

## **Monitoramento de mudanças na cobertura da terra na região da Floresta Nacional do Tapajós, Amazônia Brasileira, utilizando segmentação de imagens multitemporais**

Yosio Edemir Shimabukuro<sup>1</sup>, Valdete Duarte<sup>1</sup>, Egidio Arai<sup>1</sup>, Ramon Morais de Freitas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, CP 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil

{yosio, valdete, egidio, ramon}@dsr.inpe.br

**Abstract.** The main purpose of this paper is to present a semi-automated procedure for monitoring land cover changes in Brazilian Amazonia. For this, the region around the Tapajós National Forest in Pará State, Brazilian Amazonia was selected. The study area comprises approximately 10,650 km<sup>2</sup> covered by the Landsat Thematic Mapper (TM) images acquired on 22 August 1989; 02 August 1999; and 28 July 2009. According to Radambrasil vegetation map, the study area is primarily covered by dense tropical rain forest (“Floresta Ombrófila Densa”) with a high number of emergent tree species. Firstly, the image segmentation technique was applied to multitemporal Landsat Thematic Mapper acquired over Tapajós National Forest region to generate the georeferenced polygons. Then the vegetation, soil and shade fraction images derived from TM images using Linear Spectral Mixing Model were used to classify these polygons in the land cover classes for each image date. Finally the Geographic Information System tools are used to map the changes occurred on the land cover and land use in the study site between the dates analysed. Then the results achieved by the proposed methodology were evaluated using the MODIS time series available in the LAF (Remote Sensing Laboratory for Agriculture and Forest applications) website (<https://www.dsr.inpe.br/laf/series/en/index.html>) at INPE and field data. The proposed methodology presents a potential tool for mapping and monitoring land cover and land use changes in the Brazilian Amazonia.

**Palavras-chave:** remote sensing, land use land cover, linear spectral mixing model, multitemporal analysis, sensoriamento remoto, cobertura e uso da terra, modelo linear de mistura espectral, análise multitemporal.

### **1. Introdução**

Na busca de melhorar os mapas de cobertura da terra na região amazônica para a formação de uma base de informações condizentes com ações de mapeamento, modelagem, diagnóstico, conservação e monitoramento da biodiversidade, o sensoriamento remoto (SR) aparece como uma técnica essencial para a coleta de dados espaciais sobre a cobertura da terra. O SR proporciona, a intervalos regulares no tempo e no espaço, imagens de grandes áreas na superfície terrestre e informações indiretas sobre as coberturas terrestres que podem ser derivadas a partir destas imagens.

Dada a maior disponibilidade de dados e conhecimentos, a maioria das pesquisas baseia-se em informações provenientes de sistemas ópticos, como no Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia (PRODES), que desde 1988 possibilita a estimativa anual da extensão e taxa média do desmatamento bruto na Amazônia brasileira, baseado na interpretação de imagens dos sensores ópticos a bordo dos satélites Landsat (Shimabukuro et al., 2000).

O projeto de estimativa de áreas florestais utilizando técnicas de sensoriamento remoto (FRA 2010 RSS) da FAO (Forest and Agriculture Organization) utiliza o procedimento de segmentação de imagens multitemporais para classificar as áreas amostrais. Atualmente o método desenvolvido combina as bandas 3, 4 e 5 dos sensores do Landsat (TM ou ETM+) adquiridos em três datas (1990, 2000, e 2005) conjuntamente para segmentação e interpretação.

Em termos de processamento de imagens, as imagens fração derivadas do modelo linear de mistura espectral tem contribuído muito no estudo da cobertura da terra especialmente na região amazônica (Adams et al., 1995; Shimabukuro et al., 2000). Essas imagens além de reduzir a dimensionalidade dos dados a serem analisados, realçam os alvos de interesse.

Neste contexto, o principal objetivo deste trabalho é apresentar um procedimento semi-automatizado, baseado na segmentação multitemporal das imagens TM do Landsat e classificação utilizando as imagens fração, para o monitoramento da cobertura da terra numa porção da região em torno da Floresta Nacional do Tapajós, na região amazônica.

