

ANÁLISE FENOLÓGICA DE MATAS RIPÁRIAS DO BIOMA CERRADO ATRAVÉS DE ÍNDICES HIPERESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO

Josué Paoli Reis ¹, Cibele Hummel do Amaral ², Ian Quintão Rodrigues ³, Lênio Soares Galvão ⁴

¹Universidade Federal de Viçosa, josue.reis@ufv.br; ²Universidade Federal de Viçosa, chamaral@ufv.br; ³Universidade Federal de Viçosa, ianquintao92@gmail.com; ⁴Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, lenio.galvao@inpe.br

RESUMO

O Cerrado é considerado um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade. O presente trabalho tem como objetivo caracterizar o comportamento fenológico intra-anual de fragmentos de mata ripária do Cerrado, no centro-oeste do Brasil, em resposta à variação em precipitação (período chuvoso e seco) para o ano de 2010, através de índices de vegetação obtidos por imagens do sensor *Hyperion/EO-1*. Após a obtenção dos valores de reflectância, foram calculados cinco índices de vegetação (SR, NDVI, SAVI, EVI e ARVI) para cada imagem. Os valores dos índices correspondentes aos fragmentos da vegetação foram extraídos e analisados. Os resultados obtidos mostraram que os valores de todos os índices de vegetação foram maiores no período chuvoso comparado ao período seco. Isso indica que a área foliar fotossinteticamente ativa da fitofisionomia analisada foi maior no período chuvoso comparado ao período seco, conforme esperado, com os índices mostrando diferentes sensibilidades para detectar esta diferença.

Palavras-chave — Sensoriamento remoto, índices de vegetação, Cerrado.

ABSTRACT

The Cerrado is considered one of the world's biodiversity hotspots. The objective of this work is to characterize the seasonal phenological behavior of riparian forest fragments of the Cerrado, in central-western Brazil, in response to the variation in precipitation (rainy and dry period) for the year 2010, using vegetation indices calculated from Hyperion/EO-1 data. After converting the images into surface reflectance, five vegetation indices (SR, NDVI, SAVI, EVI e ARVI) were calculated for each image. Their values over the fragments of the vegetation were extracted and analyzed. The results showed that the values of all vegetation indices analyzed were higher in the rainy period compared to the dry period. This indicates that the photosynthetically active leaf area of the analyzed phytophysiology was higher in the rainy period than in the dry period, as expected, with vegetation indices having distinct sensitivity to detect such difference.

Key words — *Remote sensing, vegetation indices, Cerrado.*

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é considerado um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade [1]. Apenas 19,8% das suas áreas com vegetação nativa permaneceram intactas [2]. Levando em consideração que a pressão antrópica no bioma Cerrado vem aumentando, é importante avaliar como as mudanças do uso da terra e do clima afetam as funções fenológicas dos ecossistemas presentes [3].

Com relação ao clima, a precipitação é um dos principais fatores que determina a dinâmica sazonal da vegetação na região de savanas tropicais [3]. Na região do Cerrado, aproximadamente 90% das chuvas ocorre entre os meses de outubro a março (período chuvoso) [4].

Em função dessa sazonalidade existente, índices de vegetação (IV) podem ser aplicados para o monitoramento desse bioma ao longo do tempo. Além disso, Os IV calculados a partir de bandas estreitas de sensores hiperespectrais, permitem uma análise mais detalhada de certas propriedades específicas da vegetação.

O sensor *Hyperion* foi o primeiro sensor hiperespectral orbital lançado pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e está a bordo da plataforma *Earth Observing 1* (EO-1). Ele adquiria dados na faixa de 400 a 2500 nm em 242 bandas, com resolução espacial de 30 metros e resolução temporal de 16 dias [5].

