

IDENTIFICAÇÃO DE ESTÁDIOS FENOLÓGICOS EM PLANTIOS DE EUCALIPTO UTILIZANDO O MODELO LINEAR DE MISTURA ESPECTRAL

Gabriel M. da Silva¹, Yosio E. Shimabukuro¹, Andeise C. Dutra¹, Guilherme Mataveli¹, Valdete Duarte¹, Paulo R. Martini¹, Henrique L. G. Cassol¹, Danilo S. Ferreira², Luís R. Junqueira², Afonso H. Oliveira³

¹ Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto - PGSER, Divisão de Observação da Terra e Geoinformática - DIOTG, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 12.227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil, {gabriel.maximo; yosio.shimabukuro; andeise.dutra; guilherme.mataveli; valdete.duarte; paulo.martini; henrique.cassol}@inpe.br; ² Sylvamo, Rodovia SP 340, km 171, Mogi Guaçu 13840-970, Brasil, {Danilo.Ferreira1; luis.junqueira}@sylvamo.com; ³ Universidade Federal do Oeste do Pará, 68040-255 – Santarém – PA, Brasil, afonsoholiveira@gmail.com.

RESUMO

Este estudo busca identificar estádios fenológicos de plantios de Eucalipto por meio de ferramentas de Sensoriamento Remoto orbital. Este artigo utiliza como método proposto o Modelo Linear de Mistura Espectral para identificar ciclos fenológicos em plantios florestais de Eucalipto. Foram utilizados mosaicos mensais de imagens Landsat-8 (OLI) no período entre maio de 2013 a abril de 2014 para verificar o comportamento dos estágios fenológicos da espécie de acordo com o ciclo de rotação. O método proposto permite identificar por meio das imagens fração os períodos de plantio e colheita em períodos de mudanças. Os resultados são importantes para subsidiar futuros estudos que levem em consideração estágios fenológicos em florestas plantadas em diferentes escalas.

Palavras-chave — modelo linear de mistura espectral, imagem fração, eucalipto, plantio florestal, processamento de imagem.

ABSTRACT

This study aims to identify phenological stages of Eucalypt plantations using orbital Remote Sensing tools. This article uses as a proposed method the Linear Spectral Mixture Model to identify phenological cycles in Eucalypt Forest plantations. Monthly mosaics of Landsat-8 images (OLI) were used in the period between May 2013 and April 2014 to verify the behavior of the phenological stages of the species according to the rotation cycle. The proposed method makes it possible to identify through the fraction images the planting and harvesting periods. The results are important to support future studies that take into account phenological stages in planted forests at different scales.

Key words — linear spectral mixing model; fraction images; eucalypt; pine; forest plantation; image processing.

1. INTRODUÇÃO

Técnicas de sensoriamento remoto são ferramentas úteis para identificar e caracterizar a mudança do uso e cobertura da terra em diferentes escalas associadas a custos monetários mais baixos quando comparados a outros métodos de aquisição como campanhas de campo. As classes de agricultura e pastagem destacam-se na literatura quanto às classificações de uso e cobertura da terra, principalmente pelo dinamismo temporal das culturas. Por outro lado, classificação de florestas plantadas possuem dinâmicas que demandam atenção quanto a classificação de seus ciclos fenológicos para a identificação precisa em sua classificação [1, 2].

A crescente disponibilidade de séries temporais de imagens orbitais derivadas de sensoriamento remoto e a sua potencial contribuição para a gestão e conservação ambiental enfatiza a necessidade de desenvolver abordagens específicas para lidar adequadamente com o natureza e volume desses dados [3]. Neste quesito, séries temporais permitem identificar os tipos de uso da terra com maior precisão levando em consideração a sazonalidade e fenologia do tipo de uso da terra [4, 5]. Portanto, métodos que aplicam Modelos Lineares de Mistura Espectral (MLME) em imagens de sensores remotos e derivam em imagens fração (solo, sombra e vegetação) demonstram ser eficientes para mapear a mudança de uso e cobertura da terra, principalmente em áreas agricultáveis e com plantios florestais [1, 6, 7].

