

CRIAÇÃO DA SÉRIE TEMPORAL DO PRODES DIGITAL PARA O ESTADO DE RONDÔNIA A PARTIR DOS DADOS DO PRODES 2021

Yosio E. Shimabukuro¹, Egidio Arai¹, Valdete Duarte¹, Paulo R. Martini¹, Luiz E. O. C. Aragão¹, Gabriel M. da Silva¹, Andeise C. Dutra¹, Henrique L. G. Cassol¹, Guilherme Mataveli¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Av. dos Astronautas, 1758 - 12227-010, São José dos Campos - SP, Brasil {yosio.shimabukuro, egidio.arai, valdete.duarte, paulo.martini, luiz.aragao, gabriel.maximo, andeise.dutra, henrique.cassol, guilherme.mataveli}@inpe.br

RESUMO

O projeto PRODES realiza o monitoramento do desmatamento por corte raso na Amazônia Legal desde 1988, disponibilizando inicialmente somente informações na forma de tabelas, sem os mapas da distribuição espacial como atualmente. Dessa maneira, o objetivo deste trabalho é apresentar um método para gerar a distribuição espacial das áreas mapeadas anualmente pelo projeto PRODES para o estado de Rondônia. Nesta descrição do método, a série temporal anual foi agregada a cada 5 anos. Baseado no código de legenda do mapa PRODES de 2021 e nos resultados obtidos pelo método proposto, foi possível recuperar os dados para os anos de 1988 a 2021 referentes ao desmatamento acumulado desde o início do projeto. Além do desmatamento, as classes mapeadas são de hidrografia, não floresta e floresta. As áreas de hidrografia e não-floresta foram mantidas e foram recuperadas as áreas de desmatamentos para os períodos analisados. Dessa maneira, as distribuições das áreas de desmatamento foram recuperadas para a composição da série temporal de áreas desmatadas para o estado de Rondônia. Os resultados obtidos mostram que o método proposto é consistente, podendo ser expandido para toda região Amazônica e assim obter uma série temporal de áreas desmatadas para ser usada como referência.

Palavras-chave — Modelo linear de mistura espectral, áreas de desflorestamento, Amazônia, floresta tropical.

ABSTRACT

PRODES project has been monitoring deforestation by clear cut in the Legal Amazon since 1988, initially making available only information in the table form, without maps of spatial distribution as currently available. Thus, the objective of this work is to present a method to generate the spatial distribution of the areas mapped annually by the PRODES project to the state of Rondônia. In this method description, the annual time series was aggregated to every 5 years period. Based on the legend code of the 2021 PRODES map and on the results obtained by the proposed method, it was possible to recover the data for the years 1988 to 2021, referring to the deforestation accumulated since the beginning of the project. In addition to deforestation, the mapped classes are hydrography, non -forest and forest. Areas of hydrography and non-forest were maintained and the deforestation areas were recovered for the periods analyzed.

Thus, the distributions of deforestation areas were recovered for the composition of the time series of deforested areas for the state of Rondônia. The results obtained show that the proposed method is consistent, and can be expanded to the entire Amazon region and thus obtaining a time series of deforested areas to be used as a reference.

Key words — *Linear spectral mixing model, deforestation areas, Amazon, tropical forest.*

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento contínuo do desmatamento em florestas tropicais é necessário devido ao seu impacto no clima, na biodiversidade e na degradação do solo. Comumente, métodos utilizados para estimar a extensão do desmatamento em escala regional eram baseados na interpretação visual de imagens Landsat TM (INPE 1996, Skole e Tucker 1993) ou em classificação digital baseada na análise *pixel a pixel* sem informações contextuais. Porém, muitos modelos ecológicos, hidrológicos e biogeoquímicos requerem alta resolução espacial e dados digitais georreferenciados (sistema de informações geográficas - SIG) sobre as áreas desmatadas. Isso levava a muita análise visual e digitalização manual. Mesmo que a interpretação visual tenha precisão razoável é altamente trabalhoso e caro, especialmente em áreas onde pequenas áreas intrincadas, como o padrão de espinha de peixe em Rondônia, predomina (INPE 1996).

