

IMAGENS FRAÇÃO DERIVADAS DAS IMAGENS PROBA-V PARA MAPEAR O USO E COBERTURA DA TERRA NO ESTADO DO MATO GROSSO

Andeise Cerqueira Dutra¹, Yosio Edemir Shimabukuro¹, Egídio Arai¹, Valdete Duarte¹, Kaio Allan Cruz Gasparini¹, Erone Ghizoni dos Santos¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Caixa Postal 515 - 12227-010, São José dos Campos - SP, Brasil {andeise.dutra; yosio.shimabukuro; egidio.arai; valdete.duarte; kaio.gasparini; erone.santos}@inpe.br

RESUMO

Este trabalho apresenta um método semi-automático para gerar o mapa de uso e cobertura da terra predominante durante um ano, isto é, áreas utilizadas para agricultura, áreas de floresta e corpos d'água. Para isto, foram utilizadas as imagens PROBA-V obtidas no ano de 2015 com a resolução espacial de 100m sobre o estado do Mato Grosso. O método proposto é baseado na aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral para gerar as imagens fração de vegetação, solo e sombra/água das imagens compostas de cinco dias (resolução temporal). Em seguida, são geradas imagens compostas com as máximas proporções correspondentes as imagens multitemporais de vegetação, de solo e de sombra/água. Dessa maneira, as classes de agricultura, corpos d'água, floresta e cerrado/pastagem são facilmente identificadas e mapeadas de modo automático. Os resultados obtidos são úteis para o monitoramento das mudanças de uso e cobertura da terra em anos subsequentes.

Palavras-chave — Sensoriamento Remoto, Processamento de Imagem, Desmatamento, Áreas agrícolas, Áreas de floresta.

ABSTRACT

This work presents a semi-automatic method for generating the map of predominant land use and land cover for a year, i.e., areas occupied by agriculture, forest and water bodies. For this, we used PROBA-V images obtained during the year 2015 with 100 m spatial resolution over Mato Grosso State. The proposed method is based on the application of Linear Spectral Mixing Model to generate fraction images of vegetation, soil and shade/water of five days composite images (temporal resolution). Following images with high proportion values of each component are generated from multitemporal fraction images of vegetation, soil and shade/water. In this manner, the classes of agriculture, water bodies, forest and Cerrado and pastureland are easily identified and mapped automatically. Such results are useful for monitoring land use and land cover changes in subsequent years.

Key words — Remote Sensing, Image Processing, Deforestation, Agricultural Areas, Forest Areas

1. INTRODUÇÃO

As mudanças de uso e cobertura da terra durante as últimas décadas foram sem precedentes [1], especialmente nos trópicos [2]. Assim, um declínio acentuado é observado na vegetação nativa [3] à medida que distúrbios antropogênicos como a degradação florestal e o desmatamento para substituição por pastagens ou culturas de ciclo curto têm se intensificado [4].

Entretanto, os conhecimentos para compreender estes processos ainda estão muito fragmentados para avaliar e estimar o vasto impacto destas mudanças nos ecossistemas [5]. Além disso, as ferramentas práticas de incentivo à conservação ainda são insuficientes e inadequadas [3]. Neste sentido, saber a priori quais são efetivamente as áreas de floresta e não floresta é crucial para a correta detecção das áreas de degradação florestal [6] e desmatamento para, então, subsidiar tomadas de decisão para mitigar os impactos destes processos.

Assim, o objetivo deste trabalho foi mapear o uso e cobertura da terra no estado do Mato Grosso utilizando dados multitemporais para o ano de 2015 aplicando um método de classificação semi-automática. Especificamente os objetivos foram:

1. Desenvolver um método de mínimo pré-processamento para gerar um mapa base referente ao ano de 2015, utilizando imagens fração derivadas do modelo linear de mistura espectral;
2. Identificar as áreas de agricultura, floresta e corpos hídricos em todo o estado, utilizando dados do PROBA-V em resolução espacial de 100m;

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estado do Mato Grosso possui biodiversidade complexa, apresentando diversas formações vegetais. Além disso, o estado tem sido alvo de diversos estudos relacionados a sua alta taxa de alteração da cobertura florestal, principalmente devido ao desmatamento para a agricultura e pecuária, bem como o corte seletivo e queimadas na região da Amazônia Legal. Neste contexto, o Mato Grosso mostra-se como área extremamente interessante para os fins deste estudo.

