativo sem muitas variações, ou seja, baixa amplitude.

A métrica de comprimento, apresentada na Figura 2d, refere-se ao intervalo do ciclo vegetativo entre as fases de verdejamento (rebrota) e senescência foliar. Verifica-se um desempenho bastante diferenciado nas proximidades do curso principal do Vaza-Barris, que se refere à presença da

algaroba e culturas agrícolas irrigadas, já citadas, pois são caracterizadas pela presença de vigor vegetativo mesmo nos períodos de secas [24].

As exceções se dão com a presença de pontos com valores menos elevados no setor leste da sub-bacia correspondentes às classes de Lavoura e Pastagem Alternada e Caatinga Arbórea-Arbustiva, bem como pontos de sobreposição das mesmas; mais elevados no setor centro-oeste da sub-bacia associados as classes de Caatinga Arbórea-Arbustiva, Caatinga Parque e Lavoura Irrigada. Ainda nesse sentido, a ocorrência de valores elevados configura um intervalo de ciclo muito alto, provocado pela presença de fitofisionomias diretamente dependentes da sazonalidade climática. E, os valores menos elevados ou ciclos mais curtos, justificam-se com a heterogeneidade das formações – Caatinga Arbórea, Caatinga Arbustiva, Caatinga Herbácea e os diferentes tipos de culturas agrícolas (temporária ou permanente) e também com as áreas de pastoreio.

Outro fator que favorece a duração de ciclos mais curtos, isto é, baixos valores na métrica de comprimento nesses setores da sub-bacia, é justamente o que faz com que ela obtenha valores elevados de amplitude (Figura 2c), pois as pastagens verdejam rapidamente, mas logo são consumidas pelos gados (caprino e bovino) criados extensivamente na área de estudo. Ademais, tem-se o emprego de técnicas agrícolas específicas que condicionam a produção acelerada e, por conseguinte um ciclo de duração sazonal mais curto, quando comparado às classes naturais.

5. CONCLUSÕES

A série temporal de EVI permitiu a extração das métricas fenológicas, bem como a análise acerca do comportamento das diferentes fitofisionomias presentes na área de estudo. Igualmente, o dado de uso e cobertura da terra apresentou-se como integrador para respaldar a análise da série temporal e das métricas fenológicas.

Os resultados das métricas fenológicas demonstraram que apesar do bioma Caatinga apresentar diversidade e heterogeneidade entre as feições vegetacionais naturais e antrópicas, estas obedecem a um padrão ao longo do ciclo fenológico inerente à sazonalidade climática, em específico, à irregularidade pluviométrica.

Por fim, faz-se necessário testar uma série temporal proveniente de dados de altas resoluções temporal e espacial para gerar as métricas fenológicas, bem como testar o uso de diferentes IV para área de estudo e para o bioma Caatinga.

8. REFERÊNCIAS

[1] COUTO JÚNIOR., A.F.; CARVALHO JÚNIOR., O.A.; MARTINS, E.S. Séries temporais MODIS aplicadas em sucessão de culturas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e milho (*Zea mays* L.) em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 64, p. 405-418, 2012.

[2] RISSO, J.; RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, R.