A análise digital convencional dos dados Landsat TM com base em classificação *pixel a pixel* é limitada porque leva em conta apenas a variação espectral da cena, faltando as informações contextuais potencialmente importantes dos objetos (como a textura e a forma). Felizmente, abordagens baseadas na segmentação de imagens se tornaram eficientes para a estimativa de desmatamento tropical, superando algumas das limitações impostas pela interpretação visual (Batista et al. 1994, Alves et al. 1996). No entanto, essa técnica quando aplicada diretamente as informações espectrais originais do Landsat TM demandam muito tempo computacional (Batista et al. 1994).

A técnica mais utilizada para reduzir a dimensionalidade dos dados Landsat TM, enquanto ainda preserva a maioria das informações necessárias para caracterização adequada da vegetação, é o índice de vegetação da diferença

normalizada (NDVI) proposto por Rouse et al. (1973). No entanto, o NDVI tem uma grande limitação para a caracterização do desmatamento na Amazônia porque florestas secundárias tendem a valores de NDVI mais elevados do que da floresta primária, enquanto outras classes de desmatamento, como pastagens ou solos expostos, possuem baixos valores de NDVI. Portanto, é difícil definir um simples algoritmo de classificação de desmatamento na Amazônia usando o NDVI. A geração de imagens fração baseadas na análise da mistura espectral dos *pixels* é uma alternativa técnica para superar esta dificuldade (Adams et al. 1995, Cross et al. 1991, Quarmby et al. 1992). A imagem fração sombra é bem correlacionada com a estrutura do dossel florestal (Ranson e Daughtry 1987, Li e Strahler 1992, Jasinski 1990). A estrutura determina a quantidade de sombra do dossel florestal, isto é, florestas tropicais não alteradas, geralmente apresentam quantidade de sombra média em oposição as classes de desmatamento como solo exposto, pastagens ou florestas secundárias com baixa proporção de sombra (Adams 1995). O PRODES Digital utilizou este procedimento automatizado para gerar informações sobre desmatamento, incluindo mapeamento e estimativas de extensão de área, integrados em um banco de dados SIG. Esta abordagem baseada na imagem de fração sombra gerada por um modelo de mistura espectral, seguido por segmentação de crescimento de região e uma classificação não supervisionada, é operacionalmente viável para a Amazônia e foi utilizada por alguns anos após 2000 pelo PRODES Digital.

Diante deste contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar um método para recuperar a distribuição espacial das áreas desmatadas anteriores ao ano de 2007, criando assim a série temporal de áreas desmatadas (1988 a 2021) do estado de Rondônia referente ao PRODES Digital. Para este trabalho, embora a série completa possa ser anual, vamos considerar a série temporal de 5 em 5 anos devido ao volume de dados e tempo de processamento computacional.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo é o estado de Rondônia, localizado na região Amazônica (Figura 1). Rondônia está inserido na região Norte do Brasil e tem como limites os estados de Mato Grosso a leste, Amazonas a norte, Acre a oeste e o Estado Plurinacional da Bolívia a oeste e sul. O estado possui 52 municípios e ocupa uma área de 237.590,55 km². O relevo é suavemente ondulado, pois 94% do território encontra-se entre as altitudes de 100 e 600 metros. O clima é equatorial e a economia é baseada na pecuária e na agricultura (café, cacau, arroz, mandioca, milho) e no extrativismo da madeira, de minérios e da borracha (<https://pt.wikipedia.org/wiki/Rondônia>).

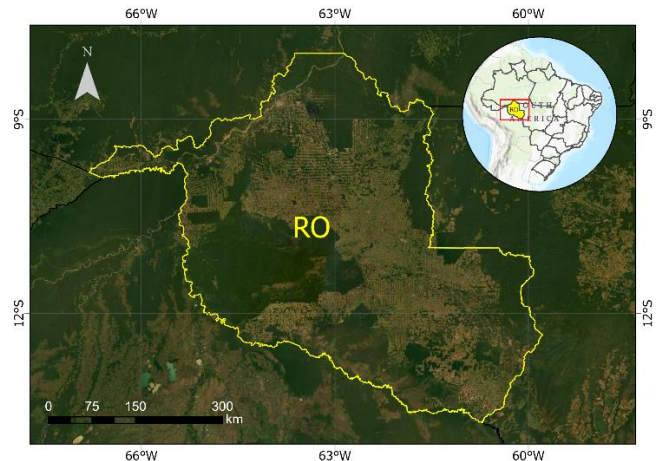


Figura 1. Localização do estado de Rondônia, área de estudo deste trabalho.