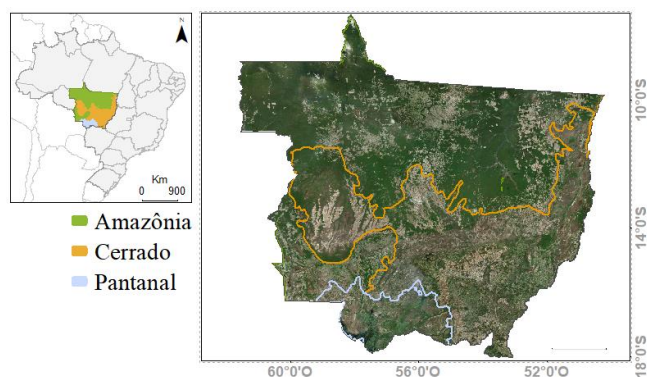


Figura 1. Localização da área de estudo (estado do Mato Grosso), compreendendo os biomas Amazônia e Cerrado (à esquerda), e limites dos biomas do estado do Mato Grosso sobre imagens de satélite (à direita).

O PROBA-V é um minissatélite que foi desenvolvido como continuidade para os 15 anos da missão SPOT-VEGETATION, da *European Space Agency* (ESA). Para atender a comunidade de usuários, as quatro bandas espectrais do sensor Vegetation são semelhantes às do instrumento SPOT-VEGETATION, disponibilizados em: Azul (centralizado em $0,463 \mu\text{m}$), vermelho ($0,655 \mu\text{m}$), infravermelho próximo ($0,837 \mu\text{m}$), e infravermelho médio ($1,603 \mu\text{m}$). O PROBA-V possui resolução espacial de 100m a Nadir e 350m em todo campo de visão e os dados são disponibilizados em resolução temporal de cinco e dez dias no topo do dossel (*top of canopy – TOC*) [8].

Os dados foram adquiridos em composição temporal de cinco dias e compreendendo todo o estado do Mato Grosso em 2015, o que representa um total de 292 cenas. As cenas foram obtidas do catálogo de imagens ESA, disponibilizados na plataforma <<http://www.vito-eodata.be/>>.

Para a aplicação do modelo linear de mistura espectral, compreende-se que a variedade dos alvos incluída na resposta espectral que compõe cada pixel dependerá da resolução espacial de cada sensor, e, como consequência, pixels de sensores de alta resolução espacial possuem uma maior probabilidade de serem formados pela resposta de alvos únicos ou puros. Esta característica não ocorre em pixels que compõem grandes extensões terrestres, nestes, a mistura espectral se torna indesejada, pois mascara a resposta característica de cada alvo, dificultando assim a sua identificação [9].

O termo mistura espectral é dado devido à existência de mais de um alvo na área de abrangência de cada pixel, no qual o valor digital possui informações sobre a proporção da mistura entre cada componente puro [10,11]. O Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) foi proposto com intuito de discriminar os diferentes alvos que compõem um pixel e reduzir a dimensionalidade dos dados. O MLME assume que os valores dos pixels são combinações lineares de refletância de um número de componentes da superfície, chamado *endmembers* ou pixels puros [10]. Dessa forma, a seleção adequada dos *endmembers* é crucial pois estes possuem influência considerável sobre a acurácia do resultado final [12,13,14].