Florestas plantadas, principalmente de Eucalipto, possuem ciclos de crescimento bem definidos temporalmente. Assim como as culturas agrícolas que levam em consideração atributos espectrais para entender seus ciclos de crescimento e estádios fenológicos, plantios de Eucalipto com rotações curtas com pouco mais de 6 anos de idade também possuem características similares [1]. Neste contexto, este trabalho propõe investigar a aplicação do MLME em imagens Landsat-8 (OLI) entre maio de 2013 a abril de 2014 em mosaicos mensais para verificar os estádios fenológicos de Eucalipto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo selecionada para este estudo encontra-se no estado de São Paulo, no município de Mogi Guaçu. A área compreende o plantio de Eucalipto da fazenda Santa Terezinha, pertencente à empresa *Sylvamo*, localizada 22°15' S e 47°10' O (Figura 1). A área possui plantio comercial do gênero *Eucalyptus*, portanto grande fluxo de rotação em plantio e colheita. O período de estudo compreende maio de 2013 a abril de 2014, para verificar o comportamento dos estágios fenológicos da espécie de acordo com o ciclo de rotação.

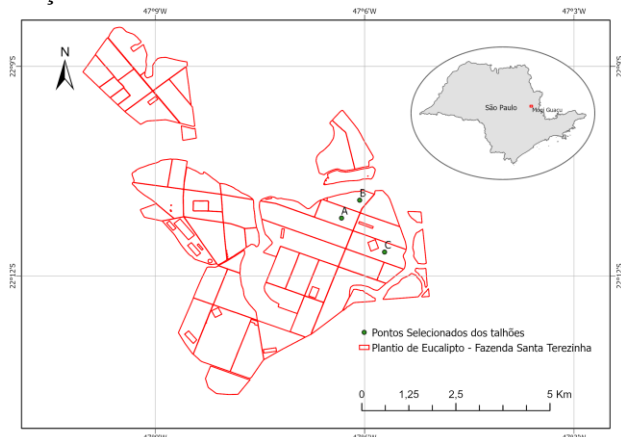


Figura 1. Localização da fazenda Santa Terezinha em Mogi Guaçu, São Paulo.

2.2. Imagens Landsat OLI

Para este estudo, foram utilizados mosaicos mensais de imagens Landsat-8 *Operational Land Imager* (OLI). Foram selecionadas imagens de superfície de reflectância processadas e aplicadas o filtro de nuvem proveniente do algoritmo CFMASK. Após gerados mosaicos mensais, foram aplicados na imagem o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME, [8]) utilizando as bandas B4 (Red), B5 (NIR) B6, (SWIR 1) e B7 (SWIR 2).

2.3. Imagem Fração

Para obter as imagens fração, foi aplicado o MLME, que assume que os valores dos pixels são combinações lineares de reflectância de uma série de componentes, chamados de *endmembers* (Equação 1).

$$R_i = \sum_{j=i}^n f_j r_{i,j} + \varepsilon_i \quad (1)$$

onde: R_i representa a refletância espectral na banda espectral i ; $r_{i,j}$ é a reflectância espectral do componente j na banda espectral i (*endmember*); f_j é a proporção do componente j dentro do pixel; e ε_i é o resíduo da banda espectral i .

As imagens fração derivadas do MLME podem já foram testadas para a detecção dos ciclos de rotação do Eucalipto, e demonstraram ser eficazes para identificar a fenologia desta espécie [1]. Além disso, elas podem ser utilizadas para mapear áreas de colheita devido às seguintes características: a) imagens fração de vegetação destacam as condições de cobertura florestal similares aos índices de vegetação, como o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI, [9]) e o Índice de Vegetação Melhorada (EVI, [10]); b) imagens fração sombra estão relacionadas a estrutura das florestas; e c) imagens de fração solo destacam áreas com altos valores de reflectância, como solo exposto (Figura 2).