2.2 PRODES

O projeto PRODES realiza o monitoramento do desmatamento por corte raso na Amazônia Legal por satélite e estima, desde 1988, as taxas anuais de desmatamento na região. Estas são usadas pelo governo brasileiro para o estabelecimento de políticas públicas. O PRODES utiliza imagens de satélites da classe Landsat (20 a 30 metros de resolução espacial e taxa de revisita de 16 dias) numa combinação que busca minimizar o problema da cobertura de nuvens e garantir critérios de interoperabilidade. As imagens do satélite americano Landsat-5/TM foram utilizadas na forma de imagens em papel durante o PRODES Analógico. Dessa maneira, os dados do projeto eram disponibilizados somente em forma de tabelas, não sendo disponível a distribuição espacial até o presente. Além dos dados do Landsat, o PRODES tem utilizado imagens do sensor CCD a bordo do CBERS-2/2B, satélites do programa sino-brasileiro de sensoriamento remoto, imagens LISS-3 do satélite indiano IRS-1 e imagens do satélite inglês UK-DMC2. Atualmente faz uso massivo das imagens do Landsat-8/OLI, CBERS 4 e IRS-2. Independente do instrumento utilizado, a área mínima mapeada pelo PRODES é de 6,25 hectares (<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>). Para este trabalho foram utilizadas as informações e distribuição espacial de áreas desmatadas disponibilizadas para o ano PRODES 2021.

2.3 Landsat-5 TM

Para a realização deste trabalho, foram utilizados mosaicos de medianas anuais gerados no *Google Earth Engine* (GEE). Foram utilizadas as mesmas bandas espectrais das imagens processadas no Projeto PRODES, ou seja, as bandas 3 (vermelho), 4 (infravermelho próximo) e 5 (infravermelho médio) do sensor TM-Landsat-5 para os anos analisados (1988 a 2007).

2.4 Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME)

Para alcançar o objetivo proposto, aplicamos o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME, Shimabukuro e Smith 1991), que assume que os valores dos *pixels* são combinações lineares de

refletância de uma série de componentes, chamados de “endmembers”.

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

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

As imagens fração derivadas do MLME podem ser utilizadas para mapear áreas desmatadas 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, Rouse et al. 1973) e o Índice de Vegetação Melhorada (EVI, Justice et al. 1998); b) imagens fração sombra estão relacionadas a estrutura das florestas; e c) imagens fração solo destacam áreas com altos valores de refletância, como solo exposto (Figura 2).

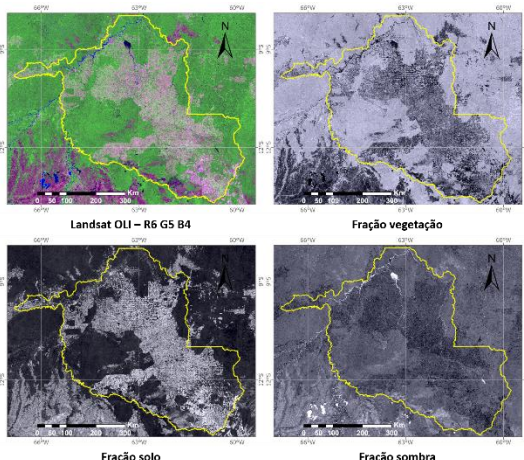


Figura 2. Exemplo de imagens fração (solo, vegetação e sombra) de um mosaico de imagens OLI de 2020 para a área de estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra a distribuição espacial das áreas desmatadas desde o início do Projeto PRODES até o ano de 2020 acumuladas no intervalo de 5 em 5 anos considerados neste trabalho. Para os anos de 2010, 2015 e 2020 os mapas são gerados diretamente das informações do PRODES 2021. Para os anos restantes, os mapas são recuperados utilizando a metodologia do PRODES Digital de modo inverso, ou seja, as áreas de desmatamento vão sendo recuperadas na forma de floresta nos anos da análise. Apesar de serem analisadas todas as imagens fração, imagem sombra tem maior prioridade por ser capaz de discriminar as áreas de floresta em cinza médio e não floresta (solo exposto, cultura e vegetação secundária) em tons escuros.