Para este trabalho, os *endmembers* a serem utilizados como dados de entrada para o modelo foram selecionados diretamente nas imagens, selecionando pixels com a resposta espectral mais

próxima da curva teórica esperada para alvos puros. Os *endmembers* para cada um dos conjuntos de dados foram: vegetação, solo e sombra (ou adotado como fração água). Desta forma, o valor de um determinado pixel pode ser descrito como:

$$r_i = \sum (a_{ij}x_{j1}) + \varepsilon_i \quad (1)$$

Sendo:

r_i = refletância espectral em cada banda espectral;

a_{ij} = refletância espectral dos componentes da mistura em cada banda espectral;

x_j = valor da proporção de cada componente em um pixel;

ε_i = erro;

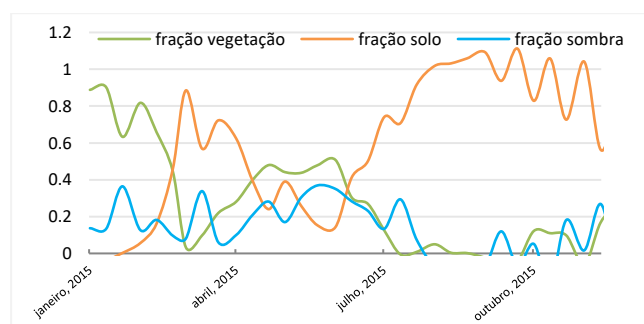


Figura 2 - Exemplo de série temporal do MLME, com as proporções das frações vegetação, solo e sombra para o ano de 2015.

A etapa (1) consistiu na aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral para gerar as imagens fração de vegetação, solo e sombra/água nas composições temporais de cinco dias de todas as cenas obtidas no ano.

Assumindo que as imagens fração podem ser usadas para mapeamento devido às seguintes características: a) a imagem fração vegetação destaca as condições de cobertura da vegetação de modo similar aos índices de vegetação como o *Normalized Difference Vegetation Index – NDVI* e o *Enhanced Vegetation Index – EVI*. Isto permite diferenciar áreas florestadas de áreas agrícolas, considerando que esta última apresenta elevado vigor vegetativo e consequentemente, elevada refletância no infravermelho próximo; b) a imagem fração sombra destaca áreas com baixos valores de refletância, como água; e c) a imagem fração solo destaca áreas com altos valores de refletância, como solo exposto e áreas desmatadas, sendo que áreas florestadas apresentam menor proporção de solo dentro do pixel.

Diante do exposto, a partir das imagens fração obtidas anteriormente, foram geradas composições na etapa (2) contendo:

- (i) O máximo valor da proporção no conjunto de imagens multitemporais da fração vegetação;
- (ii) O máximo valor da proporção no conjunto de imagens multitemporais da fração sombra/água;
- (iii) O máximo valor da proporção no conjunto de imagens multitemporais da fração solo;

Assim, quatro classes foram estabelecidas para o mapa final, representado em áreas de “Floresta”, “Não-Floresta”,

“Agricultura” e “Corpos Hídricos”. Da etapa (2) foram extraídas as áreas de agricultura (i); os corpos hídricos (ii); as áreas florestadas (iii); e por fim, as áreas de não-floresta foram obtidas com a subtração destes produtos, gerando, dessa forma, um mapa base para o ano de 2015.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 3 apresenta o mapa temático gerado pelo método proposto. A composição com as máximas proporções das imagens fração vegetação realça as áreas que foram utilizadas como atividade agrícola durante o ano. Enquanto isso, a composição com as máximas proporções das imagens fração solo realça as áreas de solo sem cobertura vegetal. E a composição com as máximas proporções das imagens fração sombra/água realça as áreas ocupadas por corpos d'água durante o ano. Com este resultado, assume-se que as áreas classificadas como agricultura apresentaram algum tipo de cultivo pelo menos uma vez durante todo o período de 2015, similarmente a classificação de corpos hídricos.

fato pode justificar os máximos valores da fração vegetação encontrados principalmente entre os meses de dezembro e março, correspondendo ao período de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das culturas [15].