## 2. Materiais e método

### 2.1 Área de estudo

A área de estudo com aproximadamente 10.650 km<sup>2</sup> está localizada na região da Floresta Nacional do Tapajós no estado do Pará, Amazônia brasileira (Figura 1). O clima da região é classificada como AmW no sistema Koppen. A região apresenta as estações seca e úmida bem definidas, com precipitação média anual de 2.100 mm. De acordo com o mapa de vegetação do RADAMBRASIL (RADAMBRASIL, 1976), a área de estudo é predominantemente coberta pela floresta tropical densa (“Floresta Ombrófila Densa”) com um alto número de árvores emergentes.

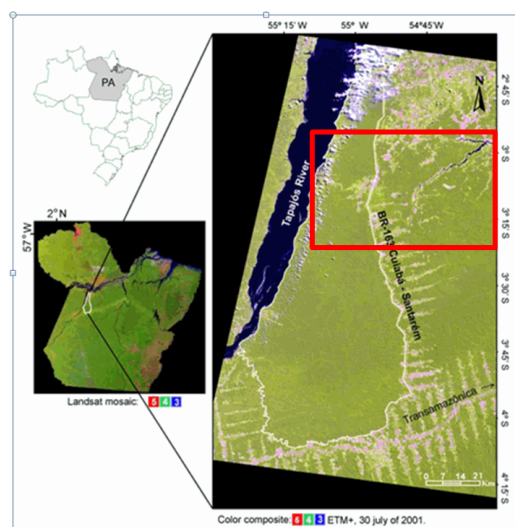


Figura 1: Localização da área de estudo (retângulo em vermelho). Fonte: Adaptado de Espirito-Santo (2003).

### 2.2 Imagens TM Landsat

Para este trabalho, foram utilizadas 3 imagens TM (Thematic Mapper) do Landsat 5 adquiridas em 22 de agosto de 1989; 02 de agosto de 1999; e 28 de julho de 2009, durante o período seco na região.

### 2.3 Metodologia

A metodologia proposta consiste basicamente em utilizar técnicas de processamento de imagens para mapear classes de uso e cobertura da terra: segmentação de imagem, classificação não supervisionada, e edição de imagem.

Segmentação de imagem é a técnica de agrupar dados em regiões contíguas que possuem características espectrais similares. Para isto é necessário definir dois limiares: a) limiar de similaridade que é um valor mínimo determinado pelo usuário para que o sistema considere na formação de regiões; e b) limiar de área que é o tamanho mínimo, em número de pixels, para que as regiões sejam individualizadas. Neste trabalho foram utilizadas as bandas 3 (0,63 – 0,69, vermelho), 4 (0,76 – 0,90, infravermelho próximo) e 5 (1,55 – 1,75, infravermelho médio) do sensor TM das 3 datas (22 de agosto de 1989; 02 de agosto de 1999; e 28 de julho de 2009) conjuntamente para o processo de segmentação (segmentação multitemporal). Dessa maneira, o sistema gera uma segmentação com um alto número de polígonos, garantindo a individualização de todos os polígonos que sofreram algum tipo de mudança durante o período correspondentes as datas das imagens TM utilizadas. Esses polígonos podem então ser analisados em cada ano e podem ser monitorados durante o período estudado.

O método de classificação não supervisionada (ISOSEG) foi utilizado para classificar as imagens TM em cada uma das datas. Para isto, foram geradas as imagens frações de vegetação, solo e sombra, derivadas do modelo linear de mistura espectral (MLME, Shimabukuro e Smith, 1991). O MLME tem o propósito de reduzir a dimensionalidade dos dados e principalmente realçar específicos alvos de interesse. A imagem fração vegetação realça as áreas de vegetação verde de maneira similar aos índices de vegetação (ex. NDVI, EVI, etc.); a imagem fração solo realça as áreas de solo exposto; enquanto que a imagem fração sombra realça as áreas de corpos d'água e áreas queimadas (Figura 2). Portanto, essas imagens produzem classes mais homogêneas facilitando a classificação não supervisionada.