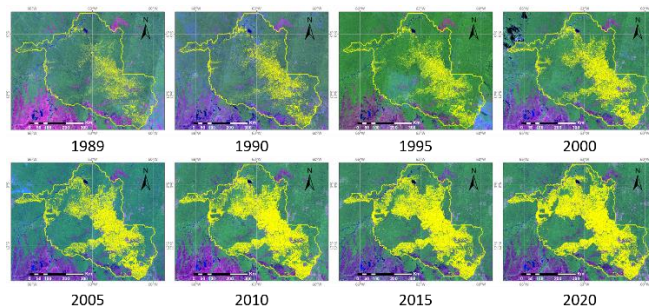


Figura 3. Recuperação das áreas desmatadas desde o início do PRODES até o período atual (1989, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020).

Dessa maneira, foi possível recuperar a distribuição das áreas desmatadas e compor os mapas do PRODES Digital (Figura 4).

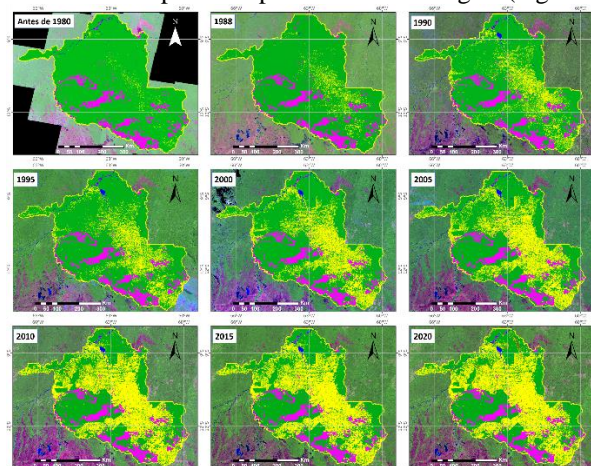


Figura 4. Recuperação das áreas classificadas em 1988, 1990, 1995, 2000, 2005 PRODES Digital através do método proposto.

A Figura 5 mostra a categorização do ano em que cada polígono foi desmatado seguindo os períodos de 5 em 5 anos considerados no trabalho. Futuramente, a metodologia será expandida para toda a região Amazônica e serão produzidos os mapas de maneira anual gerando uma série de áreas desmatadas e áreas de floresta remanescente nessa região.

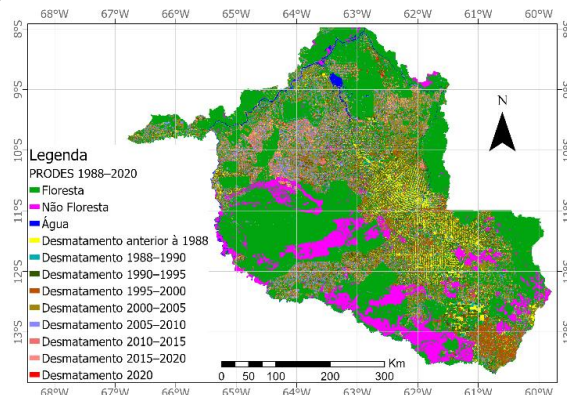


Figura 5. Recuperação da distribuição das áreas desmatadas nos períodos de 5 em 5 anos do PRODES Digital de 2021 através do método proposto.

A Figura 6 mostra uma comparação de áreas de florestas mapeadas pelo método proposto e pelo projeto MapBiomias.

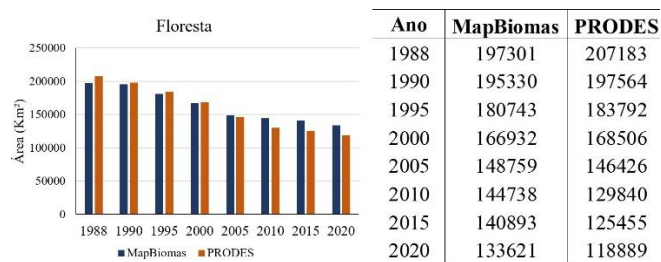


Figura 6. Comparação das áreas de floresta obtidas pelo método proposto e pelo MapBiomias para o período de 1988 a 2020 (5 em 5 anos).