Dessa forma, o objetivo desse estudo é caracterizar o comportamento fenológico intra-anual de matas ripárias do Cerrado em resposta à variação em precipitação (período seco e chuvoso) para o ano de 2010, através de índices hiperespectrais de vegetação obtidos por imagens do sensor *Hyperion/EO-1*.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área do presente estudo está localizada entre as coordenadas 15,4° e 16,3° S e entre 48,8° e 48,9° W, somando 73.967 hectares (Figura 1).

Possuindo tipo climático tropical com estação seca (Aw), segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, a região é caracterizada por temperatura média mensal superior a 18°C para todos os meses do ano e uma estação seca que dura de cinco a sete meses (abril a setembro). Nos meses chuvosos (outubro a março), a precipitação oscila de 1.400 a 1.500 mm [6].

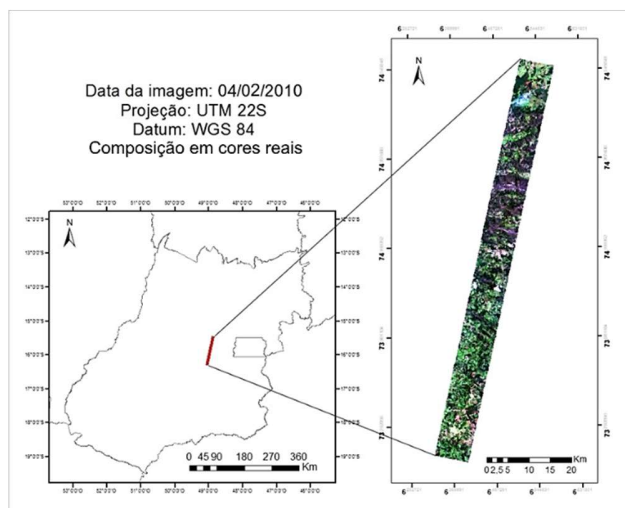


Figura 1. Localização da área de estudo.

2.2. Aquisição das imagens Hyperion

As imagens geradas pelo sensor Hyperion (EO-1) foram obtidas da plataforma *EarthExplorer* (NASA/USGS): uma durante o período chuvoso (04/02/2010) e outra durante o período seco (01/08/2010). O nível de processamento foi L1Gst (radiométrica e topograficamente corrigidas para o terreno). Algumas características das imagens hiperespectrais adquiridas estão descritas na tabela a seguir (Tabela 1):

Data de aquisição	04/02/2010	01/08/2010
Hora início da aquisição	13:09:57	13:10:25
Hora fim da aquisição	13:14:17	13:14:45
Azimute solar	95,193°	44,627°
Elevação solar	56,948°	43,486°
Ângulo de visada do sensor	12,127°	13,174°
Nível de processamento da imagem	L1Gst	L1Gst

Tabela 1. Características das duas imagens Hyperion adquiridas para o estudo.

Estudos realizados por [7] consideram que ângulos de visada menores que 10° não influenciam significativamente

na reflectância dos alvos captada pelo sensor Hyperion. Dessa forma, considera-se os ângulos de apontamento das imagens aqui utilizadas como indicadores de imageamento fora do nadir, porém, a influência dessa angulação é baixa e semelhante para as duas imagens (apenas 1° de diferença).

2.3. Definição dos remanescentes de matas ripárias e alocação de pontos nos fragmentos

Foram utilizadas imagens *Thematic Mapper* (TM)/Landsat-5 dos anos de 1984 e de 2010, com *Level-2* de processamento, corrigidas atmosférica e radiometricamente, representando a reflectância de superfície, para a identificação dos fragmentos de vegetação florestal nativa remanescentes há mais de 25 anos. A definição das matas como ripárias foi feita a partir da seleção dos fragmentos florestais presentes numa distância de até 250 metros dos corpos d'água. Para sua identificação foi feita a classificação supervisionada pelo método de máxima verossimilhança, em ambas as imagens. A hidrografia foi extraída da base de dados do Macrozoneamento Agroecológico e Econômico do Estado de Goiás, disponíveis na Base Cartográfica do Sistema Estadual de Geoinformação do Estado de Goiás, na escala 1:100.000. Para delimitar as matas ripárias, foi extraída a área de intersecção entre os fragmentos florestais selecionados nas imagens de 1984 e 2010. Após a determinação dos fragmentos remanescentes (6.771,05 ha), foram alocados 625 pontos, distribuídos ao acaso, dentro dos polígonos.

