

## SÉRIES TEMPORAIS DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO DO SENSOR MODIS PARA DETECÇÃO DE LIMIARES DE DESMATAMENTO NO BIOMA MATA ATLÂNTICA

Juliana Tramontina<sup>1</sup>, Tatiana Mora kuplich<sup>2</sup>, Dejanira Luderitz Saldanha<sup>1</sup>, Elisiane Alba<sup>3</sup>, Juliana Marchesan<sup>3</sup>, Rudiney Soares Pereira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Caixa Postal 90040-060, Porto Alegre – RS, tramontina.ju@gmail.com, dejanira.saldanha@ufrgs.br; <sup>2</sup>Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS)/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Caixa Postal 5021, Santa Maria – RS, tatiana.kuplich@inpe.br; <sup>3</sup>Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Caixa Postal 97105-900, Santa Maria- RS, {rudiney.s.pereira, elisiane.alba, marchesan.ju}@gmail.com.

### RESUMO

Este trabalho teve por objetivo a utilização de séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor MODIS para detecção de limiares de desmatamento no bioma Mata Atlântica no Rio Grande do Sul. Em 341 imagens NDVI e EVI de janeiro de 2002 a outubro de 2016 as classes de uso e cobertura da terra floresta, agricultura e campo foram amostradas. Ao todo foram obtidos 42 pontos, 15 de floresta, 15 de agricultura e 12 de campo, com base no Google Earth. As assinaturas temporais foram extraídas por meio da ferramenta Web SATVeg - Sistema de Análise Temporal da Vegetação - desenvolvida pela Embrapa Informática Agropecuária. Os resultados apontaram os valores mínimos e máximos dos índices para as classes de interesse, que foram posteriormente aplicados como limiares para identificação de áreas de mudança ou áreas com indicativos de desmatamento. A metodologia mostrou-se eficaz para os objetivos propostos.

**Palavras-chave** — Fenologia, SATVeg, NDVI, EVI, sensoriamento remoto.

### ABSTRACT

*The objective of this work was the use of time series of vegetation indices (NDVI and EVI) of the MODIS sensor to detect deforestation thresholds in the Atlantic Forest biome in Rio Grande do Sul. In 341 NDVI and EVI images from January 2002 to October 2016 the land cover and use classes, agriculture and field were sampled. In all, 42 points were obtained, 15 of forest, 15 of agriculture and 12 of field, based on Google Earth. The temporal signatures were extracted through the Web tool SATVeg – Vegetation Temporal Analysis System - developed by Embrapa Agricultural Informatics. The results indicated the minimum and maximum values of the indices for the interest classes, which were later applied as thresholds to identify areas of change or areas with deforestation indicative. The methodology proved effective for the proposed objectives.*

**Key words** — Phenology, SATVeg, NDVI, EVI, remote sensing.

### 1. INTRODUÇÃO

O bioma Mata Atlântica originalmente estendia-se por 17 estados brasileiros, e atualmente apresenta apenas 22% de sua cobertura original e apenas 7% conservados em fragmentos acima de 100 hectares. Mesmo fragmentado e reduzido, o bioma Mata Atlântica é uma região altamente prioritária para a conservação da biodiversidade mundial.

O desmatamento é um dos principais mecanismos de pressão sobre o bioma em questão, e no estado do Rio Grande do Sul não é diferente, mesmo sendo menos intenso que os outros estados. De modo que metodologias adequadas são fundamentais neste âmbito para detectar e monitorar o desmatamento do bioma Mata Atlântica.

Uma das formas de detecção do desmatamento é por meio da análise de séries temporais de índices de vegetação obtidos a partir de imagens de satélites. As séries temporais podem auxiliar no reconhecimento de padrões e na detecção de mudanças associadas a ações antrópicas e naturais [1].

A utilização de imagens orbitais, nesse caso, mostra-se como importante fonte de dados temporais, devido a periodicidade de aquisição e ao recobrimento de grandes áreas da superfície terrestre. Essas condições possibilitam o monitoramento das alterações da vegetação ao longo do tempo e do espaço. Como exemplo de produtos orbitais que cumprem os requisitos periodicidade e área imageada, tem-se os do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), com destaque aos voltados a estudos dos ecossistemas terrestres.