- D. V. Índices de vegetação Modis aplicados na discriminação de áreas de soja / Modis vegetation indices applied to soybean area discrimination. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1317-1326, Set. 2012.
- [3] SILVA, M.R. **Uso de séries temporais para identificar diferentes culturas agrícolas**. 2018. 89p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- [4] ABADE, N. A. et al. Comparative Analysis of MODIS Time-Series Classification Using Support Vector Machines and Methods Based upon Distance and Similarity Measures in the Brazilian Cerrado-Caatinga Boundary. **Remote Sensing**, [S.l.], v. 7, n. 9, p. 12160-12191, 2015.
- [5] RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Parênteses, 2007.
- [6] MORELLATO, L. P. C. Phenological data, networks, and research: South America. In: SCHWARTZ, M. D. (Org). **Phenology: an integrative environmental science**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p.75-92, 2003.
- [7] BOTREL, R. T., BRITO, D. R. S., SOUSA, W. C., SOUZA, A. M., HOLANDA, A. C. Fenologia de uma espécie arbórea em ecótono Caatinga, Cerrado no sul do Piauí. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 3, p. 38, 2015.
- [8] NHONGO, E. J. S.; FONTANA, D.C; GUASSELLI, L. A.; ESQUERDO, J.C.D.M. Caracterização fenológica da cobertura vegetal com base em série temporal NDVI/MODIS na reserva do Niassa– Moçambique. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro, N o 69/6, p. 1175-1187, Jun/2017.
- [9] GANGULY, S.; FRIEDL, M.A.; TAN, B.; ZHANG, X.; VERMA, M. Land surface phenology from MODIS: Characterization of the Collection 5 global land cover dynamics product. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, n. 8, p. 1805–1816, 16 ago. 2010.
- [10] HADDAD, I. GALVÃO, L.S.; BREUNIG, F.M.; SILVA, R. D.A.; BOURSCHIEDT, V.; JACON, A. On the combined use of phenological metrics derived from different PlanetScope vegetation indices for classifying savannas in Brazil. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 26, p. 100764, abr. 2022.
- [11] TOUHAMI, I.; MOUTAHIR, H.; ASSOUL, D.; BERGAOUI, K.; AOUINTIN, H.; BELLOT, J.; ANDREU, J.M. Multi-year monitoring land surface phenology in relation to climatic variables using MODIS-NDVI time-series in Mediterranean forest, Northeast Tunisia. **Acta Oecologia**. v. 114, 103804, may. 2022
- [12] MA, X.; LENG, P.; LIAO, Q.; GENG, Y.; ZHANG, X.; SHANG, G. SONG, X.; SONG, Q.; LI, Z. Prediction of vegetation phenology with atmospheric reanalysis over semiarid grasslands in Inner Mongolia. **Science of The Total Environment**, v. 812, p. 152462, mar. 2022.
- [13] SINGH, R.; PATEL, N. R.; DANODIA, A. Deriving Phenological Metrics from Landsat-OLI for Sugarcane Crop Type Mapping: A Case Study in North India. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 50, n. 6, p. 1021–1030, jun. 2022.
- [14] XIE, Q.; CLEVERLY, J.; MOORE, C.E.; DING, Y.; HALL, C.C.; MA, X.; HURTE, A. Land surface phenology retrievals for arid and semi-arid ecosystems. **ISPRS J. Photogramm. Remote Sensing**, 185, 129–145, 2022.
- [15] BORGES, E. F.; FORTUNATO, U. M. C.; FERNANDES, L. A. Séries temporais de dados de Sensoriamento Remoto no estudo do comportamento fenológico no Polo de Desertificação de Jeremoabo-BA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 15(01), 443-464, 2022.
- [16] FERNANDES, L. A.; FORTUNATO, U. M. C.; BORGES, E. F. 2021. Aplicação do Índice Topográfico de Umidade (TWI) e Métricas Fenológicas, na análise temporal do comportamento da cobertura vegetal na Mesorregião do Nordeste da Bahia. **Journal of hyperspectral remote sensing**, 11, 213-221.
- [17] CARVALHO JÚNIOR., O. A.; HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, R. F. Identificação regional da floresta estacional decidual na bacia do Rio Paranã a partir da análise multitemporal de imagens MODIS. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 24(3), p. 319-332, 2006.
- [18] SANO, E. E.; BORGES, E. F. **Séries temporais: comportamento espectral de imagens multidas**. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de; BAPTISTA, G. M. de M. (orgs). **Reflectância dos materiais terrestres: análise e interpretação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.
- [19] JÖNSSON, P.; EKLUNDH, L. TIMESAT - a program for analysing time-series of satellite sensor data. **Computers and Geosciences**, v. 30, p. 833-845, 2004.
- [20] OLIVEIRA JUNIOR, I.; PEREIRA, A.J.; LOBÃO, J. S. B.; SILVA, B. C. M. N. Uso e cobertura da terra e o processo de desertificação no Polo Regional de Jeremoabo-BA. **Revista de Geografia (Recife)** v. 37, n. 2. 2020.
- [21] 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.
- [22] JAPIASSÚ, A.; LOPES, K.P.; DANTAS, J.G.; NÓBREGA, J.S. Fenologia de quatro espécies arbóreas da Caatinga no Semiárido paraibano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 11, n. 4, p.34-43, nov. 2016.
- [23] PENATTI, N. C. **Geobotânica e Fenologia da superfície terrestre no estudo da diversidade do Pantanal: Uma abordagem multi-sensor**. 2014. 231 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Biológicas, USP, São Paulo, 2014.
- [24] NASCIMENTO, C.E.S. **Comportamento invasor da algaroba Prosopis juliflora (Sw) D.C. nas planícies aluviais da caatinga**. 2008. 115 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.