

MONITORAMENTO INTERANUAL DO MANEJO FLORESTAL COM SENSORIAMENTO REMOTO

Fabio Marcelo Breunig¹, Edison Rogério Perrando¹; Lênio Soares Galvão², Sérgio Luiz Bostelmann³, Vlademir Martarello³, Bruno Conte³

¹Universidade Federal de Santa Maria – campus Frederico Westphalen – UFSM - FW, caixa postal 73, 98400-000, Frederico Westphalen, RS. E-mail: breunig@ufsm.br; edison.perrando@ufsm.br; ² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, SP. E-mail: lenio.galvao@dsr.inpe.br; ADAMI S/A, Rua Nereu Ramos, nº 196 - Centro SC, POBOX 89500-076, Caçador – SC. E-mail: sergio.bostelmann@adami.com.br; vlademir.martarello@adami.com.br; bruno.conte@adami.com.br

RESUMO

O monitoramento de florestas comerciais por satélites é importante para a gestão conjunta do empreendimento e dos riscos ambientais associados. Nesse sentido, utilizou-se índices de vegetação para a identificação e monitoramento das ações de manejo florestal no sul do Brasil (Estado de Santa Catarina). A área de estudo é representada por três micro-bacias hidrográficas: uma composta por floresta nativa e outras duas por pinus. Foram utilizados dados de campo e dos satélites Landsat 4-5 e 8, além de cenas RapidEye e PlanetScope. Com o uso de diferentes cenas, foram identificados os períodos de intervenção baseado na diferença de NDVI e EVI entre os padrões das séries temporais da floresta nativa e das cultivadas. Os resultados mostraram que as imagens permitem identificar e monitorar os eventos de corte raso e o primeiro desbaste. Contudo, o segundo e terceiro desbastes não foram identificados com índices de vegetação em função dos menores distúrbios observados sobre o dossel pelos satélites.

Palavras-chave — pinus, floresta, índice de vegetação, imagem, dinâmica.

ABSTRACT

Satellite monitoring of commercial forest plantations is important for joint management of the production and environmental risks. Here, the objective was to use vegetation indices to identify and monitor forest management practices in Southern Brazil (state of Santa Catarina). The study area includes three small watersheds: one covered by native forest and two covered by pinus. We used field data and satellite images of Landsat 4-5 and 8 in conjunction with RapidEye and PlanetScope data. Using multi-temporal images, the period of intervention was identified based on the NDVI and EVI time series differences between the native and planted forests. The results showed that the images allowed identification and monitoring of the clear cutting and first thinning. However, the second and third thinning were not identified using vegetation indices because of the small disturbance observed over the canopies by the satellites.

Key words — pinus, forest, vegetation index, time series.

1. INTRODUÇÃO

O manejo florestal normalmente é conduzido em escala local, verificando as condições do sítio em que os plantios estão alocados. Dessa forma, a determinação de períodos de intervenção e o monitoramento das ações de corte raso e desbaste normalmente não são identificadas em larga escala, apesar de sua importância para o entendimento das mudanças climáticas e hidrológicas locais [1]–[4]. Assim, monitorar as ações de intervenção em áreas florestais cultivadas é de suma importância diante da crescente expansão do setor florestal no Brasil [5].

Contudo, considerando a escala continental do território nacional, ferramentas de sensoriamento remoto são imprescindíveis para tal monitoramento [6,7]. Dentre as diversas técnicas empregadas, os clássicos índices de vegetação têm sido bastante explorados [8,9]. O Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) [10,11] e o Enhanced Vegetation Index (EVI) [12] representam dois dos mais comuns e populares índices de vegetação utilizados nas aplicações florestais e agrícolas.