As estimativas de área (Tabela 1) indicam que do total dos 905.051,94 km² mapeados no estado, 7,38% corresponde à área agrícola. Sendo que desta, 13.335,40 km² estavam destinadas à soja, milho, e algodão na safra 2015 [15]. Comparando os resultados do projeto TerraClass Amazônia [16] em 2014, a maior diferença nos mapeamentos foi observada na classe “Agricultura” quando comparada ao total das classes de “Cultura Agrícola Temporária/Semi-Perene/Perene/Silvicultura” no TerraClass, obtendo a diferença de aproximadamente 26.501 km² quantificados em 2015. Seguida da classe “Floresta”, correspondente às classes de “Área de Vegetação Natural Florestal Primária/Secundária”, que apresentou a diferença de aproximadamente 12.071 km² e a classe “Corpos Hídricos” que apresentou a diferença de 7.466 km².

Diferenças entre estimativas de estudos anteriores podem

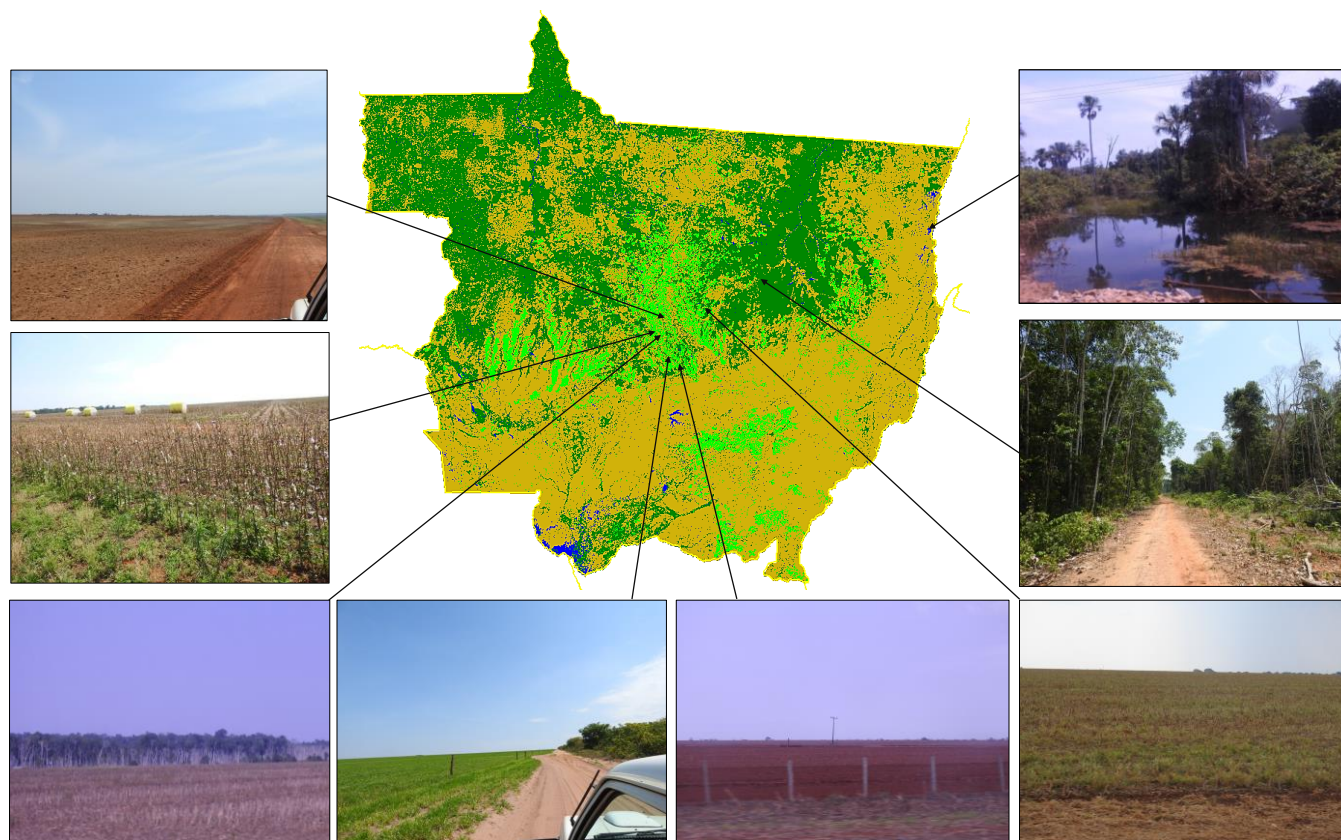


Figura 3. Resultado da classificação semi-automática referente ao ano de 2015 (centralizado), sendo: floresta (verde escuro), áreas agrícolas (verde claro), não-floresta (laranja), corpos hídricos (azul). Amostras de campo caracterizando: áreas agrícolas em preparo do solo, colheita, pastagem, áreas florestadas e áreas inundáveis.