Nessa perspectiva, [2] propuseram uma metodologia para detecção de limiares de desmatamento no bioma Cerrado por meio de séries temporais de índices de vegetação (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* e EVI - *Enhanced Vegetation Index*) do sensor MODIS. Os autores definem por limiares de desmatamento, aqueles valores de NDVI e EVI abaixo dos quais a vegetação foi removida (percebida pela diminuição drástica e súbita dos índices) e podem ser considerados como desmatamento. A proposta metodológica foi embasada na justificativa de que áreas naturais desmatadas tendem a apresentar valores de índices de vegetação das passagens subsequentes do sensor MODIS menores do que os limiares de desmatamento.

Neste trabalho, os autores buscaram adaptar essa proposta metodológica para as condições do bioma Mata Atlântica. Dessa forma, este trabalho tem por objetivo a utilização de séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor MODIS para detecção de limiares de desmatamento no bioma Mata Atlântica.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo corresponde a região central do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). A área equivale a 1.376,63 km<sup>2</sup> e está localizada na região do Planalto Médio, que alcança altitudes de aproximadamente 700 metros na porção leste e 400 a 500 metros a oeste, incluindo a bacia do Alto Jacuí, cujo vale possui altitudes inferiores a 200 metros. Conforme a classificação climática de Köppen, o clima na região é denominado de Cfa, Subtropical Úmido [3]. As áreas florestais, foco principal deste trabalho, pertencem ao bioma Mata Atlântica e à região fitoecológica Floresta Estacional Decidual [4].

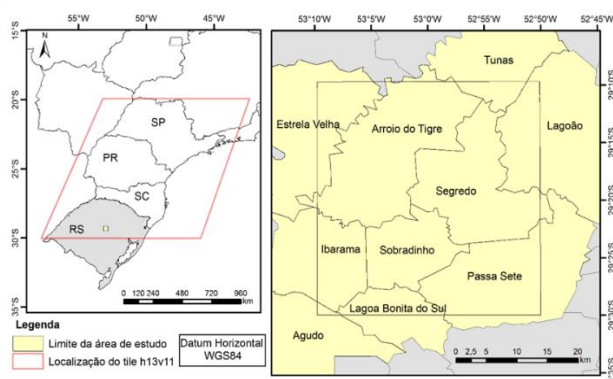


Figura 1. Localização da área de estudo.

Foram considerados os dois índices de vegetação do produto MOD13Q1, o NDVI [5] e o EVI [6], disponibilizados a cada 16 dias e com resolução espacial de 250 m. A partir desses dois índices foram obtidas as séries temporais do período compreendido entre janeiro de 2002 a outubro de 2016 (total de 341 imagens). As imagens foram obtidas e amostradas para as classes de uso e cobertura da terra floresta, agricultura e campo. Ao todo foram obtidos e amostrados 42 pontos, 15 de floresta, 15 de agricultura e 12 de campo. A seleção dos pontos foi realizada tendo como base as imagens do aplicativo Google Earth, que permitiu a identificação de pontos cujas classes de uso e cobertura da terra não modificaram ao longo do período avaliado. Procurou-se selecionar ao menos quatro pixels para cada ponto amostral, os quais foram convertidos para um único valor por meio de média aritmética. Um arquivo no formato kml.\* foi gerado com a localização dos pontos selecionados, o qual foi utilizado na etapa de extração das séries temporais de NDVI e EVI.

As assinaturas temporais foram extraídas por meio da ferramenta Web SATVeg - Sistema de Análise Temporal da Vegetação - desenvolvida pela Embrapa Informática

Agropecuária [7]. Essa ferramenta permite a importação máscaras nos formatos kml/kmz e *shapefile*, facilitando a localização dos pontos previamente selecionados.

Para minimizar os efeitos dos ruídos das séries temporais, os dados foram obtidos com pré-filtragem e filtragem. A pré-filtragem corresponde a aplicação de um método simples, baseado em interpolação bi-linear, para a eliminação de valores não válidos (No Data) e de valores classificados com a presença de nuvem e de neve pelos dados de qualidade do pixel [7]. Já para a filtragem, o SATVeg disponibiliza três opções de filtro para as séries temporais, FlatBottom, Wavelet Coiflet4 e Savitzky-Golay. O filtro Savitzky-Golay [8], apresenta resultados confiáveis em comparação a outros filtros de série temporal [9], sendo, portanto, selecionado para esse trabalho, com largura da janela aplicada de tamanho quatro.

Após a obtenção das séries temporais foram definidos os limiares de desmatamento: valores de NDVI e EVI abaixo dos quais podem ser considerados como desmatamento [2]. Além disso, foram identificados os usos e coberturas, para os quais, as áreas desmatadas foram convertidas.