Partindo da hipótese de que existe um padrão coerente entre a variação dos índices de vegetação da floresta nativa e das plantas cultivadas, acredita-se que, ao se identificar os padrões antagônicos de índices em séries temporais, pode-se definir os períodos de desbaste nas áreas experimentais. Nesse contexto, o objetivo do estudo é avaliar a possibilidade de usar ferramentas de sensoriamento remoto baseadas em índices de vegetação para identificar os diferentes tipos de manejo que ocorrem em uma área de *Pinus taeda* L., no centro oeste de Santa Catarina. O estudo se baseia no uso de imagens da série Landsat, RapidEye e PlanetScope.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização das áreas de estudo e do manejo florestal

A área de estudo engloba três microbacias hidrográficas pareadas localizadas no centro oeste do Estado de Santa Catarina, Brasil (Figura 1). A região apresenta clima subtropical tipo Cfa com média de precipitação anual entre 1600 mm e 1800 mm e uma temperatura média anual de 16°C (Classificação Köppen-Geiger) [13,14]. O relevo da região é

ondulado com solos derivados de substrato vulcânico [15], marcadamente dominado por Cambissolos e Neossolos Litólicos [16].

O atual sistema de manejo florestal adotado na empresa Adami S/A (proprietária das áreas de estudo) consiste no plantio de *Pinus taeda* L. com rotação de aproximadamente 18 anos. A densidade de plantio inicial é de 1.600 mudas por hectare., sendo que o primeiro desbaste ocorre aos 9 anos, com a remoção completa da quinta linha de plantio e corte seletivo nas demais (removendo aproximadamente 45-48% das plantas). O segundo e terceiro desbastes seletivos ocorrem com 12 e 15 anos. Ao final de todos os desbastes, o número de árvores por hectare é reduzido em aproximadamente 75% de sua densidade inicial. Esse procedimento de manejo é aplicado nas microbacias de pinus A e B (Figura 1).

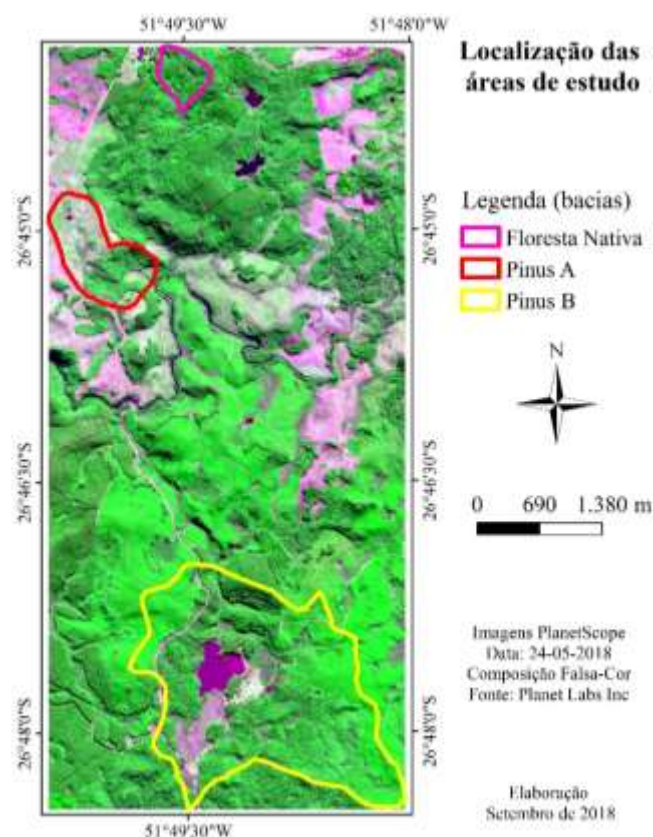


Figura 1. Indicação da posição geográfica dos três sites na área de estudo, localizada no centro oeste do Estado de Santa Catarina, Brasil. A imagem de 24 de maio de 2018 - composição colorida falsa cor, é apresentada (sensor PlanetScope).

Ocupando uma área de 15 hectares, a microbacia de floresta nativa (Figura 1) é composta predominantemente por Floresta Ombrófila Mista [17]. Ela foi utilizada como referência para a identificação dos períodos em que ocorreu algum tipo de desbaste nas micro-bacias plantadas (pinus A e B).