O Mato Grosso é considerado como um dos principais estados produtores de algodão, soja e milho no Brasil e apresenta a máxima de precipitação entre os meses de novembro e maio. Considerando o calendário agrícola do estado, o plantio destes cultivares ocorre, aproximadamente, até o mês de dezembro. Este

resultar de: (i) Métodos utilizados para mapeamento; (ii) Resoluções espaciais; (ii) Legenda adotada; (iii) Datas de imagens anuais selecionadas. Esta última pode impactar principalmente as áreas detectadas como corpo hídrico, cuja dinâmica de inundação pode variar ao longo da série temporal anual, e que foram detectadas

com o uso de composições a cada cinco dias para este trabalho. Estas áreas são particularmente observadas no Pantanal Mato Grossense e na porção leste do estado, não sendo mapeadas no TerraClass.

Para este trabalho, as áreas de não floresta correspondem as áreas do bioma Cerrado, pastagem e outros alvos. Destaca-se que, para as áreas não destinadas à vegetação nativa do Cerrado ou solo exposto, assumiu-se que, após o desmatamento, a área que não apresentou cultivo durante o ano foi destinada ao uso como pastagem ou abandono.

Referente as áreas de pastagem, classificadas como não-floresta, é importante destacar que são áreas heterogêneas, com diferentes condições de manejo, produtividade e degradação [17]. Além disso, existe a dificuldade na classificação automática de pastagens, pois apresentam padrões heterogêneos e também, possuem semelhança no comportamento espectral com outras classes [18].

Esta dificuldade também é encontrada para estabelecer uma classificação automática que separe os efeitos de vegetações herbáceas de outras espécies lenhosas do Cerrado, que apresentam características de sazonalidade [19]. Sendo importante a elaboração de novos estudos que desenvolvam métodos para separação destas classes.

Tabela 1. Estimativas de áreas para as classes mapeadas.

	Classes (Km ²)			
	Floresta	Não -Floresta	Agricultura	Corpos Hídricos
Período de Análise (2015)	323.056,20	503.472,30	66.320,78	12.202,66
TerraClass Amazônia (2014)	310.984,30	510.396,43	39.819,65	4.736,24

4. CONCLUSÕES

As classes de áreas agrícolas, corpos d'água, floresta e não floresta foram facilmente identificadas e mapeadas de modo automático. Entretanto, novos estudos são necessários para separar as classes de cerrado e pastagem.

Os resultados obtidos são úteis para o monitoramento das mudanças de uso e cobertura da terra em anos subsequentes. Além disso, o método proposto pode ser aplicado com dados de sensores com resoluções temporais semelhantes ao PROBA-V, como por exemplo o WFI/CBERS, Sentinel-2 e AWF1 Resourcesat.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado como parte do projeto financiado pela (FAPESP, Processo 2016/19806-3). Os autores agradecem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ).

6. REFERÊNCIAS

[1] Davidson, E. A.; de Araiijo, A. C.; Artaxo, P.; Balch, J. K.; Brown, I. F.; Mercedes, M. M.; Coe, M. T.; Defries, R. S.; Keller, M.; Longo, M.; Munger, J. W.; Schroeder, W.; Soares-Filho, B. S.; Souza, C. M.; Wofsy, S. C. "The amazon basin in transition". *Nature*, v. 481, n. 7381, p. 321-328, 2012.

[2] Feamside, P.M. "Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil". *Environment Conservation*, v.28, n.1, p.23-38, 2001.