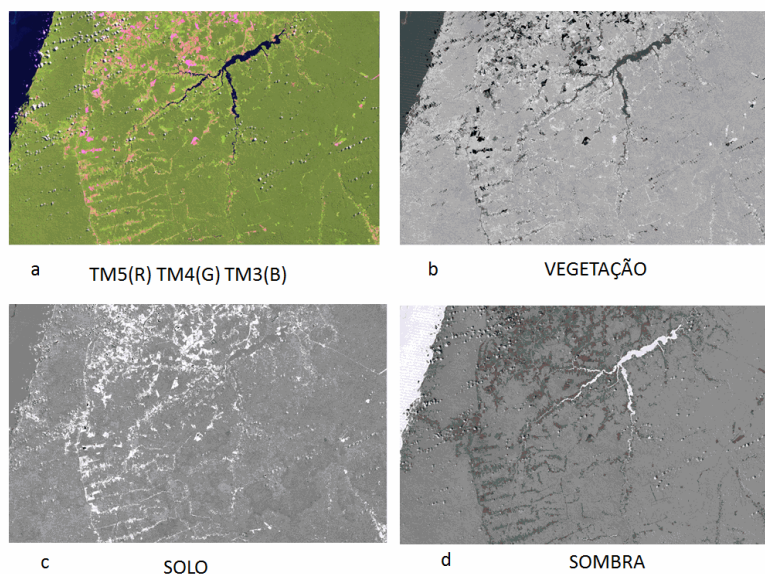


Figura 2: Imagem Landsat TM (28 de julho de 2009) da área de estudo: a) composição colorida R(5) G(4) B(3); b) imagem fração vegetação; c) imagem fração solo; e d) imagem fração sombra.

A edição de imagem é realizada com o propósito de melhorar os mapas resultantes. Este procedimento é feito pelos especialistas usando ferramentas de edição de imagens com base nos polígonos gerados na etapa de segmentação de imagem. Os especialistas identificam os erros de omissão e inclusão e corrigem manualmente melhorando os resultados de classificação (Almeida-Filho e Shimabukuro, 2002).

Finalmente utilizando as ferramentas de sistemas de informações geográficas, as mudanças no uso e cobertura da terra podem ser mapeadas e monitoradas na área de estudo.

Os resultados alcançados são então avaliados utilizando as informações obtidas em trabalho de campo e através da análise das séries temporais (Freitas et al., 2011) disponíveis no LAF (Laboratório de Sensoriamento Remoto para Aplicações em Agricultura e Floresta (<https://www.dsr.inpe.br/laf/series/en/index.html>) no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

### 3. Resultados e Discussão

A Figura 3 mostra a classificação de áreas desflorestadas e de regeneração florestal, da área de estudo, correspondentes aos períodos das imagens analisadas.

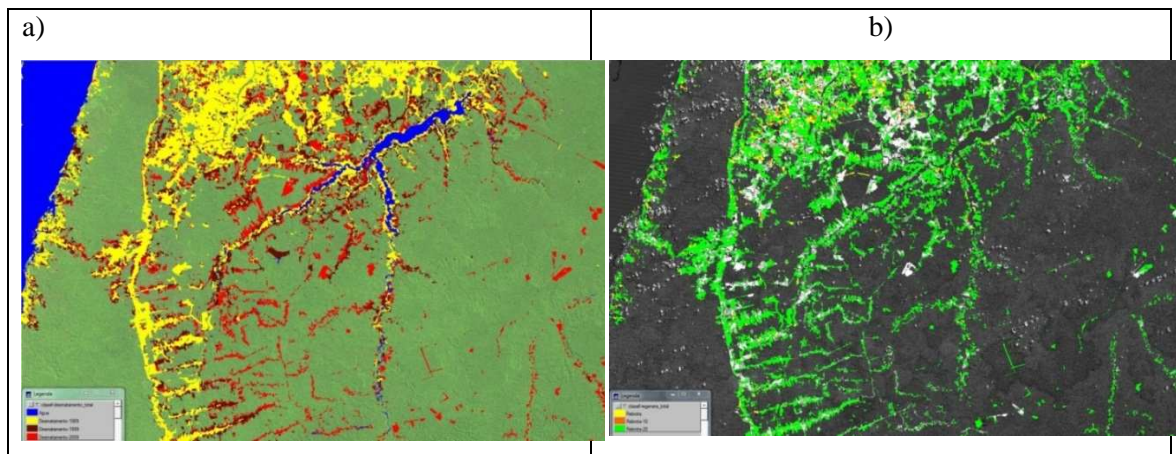


Figura 3: Classificação da área de estudo: a) áreas desflorestadas até 1989 em amarelo; de 1989 a 1999 em marrom; e de 1999 a 2009 em vermelho; e b) áreas de regeneração florestal com mais de 20 anos em amarelo; entre 10 e 20 anos em vermelho; e com menos de 10 anos em verde.