Foram feitas visitas semestrais a campo nos anos de 2013 a 2016 para avaliar diversos parâmetros das microbacias. A

equipe da empresa forneceu todos os dados referentes às datas de plantio, desbaste e de condições de contorno que envolveram as áreas de estudo. Infelizmente, devido à ausência de um banco de dados, dados anteriores ao ano de 1998 não puderam ser recuperados e validados, apesar dos relatos por parte da equipe da empresa.

2.2. Aquisição e pré-processamento das imagens

Para conduzir o estudo foram utilizadas múltiplas imagens da série Landsat (LT4/LT5/LT8). A data das imagens oscilou entre agosto e novembro no período de 1984 a 2018. As imagens foram adquiridas em reflectância de superfície (produtos Landsat 4-5 Thematic Mapper (TM) Level-2 Data Products - Surface Reflectance e Landsat 8 OLI/TIRS Level-2 Data Products - Surface Reflectance) [18]. Os produtos anuais RapidEye de 2009 a 2018 foram utilizados para avaliações visuais em nível de bacia hidrográfica. A imagem PlanetScope foi utilizada para o mapeamento das bacias junto com os dados de elevação do terreno. As imagens RapidEye e PlanetScope foram fornecidas pela empresa Planet Inc. [19] em radiância no topo da atmosfera e convertidas para reflectância de superfície [20].

Para a avaliação topográfica das áreas de estudo, foram utilizados os dados do aerolevantamento conduzido pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável do estado de Santa Catarina [21]. A resolução espacial do modelo digital de terreno utilizada foi de um metro.

2.3. Análise dos dados

Para avaliar o potencial do uso de imagens de média resolução espacial para a identificação de práticas de manejo florestal (corte raso e desbaste) em nível de bacia hidrográfica, foram utilizados os índices de vegetação NDVI [10] e EVI [12]. Ambos os índices foram computados e avaliados com base na média de toda bacia em análise, acompanhados do desvio padrão.

Para identificar os períodos de desbaste, tomou-se como referência os valores de NDVI e EVI da floresta nativa. Para os anos em que houve oscilação positiva ou negativa destes índices sobre as áreas de pinus, assumiu-se estas mudanças como sendo resultantes da geometria de aquisição dos dados. Para os casos de índices de vegetação constantes sobre a floresta nativa e variáveis (decrecentes) sobre as plantações, assumiu-se que esse comportamento era um indício de mudanças no verdor das áreas de plantio causadas por operações de manejo como corte raso ou desbaste. Dessa forma, foram identificados os anos de intervenção.

3. RESULTADOS

Os resultados da avaliação interanual dos índices de vegetação mostraram que todas as microbacias hidrográficas avaliadas mantiveram valores compatíveis com a presença de vegetação no período estudado (1984-2018) (Figura 2). Tanto para o NDVI (Figura 2a), quanto para o EVI (Figura 2b), as

oscilações menores entre os anos foram normalmente associadas com mudanças fenológicas na vegetação ou com condições de iluminação e visada [22–25]. Por outro lado, quando um padrão antagônico foi identificado para micro-bacias pareadas com cobertura de floresta nativa (sem fortes oscilações de índices ao longo dos anos) e com plantios de pinus (com fortes oscilações), constatou-se que houve interferência na área associada ao manejo florestal.