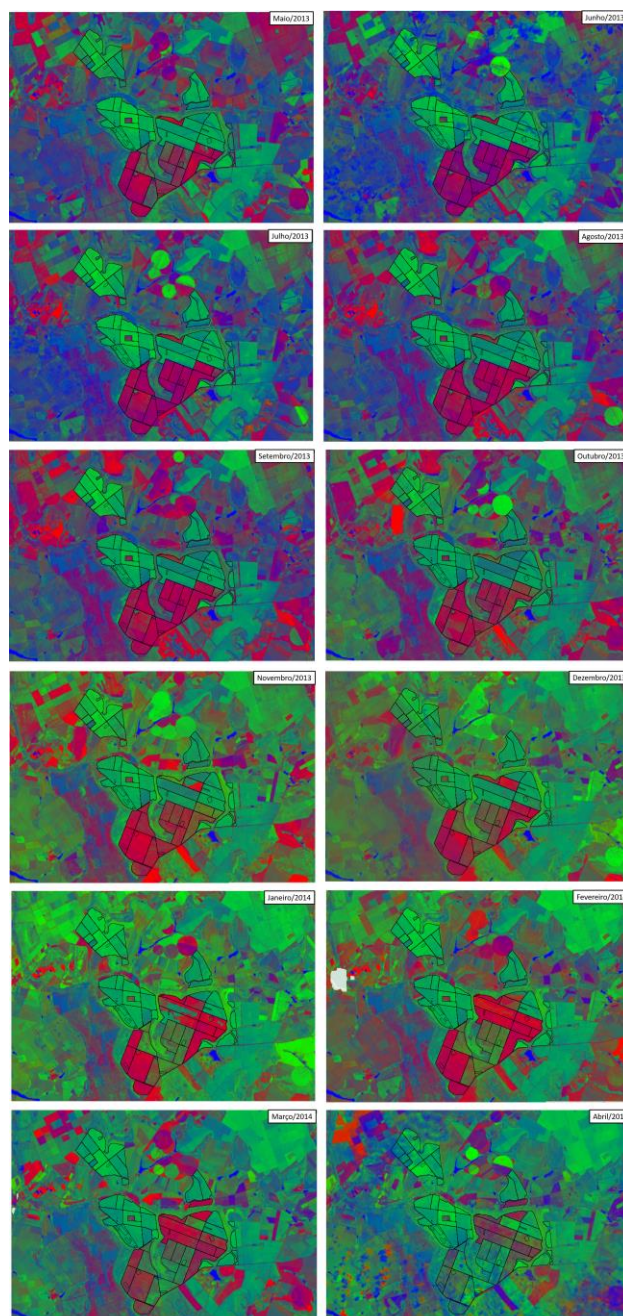


Figura 2. Exemplo de imagens fração (solo (R), vegetação (G), e sombra (B)) para os mosaicos mensais OLI de maio de 2013 a abril de 2014 para a área de estudo.

Os *endmembers* foram coletados baseados em interpretação visual de corpos d'água, plantios de eucalipto e solo exposto. Os mesmos valores de *endmembers* foram aplicados em todos os mosaicos deste estudo. Então, cada imagem fração foi analisada em pontos selecionados da área de estudo que tiveram remoção da vegetação ao longo do período estudado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado gerado baseia-se nos mosaicos OLI por meio do MLME. Para os plantios de Eucalipto, a dinâmica da resposta espectral da fenologia ao longo de um curto período de tempo foi demonstrada através do gráfico com as imagens fração no intervalo de 1 ano (Figura 3). Foram selecionados 3 pontos em diferentes talhões onde houve colheita florestal para verificar a resposta espectral dos ciclos fenológicos.

Na Figura 3, é possível observar o período de colheita no momento em que a curva da fração vegetação cai bruscamente ao passo que a curva da fração solo tem seu pico. As espécies do gênero *Euclyptus* possuem um crescimento vegetativo considerado rápido entre os plantios comerciais, logo, apresentam um incremento na área foliar [11]. Esta região no estado de São Paulo é conhecida por apresentar ciclos médios de 6 anos para cada rotação, podendo variar entre 4 e 8 anos [1].