A validação dos limiares de desmatamentos foi verificada a partir dos dados (polígonos) de desmatamento do bioma Mata Atlântica dos anos 2013 e 2016, disponibilizados pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), via projeto Sinditabaco [10]. Os polígonos de desmatamentos foram identificados a partir da classificação supervisionada de imagens RapidEye (5m de resolução espacial).

Foram selecionados os polígonos de desmatamento e destes extraído as assinaturas temporais, as quais foram comparadas à assinatura espectral de floresta tomada como referência para a área de estudo. Além disso, tomando como referência as séries temporais representativas de cada classe de uso e cobertura da terra (agricultura e campo) foi possível ainda, indicar a utilização da área convertida.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta as séries temporais dos índices de vegetação NDVI e EVI de floresta, agricultura e campo. Todas as séries demonstraram a relação direta da sazonalidade climática com a sazonalidade da vegetação. As séries temporais apresentaram padrão senoidal, em que os picos mais altos (dezembro a janeiro) coincidiram com a estação chuvosa e os valores mais baixos com a estação de seca (julho a agosto). Os picos ocorrem a cada 23 observações, correspondendo a um ano. De acordo com [1] os picos evidenciam ainda, a dinâmica anual dos dados com ganho de massa foliar verde de julho a março e senescência (ou dormência/queda das folhas/colheita) no outono e inverno.

As séries temporais (EVI e NDVI) de floresta, como mencionado, apresentaram padrão sazonal marcado, estando diretamente relacionado às características vegetacionais, tais como composição florística e estrutura do dossel, próprias da Floresta Estacional Decidual. As principais características

desse tipo de vegetação correspondem às estações climáticas bem definidas, marcando a estacionalidade fisiológica da floresta no período frio (ou seco), e a presença predominante de espécies caducifólias (superior a 50%) [4], que perdem suas folhas no inverno alterando a resposta espectral do dossel nesse período. Vale destacar que, quando comparado ao NDVI, o EVI apresentou variabilidade anual maior, revelando-se mais sensível à detecção de mudanças. Resultados similares foram obtidos por [11] e [12].

As séries temporais de NDVI e EVI de agricultura demonstraram claramente dois ciclos anuais de produção, com cultivos alternados de culturas de inverno e verão. Na região onde as amostras foram coletadas predomina o cultivo de fumo, milho e soja. Entretanto, como a série temporal aqui apresentada para agricultura trata-se da média de amostras com diferentes culturas, não se pode associar a assinatura espectral à uma única e determinada cultivar agrícola. Além disso, por se tratar de série temporal longa, as culturas agrícolas podem ter sido alternadas ao longo dos anos.

As séries temporais de campo apresentaram perturbações nos padrões sazonais esperados para o EVI e NDVI em dois períodos, sendo estes entre 2004 a 2006 e 2011 a 2013. Durante esses períodos os fenômenos El Niño (2004-2005; 2006-2007; 2009-2010; 2015-2016) e La Niña (2007-2008; 2010-2011; 2011-2012) ocorreram alternadamente e com intensidades distintas, podendo estes terem contribuído para tais perturbações. Perturbações no padrão sazonal em série temporal de campo nativo entre os anos 2004-2006 também foram identificadas por [1].

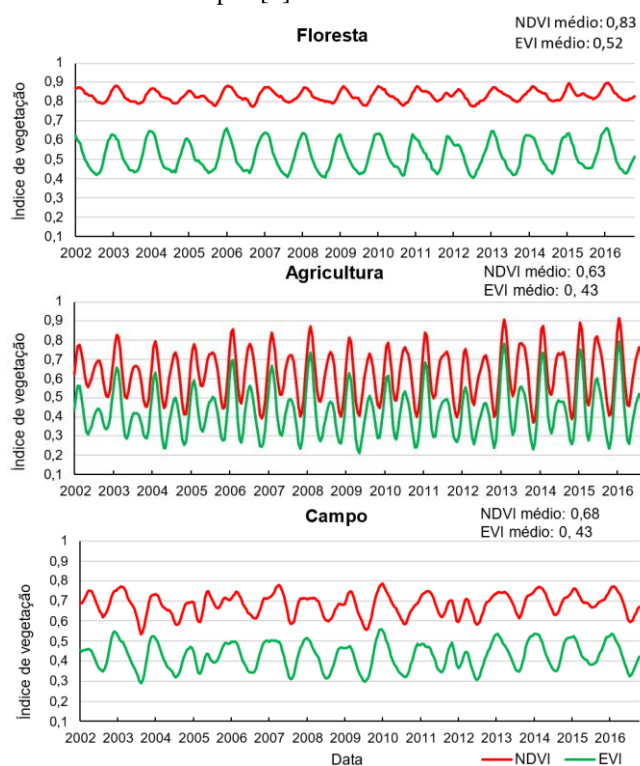


Figura 2. Séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) para floresta, agricultura e campo.