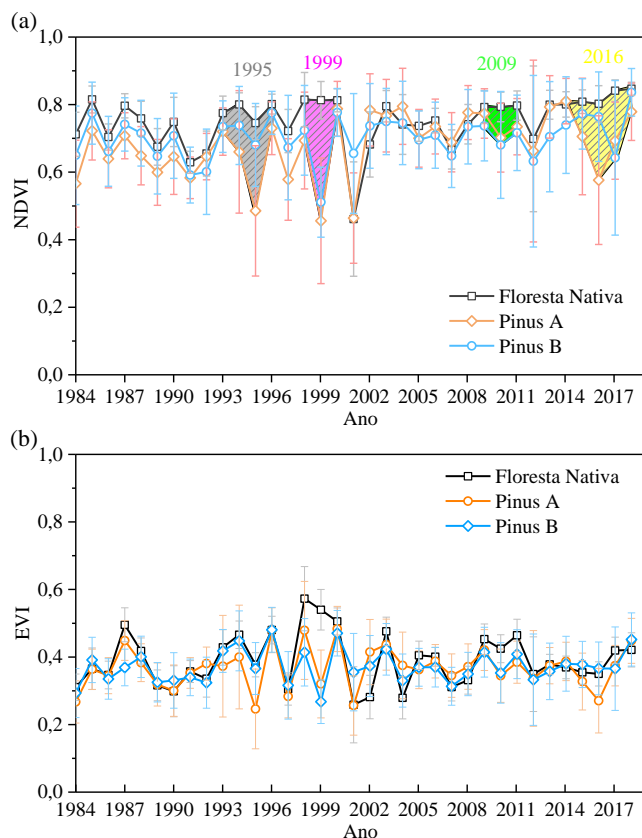


Figura 2. Variação temporal das médias do (a) NDVI e (b) EVI para as três bacias hidrográficas utilizadas no estudo. Índices calculados a partir de imagens Landsat 4, 5 e 8 (reflectância de superfície).

Analisando-se a Figura 2a, observa-se uma região hachurada em cinza onde os valores de NDVI calculados, tanto sobre floresta nativa, quanto sobre floresta plantada, covariam. Contudo, para hachuras em magenta, verde e amarelo, o padrão antagônico associado às práticas de manejo foi identificado. Assim, com base nos levantamentos de campo (equipe da empresa), verificou-se que nos anos de 1999, 2012 e 2015 houveram processos de corte raso (em parte da área) e o primeiro desbaste. No caso da área em cinza, verificou-se que a microbacia A apresentou um decréscimo mais acentuado dos índices de vegetação em função do efeito combinado do terceiro desbaste e das condições de contorno inerentes àquela cena. Embora menos bem definido, o comportamento do NDVI foi também observado com dados do EVI (Figura 2b). O efeito do corte

raso é ilustrado na Figura 3. Para o ano de 2019, não foi identificado desbaste em campo, contudo, as imagens indicam tal padrão.

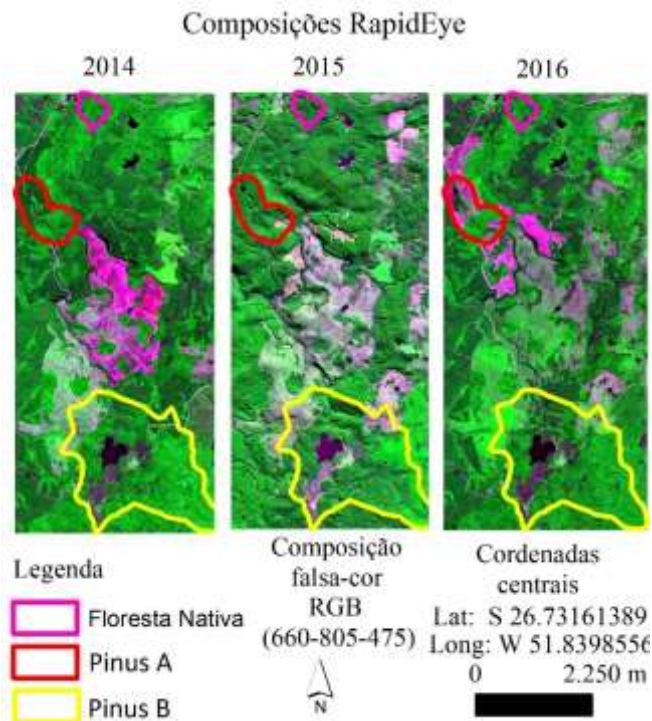


Figura 3. Imagens RapidEye (composição falsa cor RGB/660-800-450 nm) de 2014, 2015 e 2016 mostrando a variação espacial do cobertura por pinus nas micro-bacias cultivadas.