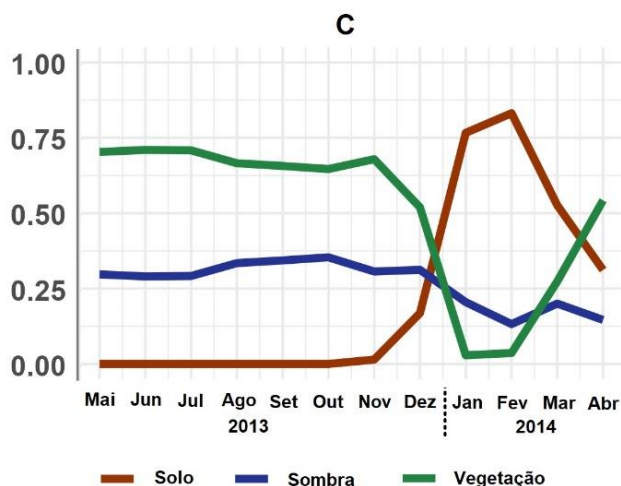
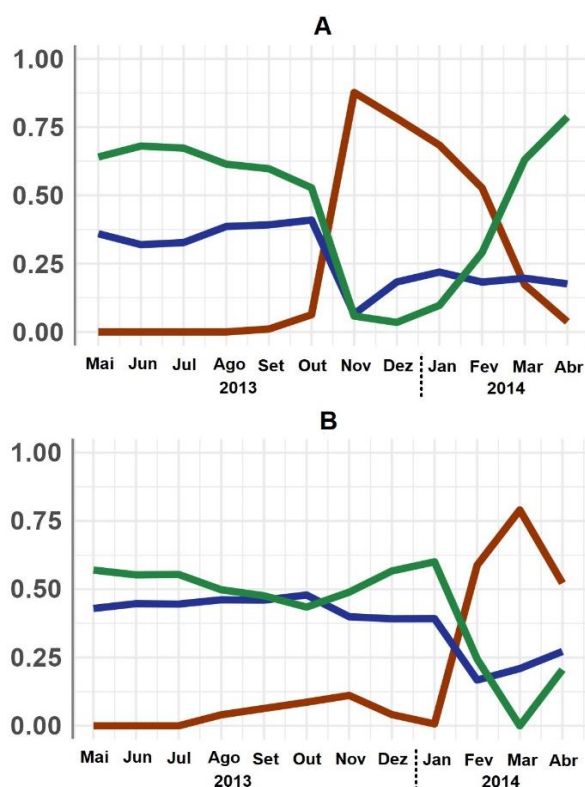


Figura 3. Avaliação fenológica das amostras de plantio de Eucalipto para o período de maio de 2013 a abril de 2014 com base na série temporal de imagens fração solo, sombra e vegetação.

Após a colheita que utiliza métodos de corte raso, removendo toda a vegetação do talhão selecionado, a curva de vegetação chega ao seu valor mínimo. Então, poucos meses após a colheita já é possível observar o aumento da reposta da vegetação em função dos ciclos fenológicos da espécie. Logo, a resposta da fração solo diminui com o aumento da cobertura vegetal. Estas curvas fenológicas estão de acordo com os dados de campo descritos na Tabela 1.

Talhão	Ciclos	Plantio	Colheita
A	Rotação 1	15/Jun./2008	19/Out./2013
A	Rotação 2	25/Mai./2014	-
B	Rotação 1	18/Dez./2008	22/Fev./2014
B	Rotação 2	26/Ago./2014	-
C	Rotação 1	30/Jun./2008	25/Dez./2013
C	Rotação 2	25/Ago./2014	-

Tabela 1. Ciclos de rotação do plantio de Eucalipto de acordo com dados de campo para os pontos selecionados na área de estudo.

Para esta série temporal com mosaicos mensais, é possível identificar o momento da colheita florestal. Por conta do curto período de análise não é possível identificar o ciclo completo de plantio e colheita. Entretanto, observa-se a resposta vegetativa do talhão logo após a colheita em um intervalo curto de tempo. Estes resultados demonstram a importância das séries temporais na identificação dos estádios fenológicos dos plantios para subsidiar decisões de manejo em florestas plantadas.

Neste sentido, sensores orbitais com longa disponibilidade de dados como os sensores acoplados nos satélites Landsat permitem análises temporais robustas. Assim, torna-se possível identificar e classificar áreas de plantios florestais com variados ciclos ao longo do tempo e

estimar a idade dos plantios de diferentes espécies para auxiliar novos métodos de classificação para classes de florestas plantadas. Além disso, por meio da curva da fração vegetação é possível identificar os picos ótimos de reflectância da espécie e definir um limiar de corte quando analisados em séries temporais longas.