2.4. Pré-processamento dos dados hiperespectrais

Foi utilizado o *software* ENVI 4.7 (Exelis Visual Information Solutions – Boulder, CO, EUA) para o pré-processamento das imagens. Para a correção dos “*strippings*” e do efeito “*smile*” foi usada a extensão *Hyperion Tools* [8]. Os valores de radiância dos pixels foram convertidos em reflectância de superfície usando o *FLAASH* (*Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*). O modelo atmosférico utilizado foi o tropical, com aerossol do tipo rural e 70 Km de visibilidade. A quantidade de vapor d'água foi estimada pixel-a-pixel com base na feição espectral de 940 nm.

2.5. Análise espectral

Com as imagens pré-processadas, foram extraídos, a partir dos pontos alocados nos fragmentos, os valores das reflectâncias dos pixels correspondentes à vegetação ao longo do espectro, nos períodos chuvoso e seco (fevereiro e agosto, respectivamente). Para isso, foram utilizadas apenas as bandas calibradas e, entre elas, ainda foram excluídas as bandas da faixa do infravermelho ondas curtas (SWIR) em que há uma intensa absorção da radiação pelas moléculas de vapor d'água da atmosfera. Dessa forma, um total de 157 bandas foram utilizadas. Os valores das reflectância foram

transformados em porcentagem e a média dos valores dos 625 pontos foi posteriormente calculada para cada banda.

2.6. Cálculo dos índices de vegetação

Através das imagens pré-processadas, foram calculados cinco índices de vegetação (Tabela 2). Tais índices se referem a características biofísicas da vegetação (utilizam as bandas das regiões espectrais do vermelho (R), do infravermelho próximo (NIR) e alguns deles do azul (B)), o que possibilita uma análise da fenologia entre os fragmentos nesse aspecto. Os índices utilizados foram *Simple Ratio* (SR), *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI), *Enhanced Vegetation Index* (EVI) e *Atmospherically Resistant Vegetation Index* (ARVI). Suas fórmulas encontram-se na Tabela 2 a seguir:

Índice	Fórmula (ρ é a reflectância no comprimento de onda central da banda Hyperion.)	Fonte
SR	ρ_{803} / ρ_{681}	[9]
NDVI	$(\rho_{803} - \rho_{681}) / (\rho_{803} + \rho_{681})$	[10]
SAVI	$1,5 \cdot (\rho_{803} - \rho_{681}) / (\rho_{803} + \rho_{681} + 0,5)$	[11]
EVI	$2,5 \cdot (\rho_{803} - \rho_{681}) / (1 + \rho_{803} + 6 \cdot \rho_{681} - 7,5 \cdot \rho_{447})$	[12]
ARVI	$(\rho_{803} - (2 \cdot \rho_{681} + \rho_{447})) / (\rho_{803} + (2 \cdot \rho_{681} - \rho_{447}))$	[13]

Tabela 2. Índices hiperespectrais de vegetação utilizados no trabalho e suas respectivas fórmulas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Podemos observar na Figura 2 que, de uma forma geral, a reflectância da vegetação no período chuvoso foi maior do que a do período seco apenas na faixa do infravermelho próximo (~ 0,7-1,3 μm), o que indica uma maior área foliar da vegetação durante a estação chuvosa. Na banda do vermelho (0,6-0,7 μm), a reflectância da vegetação em fevereiro foi menor comparado a agosto, o que demonstra que houve maior absorção de energia pela vegetação durante esse período, nessa faixa do espectro. Como a absorção de energia por clorofilas é mais intensa justamente nesse intervalo espectral, podemos afirmar que a taxa fotossintética da vegetação em fevereiro foi maior que em agosto. Também observamos o mesmo comportamento para a faixa do infravermelho ondas curtas (~ 1,3-2,5 μm), o que também pode estar relacionado com um maior teor de água na vegetação em fevereiro.