O segundo e terceiro desbastes não foram claramente identificados nas séries Landsat devido ao seu menor impacto sobre a estrutura do dossel. Esses desbastes removeram de forma seletiva os exemplares dominados e suprimidos de pinus, ou seja, que já não eram “visíveis” nas imagens orbitais. Assim, verificou-se que esses desbastes não afetaram de forma clara o valor da reflectância de superfície nas duas micro-bacias com pinus e, conseqüentemente, os valores de EVI e NDVI.

Cabe destacar que, apesar do controle de campo, a análise das médias por microbacia suavizou o impacto das ações de manejo florestal sobre os índices de vegetação (Figura 3). Assim, sugere-se que novos estudos sejam conduzidos focando na normalização das diferenças entre floresta nativa e plantada em abordagem pixel-a-pixel.

4. CONCLUSÕES

Os resultados permitiram concluir que é possível utilizar os índices de vegetação NDVI e EVI para identificar e monitorar o corte raso e o primeiro desbaste nas áreas estudadas. O segundo e terceiro desbaste não foram identificados nas imagens devido ao menor impacto destas práticas sobre a estrutura do dossel. O NDVI permitiu monitorar de forma

mais eficaz os impactos do manejo por corte raso e desbaste, mas o EVI também detectou tais variações.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa ADAMI S/A pelo suporte financeiro e assistência de campo. Ao NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LPDAAC) pelo acesso aos dados da série Landsat. À empresa Planet Lab Inc. pelo acesso aos dados PlanetScope e RapidEye. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro (processos n° 309030/2017-0 e 113769/2018-0).