Os valores mínimos das séries temporais NDVI e EVI são apresentados na Tabela 1, com destaque para os valores mínimos dos índices de vegetação de florestas, a partir dos quais definiu-se os limiares de desmatamento.

Tabela 1. Valores mínimos de NDVI e EVI para floresta, agricultura e campo.

	Floresta	Agricultura	Campo
NDVI	<b>0,77</b>	0,37	0,53
EVI	<b>0,40</b>	0,21	0,28

Os limiares de desmatamento foram correspondentes ao valor mínimo de EVI (0,40) e NDVI (0,77), abaixo dos quais é considerado como início de um evento de desmatamento. Valores similares aos do índice EVI foram encontrados em formações florestais do bioma Cerrado, onde os valores de EVI mínimo variaram entre 0,38 e 0,42 [2]. Já o NDVI mínimo definido nesse mesmo estudo foi inferior (0,64) ao observado para o bioma Mata Atlântica.

A validação dos limiares encontrados é apresentada na sequência a partir de exemplos de desmatamentos. Nos exemplos das Figura 3, 4 e 5 observa-se a eficácia dos limiares para a identificação de desmatamentos, com destaque para o limiar do NDVI, onde os desmatamentos ficaram mais evidentes na série temporal.

#### 4. CONCLUSÕES

As séries temporais de NDVI e EVI podem ser utilizadas para determinar limiares de desmatamentos no bioma Mata Atlântica. Sua aplicação é principalmente útil quando se trata de grandes áreas florestais, onde é possível obter a resposta espectral de pixels considerados puros.

Mesmo o EVI apresentando maior variabilidade anual, sendo esse um bom indicativo para detecção de mudanças, as alterações ocasionadas pelo desmatamento nas séries temporais foram melhor visualizadas nas séries do NDVI.

Devido às condições fundiárias da região central do Rio Grande do Sul, a identificação de pixels puros pode limitar a aplicação dessa metodologia. Dessa forma, como trabalhos futuros os autores sugerem definir limiares de desmatamento para diferentes porcentagens de mistura espectral. Podendo ainda, definir limiares de desmatamento para diferentes estágios sucessionais das florestas.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsas; e ao Convênio UFSM/Sinditabaco, pelo apoio financeiro via Projeto nº 041748/FATEC.

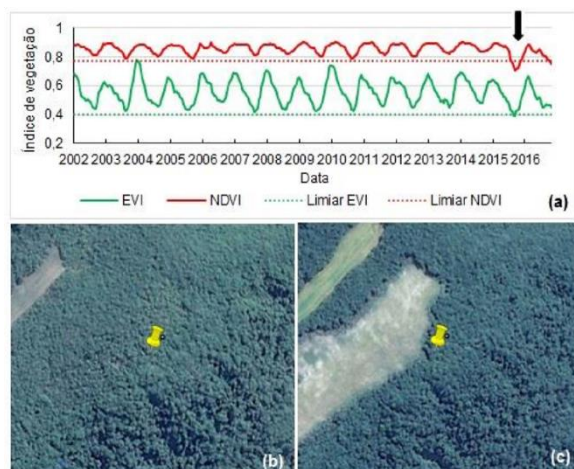


Figura 3. Séries temporais de um ponto de desmatamento (-52,86; -29,44). A seta indica que em meados de 2015 as séries temporais cruzam os limiares de desmatamento (a). Em (b) o recorte de uma imagem de 15/08/2013 (área não desmatada). Em (c) recorte de uma imagem de 15/03/2016, onde observa-se o desmatamento.