[3] Watson, J.E., Evans, T., Venter, O., Williams, B., Tulloch, A., Stewart, C., Thompson, L., Ray, J.C., Murray, K., Salazar, A.; Mcalpine, C. "The exceptional value of intact forest ecosystems". *Nature ecology & evolution*, p.1, 2018.

[5] Lambin, E.F. "Modeling and monitoring land-cover changes processes in tropical regions". *Progress in Physical Geography*, v. 2, n. 3, pp. 375-393, 1997.

[6] Nepstad, D.; Lefebvre, P.; Da Silva, U. L.; Tomasella, J.; Schlesinger, P.; Solorzano, L.; Moutinho, P.; Ray, D.; Benito, J. G. "Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis". *Global Change Biology*, v. 10, n. 5, pp. 704-717, 2004.

[7] Shimabukuro, Y. E.; Arai, E.; Anderson, L. O.; Aragão, L. E. O. C.; e Duarte, V., "Mapping Degraded Forest Areas Caused By Fires During the Year 2010 in Mato Grosso State, Brazilian Legal Amazon Using Landsat-5 Tm Fraction Images." *Rev. Bras. Cartogr.*, vol. 69, no. 1, pp. 23-32, 2017.

[8] Wolters, E.; Dierckx, W.; Iordache, M.-D.; Swinnen, E. PROBA-v products user manual v3.01. Image (rochester, n.y.), n. C, p. 1-110, 2018.

[9] Teixeira, C. G. "Validação do modelo linear de mistura espectral em imagens Aster/Terra a partir de dados Ikonos". Dissertação (mestrado) do curso de pós-graduação em Sensoriamento Remoto. 127 p., 2004.

[10] Shimabukuro, Y.E.; Smith, J.A. "The least-square mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 29, n. 1, pp. 16-20, 1991.

[11] Roberts, D. A.; Gardner, M.; Church, R.; Ustin, S.; Scheer, G.; Green, R. O. "Mapping chaparral in the Santa Monica Mountains using multiple endmember spectral mixture models". *Remote Sensing of Environment*, v.65, n. 3, pp. 267-279, 1998.

[12] Carvalho Júnior, O. A.; Carvalho, A. P. F.; Guimarães, R. F.; Meneses, P. R.; Shimabukuro, Y. E. "Mistura espectral:(I) detecção dos membros finais utilizando a geometria do simplex". *Revista Espaço e Geografia*, v.6, n1, 2003.

[13] Settle, Jeff. "On the effect of variable endmember spectra in the linear mixture model". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 44, n. 2, pp. 389-396, 2006.

[14] Somers, B.; Asner, G. P.; Tits, L.; Coppin, P. "Endmember variability in spectral mixture analysis: A review". *Remote Sensing of Environment*, v.115, n7, pp. 1603-1616, 2011.

[15] CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Banco de Dados Agregados. Disponível em: < http://www.conab.gov.br/c_onteudos.php?a=1644&t=2>. Acesso: em: 15 nov. 2017.

[16] Almeida, C.A.D., Coutinho, A.C., Esquerdo, J.C.D.M., Adami, M., Venturieri, A., Diniz, C.G., Dessay, N., Durieux, L., Gomes, A.R. "High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data". *Acta Amazonica*, v.46, n.3, pp.291-302, 2016.

[17] Davidson, E.A.; Asner, G.P.; Stone, T.A.; Neill, C.; Figueiredo, R.O. "Objective indicators of pasture degradation from spectral mixture analysis of Landsat imagery". *Journal of Geophysical Research*. v. 113, 2008.

[18] Numata, I.; Soares, J. V.; Batista, G. T.; Roberts, D. A.; Chadwick, O. A. "Evaluation of the conversion from forest to pasture using remote sensing for soil fertility analysis". Proceedings of the ISPRS. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, v.XXXIII, pp. 1033-1038, 2000

[19] Beuchle, R., Grecchi, R.C., Shimabukuro, Y.E., Seliger, R., Eva, H.D., Sano, E. and Achard, F. "Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach". *Applied Geography*, 58, pp.116-127, 2015.