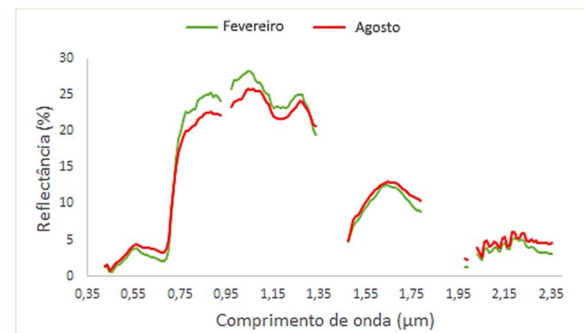


Figura 2. Reflectância média (em porcentagem, %) das matas ripárias de Cerrado, em Goiás, Brasil, para os períodos chuvoso (fevereiro) e seco (agosto), por comprimento de onda (em micrômetros, μm).

As imagens dos índices de vegetação obtidas para as duas datas tiveram seus valores extraídos para os pontos alocados nos fragmentos em estudo. A variação dos valores dos IV foram analisados para cada data – período sazonal (Figura 3). Com base nas figuras, verificamos que as médias dos valores de todos os índices de vegetação calculados foram maiores no período chuvoso (fevereiro), comparado ao período seco (agosto); isso indica, de forma geral, que há maior área foliar fotossinteticamente ativa na vegetação em estudo no período chuvoso. Por outro lado, a variação dos valores desses índices foi sempre maior em agosto, exceto para o índice SR, cuja variação foi semelhante. Isso pode indicar uma maior variação em caducifolia na vegetação durante o período seco.

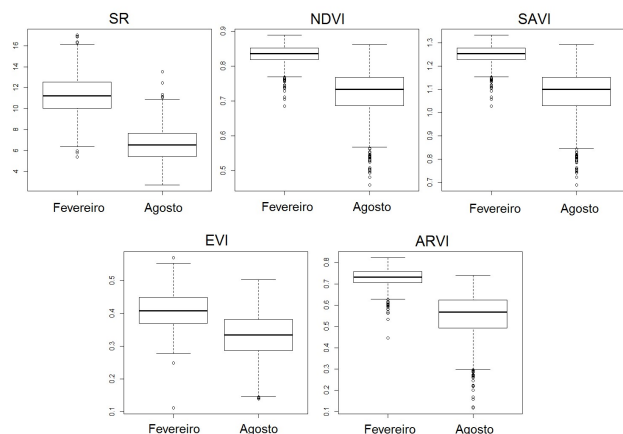


Figura 3. Variação dos valores dos índices hiperespectrais obtidos para os períodos chuvoso (fevereiro) e seco (agosto) do ano em pixels (n= 625) de matas ripárias de Cerrado, em Goiás, Brasil. As linhas centrais horizontais indicam as medianas das populações, as bordas inferior e superior das caixas o intervalo entre 25 e 75% da distribuição dos dados da população e as linhas extremas horizontais os valores mínimo e máximo do conjunto de dados (não considerados os outliers).

Contudo, cabe ressaltar a necessidade de estudos futuros para entendimento da influência das variações sazonais em ângulo zenital solar, bem como das variações de terreno, na reflectância e nos IV referentes à vegetação estudada, assim como feito por [14] e [15] na Amazônia e no Sul do Brasil, respectivamente. A ampliação desse estudo para um maior número de anos também é sugerida, a fim de se observar se esse é um padrão fenológico sazonal das matas ripárias da região de Cerrado estudada ao longo dos anos.