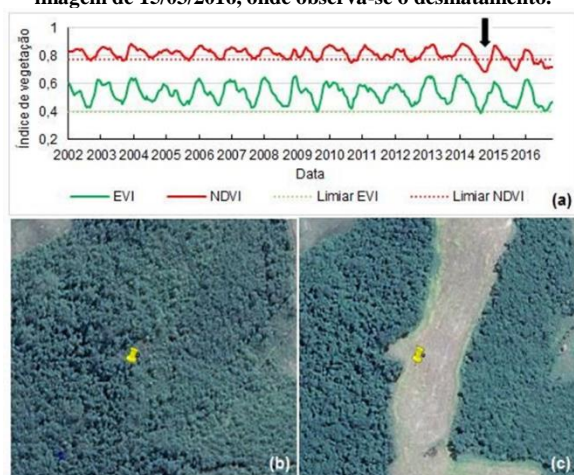


Figura 4. Séries temporais de um ponto de desmatamento (Log. -52,98; Lat. -29,31). A seta em preto indica que em meados de 2014 as séries temporais cruzam os limiares de desmatamento (a). Em (b) o recorte de uma imagem de 15/08/2013 (área não desmatada). Em (c) recorte de uma imagem de 15/03/2016, onde observa-se o desmatamento.

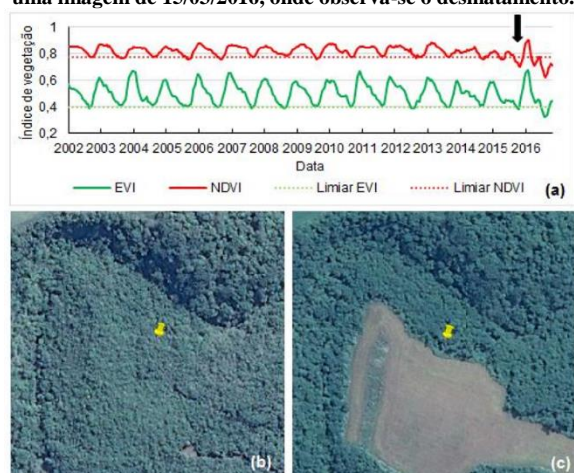


Figura 5. Séries temporais de um ponto de desmatamento (Log. -52,88; Lat. -29,34). A seta indica que em meados de 2015 as séries temporais cruzam os limiares de desmatamento (a). Em (b) o recorte

de uma imagem de 15/08/2013 (área não desmatada). Em (c) recorte de uma imagem de 15/03/2016, onde observa-se o desmatamento.

## 6. REFERÊNCIAS

[1] Kuplich, T.M.; Moreira, A.; Fontana, D. “Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.10, pp.1116–1123, 2013

[2] Bayma, A.P.; Sano, E.E. “Séries temporais de índices de vegetação (NDVI E EVI) do sensor MODIS para detecção de desmatamentos no bioma Cerrado”. *Bol. Ciênc. Geod.*, Curitiba, v. 21, n. 4, pp.797-813, 2015.

[3] Moreno, J.A. “Clima do Rio Grande do Sul”. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42 p.

[4] Leite, P.F. “As diferentes unidades fitoecológicas da região sul do Brasil; proposta de classificação”. Curitiba: UFPR, 1994. 160 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1994.

[5] Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. “Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium”, 3., 1973, Washington, D. C. *Proceedings...* Washington, D. C.: NASA. Goddard Space Flight Center, v. 1, pp. 309- 317, 1973.

[6] Huete, A.R.; Liu, H.Q.; Batchily, K.; Van Leeuwen, W. “A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS”. *Remote Sensing of Environment*. v. 59, pp. 440-451, 1997. /

[7] SATVeg. Sistema de Análise Temporal da Vegetação. Disponível em: <<https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/login.html>>. Acesso em: 20 out. 2016.

[8] Savitzky A. e Golay, M.J.E.”Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures”, *Analytical Chemistry*, v. 36, pp. 1627.1639, 1964.

[9] Chen, J., Jönsson, P., Tamura, M., Gu, Z., Matsushita, B.; Eklundh, L. “A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky.Golay filter”. *Remote Sensing of Environment*, v.91, pp. 332-334, 2004.

[10] FATEC – Fundação de apoio a tecnologia e a ciência. “Monitoramento de Fragmentos Florestais em Áreas da Floresta Estacional Semidecidual na Região Centro-Serra do RS”. Projeto nº 041748, 2019.

[11] Dalla Nora, E. L.; Santos, J. E. “Análise da dinâmica sazonal de duas formações florestais do bioma Mata Atlântica com base em índices de vegetação”. *Perspectiva*, Erechim, v. 4, n.125, pp. 41-51, 2010.

[12] Ginciene, B. R.; Bitencourt, M. D. Utilização do EVI (*Enhanced Vegetation Index*) para maior sensibilidade na detecção de mudanças temporais em fragmentos de floresta estacional semidecidual. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15., 2011, Curitiba. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2011. p. 16201627.