4. CONCLUSÕES

Os mosaicos mensais OLI utilizados para extrair as imagens fração vegetação, solo e sombra representaram bem os estádios fenológicos de no início do plantio e na colheita de Eucalipto. Por meio da fração vegetação é possível visualizar com realce a vegetação em seus picos de reflectância ao longo de seu ciclo de corte. Assim como é evidenciado pela fração solo o pico de reflectância no momento da colheita de forma homogênea dentro do talhão.

Mais estudos são necessários para entender o padrão espectral de diferentes espécies comerciais em florestas plantadas, visto que a idade média e o objetivo dos plantios variam entre as espécies florestais. Recomenda-se analisar mosaicos em diferentes períodos ao longo de séries temporais de acordo com o objetivo proposto para a espécie do gênero *Eucalyptus*. Portanto, os resultados obtidos neste trabalho visam enriquecer a discussão científica na proposição de métodos que melhor identifiquem os plantios florestais comerciais e subsidiar o manejo florestal para o setor privado e organizações governamentais.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq-303299/2018-5) e pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, 2019/19371-5) e apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Y.E. Shimabukuro, E. Arai, G.M. da Silva, A.C. Dutra, G. Mataveli, V. Duarte, P.R. Martini, H.L.G. Cassol, D.S. Ferreira, L.R. Junqueira. Mapping and Monitoring Forest Plantations in São Paulo State, Southeast Brazil, Using Fraction Images Derived from Multiannual Landsat Sensor Images. *Forests*, 13, 1716, 2022.
- [2] Y.E. Shimabukuro, E. Arai, G.M. da Silva, A.C. Dutra, G. Mataveli, V. Duarte, P.R. Martini. Mapping and Monitoring Forest Plantation using Fraction Images Derived from Multi-Annual Landsat TM Datasets. *IGARSS 2022 - 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 28 de setembro, 2022
- [3] K. R. McCloy. Development and Evaluation of Phenological Change Indices Derived from Time Series of Image Data. *Remote Sens.* 2, 2442–2473, 2010.

- [4] R.S. Lunetta, J. F. Knight, J. Ediriwickrema, J. G. Lyon, L.D. Worthy. Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *Remote Sens. Environ.* 105, 142–154, 2006
- [5] B.D. Wardlow, J. H. Kastens, S. L. Egbert. Using USDA crop progress data for the evaluation of greenup onset date calculated from MODIS 250-meter data. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 72, 1225–1234, 2006.
- [6] E. Arai, E.E. Sano, A. C. Dutra, H. L. G. Cassol, T. B. Hoffmann, Y.E. Shimabukuro. Vegetation fraction images derived from PROBA-V data for rapid assessment of annual croplands in Brazil. *Remote Sens.* 2020, 12, 1152.
- [7] H. L. G. Cassol, E. Arai, E. Sano; A.C. Dutra, T. B. Hoffmann, Y. E. Shimabukuro. Maximum Fraction Images Derived from Year-Based Project for On-Board Autonomy-Vegetation (PROBA-V) Data for the Rapid Assessment of Land Use and Land Cover Areas in Mato Grosso State, Brazil. *Land*. 9, 139, 2020.
- [8] Y. E. Shimabukuro, and J. A. Smith. The Least-Squares Mixing Models to Generate Fraction Images Derived From Remote Sensing Multispectral Data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 29, 16–20, 1991.
- [9] J. W. Rouse, et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Proceedings of the Third Earth Resources Satellite-1 Symposium* (Maryland: NASA SP-351) pp. 309–317, 1973.
- [10] H. Q. Liu, and A. Huete. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 33, 457–465, 1995.
- [11] X. Deng, S. Guo, L. Sun, J. Chen. Identification of Short-Rotation Eucalyptus Plantation at Large Scale Using Multi-Satellite Imagery and Cloud Computing Platform. *Remote Sens.* 12, 2153, 2020.