6. REFERÊNCIAS

- [1] Y. Liu, V. F. Bralts, and B. A. Engel, "Evaluating the effectiveness of management practices on hydrology and water quality at watershed scale with a rainfall-runoff model," *Sci. Total Environ.*, vol. 511, pp. 298–308, 2015.
- [2] M. Zhang *et al.*, "A global review on hydrological responses to forest change across multiple spatial scales: Importance of scale, climate, forest type and hydrological regime," *J. Hydrol.*, vol. 546, pp. 44–59, Mar. 2017.
- [3] L. Bren and P. Hopmans, "Paired catchments observations on the water yield of mature eucalypt and immature radiata pine plantations in Victoria, Australia," *J. Hydrol.*, vol. 336, no. 3–4, pp. 416–429, Apr. 2007.
- [4] P. S. Käfer, F. E. Rex, F. M. Breunig, and R. Balbinot, "Modeling Pinus elliottii growth with multitemporal Landsat data: a study case in southern Brazil," *Bol. Ciências Geodésicas*, vol. 24, no. 3, pp. 286–299, Aug. 2018.
- [5] Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ - Brazilian Three Industry, "Report 2017 - Relatório 2017," Brasília, 2017.
- [6] S. E. Franklin and M. A. Wulder, "Remote Sensing of Forest Environments, Conclusions," in *Remote Sensing of Forest Environments*, Boston, MA: Springer US, 2003, pp. 511–514.
- [7] G. P. Asner, R. E. Martin, C. B. Anderson, and D. E. Knapp, "Quantifying forest canopy traits: Imaging spectroscopy versus field survey," *Remote Sens. Environ.*, vol. 158, pp. 15–27, Mar. 2015.
- [8] L. Galvão, J. Epiphany, F. Breunig, and A. Formaggio, "Crop Type Discrimination Using Hyperspectral Data," in *Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation*, 1st ed., A. Prasad S. Thenkabail, U.S. Geological Survey, Arizona, USA; John G. Lyon, Clifton, Virginia, USA; Alfredo Huete, University of Technology, Sydney, Ed. Boca Raton: CRC Press, 2011, pp. 397–422.
- [9] A. R. Huete, H. Q. Liu, K. Batchily, and W. van Leeuwen, "A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS," *Remote Sens. Environ.*, vol. 59, no. 3, pp. 440–451, 1997.
- [10] J. W. Rouse, R. H. Hass, J. A. Schell, and D. W. Deering, "Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS," in *Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) symposium*, 1973, vol. 1, pp. 309–317.
- [11] J. Wang, T. W. Sammis, and V. P. Gutschick, "Review of Satellite Remote Sensing Use in Forest Health Studies," *Open Geogr. J.*, vol. 3, pp. 28–42, 2010.
- [12] A. Huete, K. Didan, T. Miura, E. P. Rodriguez, X. Gao, and L. G. Ferreira, "Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices," *Remote Sens. Environ.*, vol. 83, no. 1–2, pp. 195–213, Nov. 2002.
- [13] M. Kottek, J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel, "World map of the Köppen-Geiger climate classification updated," *Meteorol. Zeitschrift*, vol. 15, no. 3, pp. 259–263, 2006.
- [14] C. A. Alvares, J. L. Stape, P. C. Sentelhas, J. L. De Moraes Gonçalves, and G. Sparovek, "Köppen's climate classification map for Brazil," *Meteorol. Zeitschrift*, vol. 22, no. 6, pp. 711–728, Dec. 2013.
- [15] M. Brea and A. F. Zucol, "The Paraná-Paraguay Basin: Geology and Paleoenvironments," in *Historical biogeography of Neotropical freshwater fishes*, J. S. Albert and R. E. Reis, Eds. California: University of California Press, 2011, pp. 69–87.
- [16] D. Dortzbach, M. G. Pereira, L. H. C. dos Anjos, A. Fontana, and E. de C. Silva Neto, "Genesis and classification of soils from subtropical mountain regions of Southern Brazil," *Rev. Bras. Cienc. do Solo*, vol. 40, no. Nov 03, p. e0150503, 2016.
- [17] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*, 2nd ed. Rio de Janeiro: IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012.
- [18] United States Geological Survey – USGS, "Landsat Missions: Imaging the Earth Since 1972," *Landsat Missions Timeline*, 2018. [Online]. Available: <https://landsat.usgs.gov/landsat-missions-timeline>. [Accessed: 20-Oct-2017].
- [19] Planet Labs Inc., "Planet imagery product specifications," Mountain View, 2018.
- [20] Rsi and Rsi, "FLAASH User's Guide - ENVI FLAASH Version 4.3," 2006.
- [21] Estado de Santa Catarina, "Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina (SIGSC) - Catarina State Geographic Information System (SCGIS) database." Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável., Florianópolis, p. não se aplica, 2010.
- [22] L. S. Galvão, J. R. dos Santos, R. D. da Silva, C. V. da Silva, Y. M. Moura, and F. M. Breunig, "Following a site-specific secondary succession in the Amazon using the Landsat CDR product and field inventory data," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 36, no. 2, pp. 574–596, Jan. 2015.
- [23] L. S. Galvão, J. R. dos Santos, R. D. da Silva, C. V. da Silva, Y. M. Moura, and F. M. Breunig, "Following a site-specific secondary succession in the Amazon using the Landsat CDR product and field inventory data," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 36, no. 2, pp. 574–596, Jan. 2015.
- [24] F. M. Breunig *et al.*, "Spectral anisotropy of subtropical deciduous forest using MISRand MODIS data acquired under large seasonal variation in solarzenith angle," *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, vol. 35, no. PB, pp. 294–304, Mar. 2015.
- [25] L. S. Galvão, F. M. Breunig, T. S. Teles, W. Gaida, and R. Balbinot, "Investigation of terrain illumination effects on vegetation indices and VI derived phenological metrics in subtropical deciduous forests," *GIScience Remote Sens.*, vol. 1603, no. December, p. 15481603.2015.1134140, Dec. 2015.