4. CONCLUSÕES

O método proposto permite recuperar a distribuição espacial das áreas desmatadas para o período de 1988 a 2007, complementando as informações de áreas disponibilizadas em forma de tabelas e preservando os seus valores. Dessa maneira, os resultados obtidos mostram que o método proposto é consistente, podendo ser expandido para toda região Amazônica e assim obter a distribuição espacial das áreas desmatadas em uma série temporal de referência.

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).

6. REFERÊNCIAS

Adams, J. B., Sabol, D. E., Kapos, V., Almeida Filho, R., Roberts, D. A., Smith, M. O., and Gillespie, A. R., 1995, Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: application to land-cover change in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing of Environment*, 52, 137–154.

Alves, D. S., Mello, E. M. K., Moreira, J. C., Ortiz, J. O., Soares, J. V., Silva, O. F. Da and Almeida, S. A. S., 1996, Characterising land use dynamics in Amazon using multitemporal imagery and segmentation techniques. *Proceedings of the XV III International Society of Photogrammetry and Remote Sensing Congress* (Vienna: ISPRS), pp. 13–17.

Batista, G. T., Medeiros, J. S., Mello, E. M. K., Moreira, J. C., and Bins, L. S., 1994, A new approach for deforestation assessment. *Proceedings of the International Symposium on Resource and Environmental Monitoring*, Rio de Janeiro (São Paulo: INPE), pp. 170–174.

Bins, L. S., Erthal, G. J., and Fonseca, L. M. G., 1993. Um método de classificação não supervisionada por regiões. *Proceedings of the Sixth Brazilian Symposium on Graphic Computation and Image Processing*, Recife (Rio de Janeiro: GraÁ @ caWagner), pp. 65–68.

Câmara, G., Souza, R. C. M. de, Freitas, U. de M., and Casanova, M. A., 1992, SPRING: Processamento de imagens e dados georeferenciados. *Proceedings of the Fifth Brazilian Symposium on Graphic Computation and Image Processing*, Águas de L indoÂ ia (São Paulo: INPE), pp. 233–242.

Cross, A. M., Settle, J. J., Drake, N. A., and Paivinen, R. T. M., 1991, Subpixel measurement of tropical forest cover using AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 12, 1119–1129.

DSG (Diretoria de Serviço Geográfico), 1982, Topographic Chart, 15250 000, SC.20-Z-A, MIR 295 (Rio de Janeiro: DSG).

Duda, R. O., and Hart, P. E., 1973, *Pattern Classification and Scene Analysis* (New York: Wiley).

Fibge (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 1981, Topographic Chart, 15250 000, SC.20-X-C, MIR 270 (Rio de Janeiro: FIBGE).

Inpe (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), 1996, PRODES: Assessment of deforestation in Brazilian Amazônia (São Paulo: INPE).

Jasinski, M. F., 1990, Functional relation among subpixel canopy cover, ground shadow, and illuminated ground at large sampling scales. *Proceedings of the Remote Sensing of the Biosphere* (Bellingham, WA: SPIE), 1300, 19–20.

Li, X., and Strahler, A. H., 1992, Geometric-optical bidirectional reflectance modelling of the discrete crown vegetation canopy: effect of crown shape and mutual shadowing. *I.E.E.E. Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30, 276–292.

Quarmby, N. A., Townshend, J. R. G., Settle, J. J., White, K. H., Milnes, N., Hindle, T. L., and Silleos, N., 1992, Linear mixture modelling applied to AVHRR data for crop estimation. *International Journal of Remote Sensing*, 13, 415–425.

Ranson, K. J., and Daughtry, C. S. T., 1987, Scene shadow effects on multispectral response. *I.E.E.E. T ransactions on Geoscience and Remote Sensing*, 25, 502–509.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W., 1973, Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Proceedings of the T hird Earth Resources Satellite-1 Symposium* (Maryland: NASA SP-351) pp. 309–317.

Skole, D., and Tucker, C. J., 1993, Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: Satellite data from 1978 to 1988. *Science*, 260, 1905–1910.

Zucker, S. W., 1976, Region growing: Childhood and adolescence. *Computer Graphics and Image Processing*, 5, 382–399.