4. CONCLUSÕES

Com base nos espectros analisados e nos índices de vegetação calculados para as matas ripárias da área em estudo, na região central do Bioma Cerrado, pode-se concluir que a área foliar fotossinteticamente ativa da fitofisionomia em questão, no ano de 2010, foi maior no período chuvoso do que no período seco. Os índices de vegetação estudados mostraram diferentes sensibilidades para detectar as diferenças sazonais observada na vegetação da área de estudo.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro dado a essa pesquisa, processo n.: 420264/2016-7.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Myers, N.; Mittermeier, R. A.; Mittermeier, C. G.; Da Fonseca, G. A.; Kent, J. "Biodiversity hotspots for conservation priorities". *Nature*, v. 403, n. 6772, p. 853, 2000.
- [2] Strassburg, B. B. N.; Brooks, T.; Feltran-Barbieri, R.; Iribarrem, A.; Crouzeilles, R.; Loyola, R.; Latawiec, A. E.; Filho, F. J. B. O.; Scaramuzza, C. A. M.; Scarano, F. R.; Filho, B. S.; Balmford, A. "Moment of truth for the Cerrado hotspot". *Nature Ecology & Evolution*, v. 1, p. 1-3, 2017.
- [3] Becerra, J. A. B.; Shimabukuro, Y. E.; Alvalá, R. C. S. "Relação Do Padrão Sazonal Da Vegetação Com A Precipitação Na Região Do Cerrado Usando Índices Espectrais De Vegetação". *Revista Brasileira De Meteorologia*, v. 24, N. 2, p. 125-134, 2009.
- [4] Ferreira, L. G.; Huete, A. R. "Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices". *International Journal of Remote Sensing*, v. 25, n. 10, p. 1837-1860, 2004.
- [5] Folkman, M. A.; Pearlman, J.; Liao, L. B.; Jarecke, P. J. "EO-1/Hyperion hyperspectral imager design, development, characterization, and calibration". In: *HYPERESPECTRAL REMOTE SENSING OF THE LAND AND ATMOSPHERE*, 40., 2000, Sendai. *Proceedings...* Sendai: SPIE, 2001.
- [6] SEPLAN GO. "Zoneamento ecológico econômico da área do entorno do Distrito Federal". Goiânia: Secretaria de Planejamento e Coordenação. 216p, 1995.
- [7] Galvão, L. S.; Santos, J. R.; Breunig, F. M.; Moura, Y. M. "Avaliação da influência da geometria de iluminação e visada na determinação do EVI de florestas tropicais a partir de dados Hyperion/EO-1". In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 15., 2011, Curitiba. *Anais...* Curitiba: INPE, 2011. p.8528.
- [8] White, D. "Hyperion Tools 2.0 Installation and User Guide". 2011.
- [9] Jordan, C.F. "Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor". *Ecology*, v.50, p.663-666, 1969.
- [10] Rouse Jr, J.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. "Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS". In: *ERTS SYMPOSIUM*, 3., 1973, Washington. *Proceedings...* Washington: NASA, 1973. p.309-317.
- [11] HUETE, A. R. "A soil-adjusted vegetation index (SAVI)". *Remote sensing of environment*, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.
- [12] 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, p. 195-213, 2002.
- [13] Kaufman, Y. J.; Tanre, D. "Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS". *IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 30, n. 2, p. 261-270, 1992.
- [14] Galvão, L. S.; Breunig, F. M.; Santos, J. R.; Moura, Y. M. "View-illumination effects on hyperspectral vegetation indices in the Amazonian tropical forest". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 21, p. 291-300, 2013.
- [15] Galvão, L. S.; Breunig, F. M.; Teles, T. S.; Gaida, W.; Balbinot, R. "Investigation of terrain illumination effects on vegetation indices and VI-derived phenological metrics in subtropical deciduous forests". *GIScience & Remote Sensing*, v. 53, n. 3, p. 360-381, 2016.