Foi realizado um trabalho de campo em setembro de 2009 verificar a consistência desta metodologia de classificação, ficando comprovado que as áreas visitadas correspondem a classificação obtida. A Figura 4 mostra as fotografias coletadas durante os trabalhos de campo realizados na área de estudo.

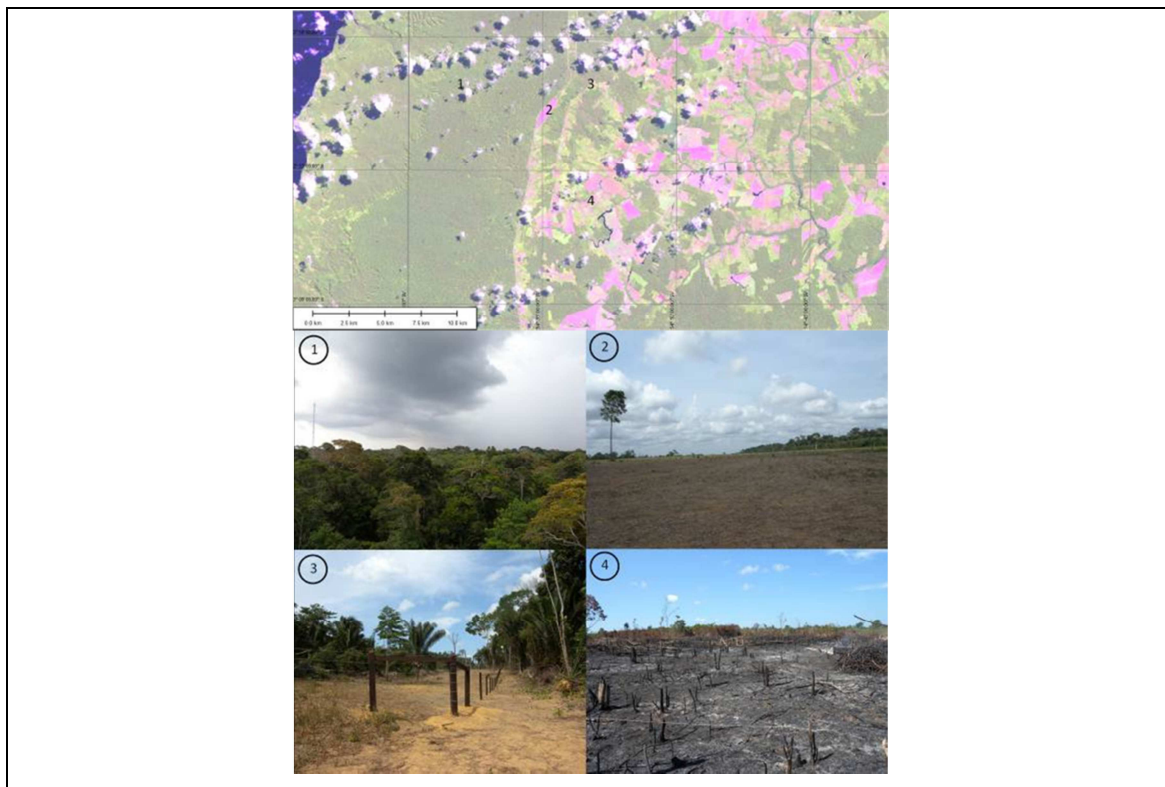


Figura 4: Áreas visitadas no campo em setembro de 2009: 1) áreas de floresta primária; 2) áreas de soja colhida; 3) áreas de pastagem com fragmentos de regeneração florestal; e 4) áreas queimadas.



A Figura 5 mostra a série temporal do EVI2 derivadas do sensor MODIS utilizada para avaliar a classe floresta primária mapeada com a metodologia proposta. Pode ser observado que o EVI2 do MODIS se mantém com valores em torno de 0,5 durante quase toda a série temporal.

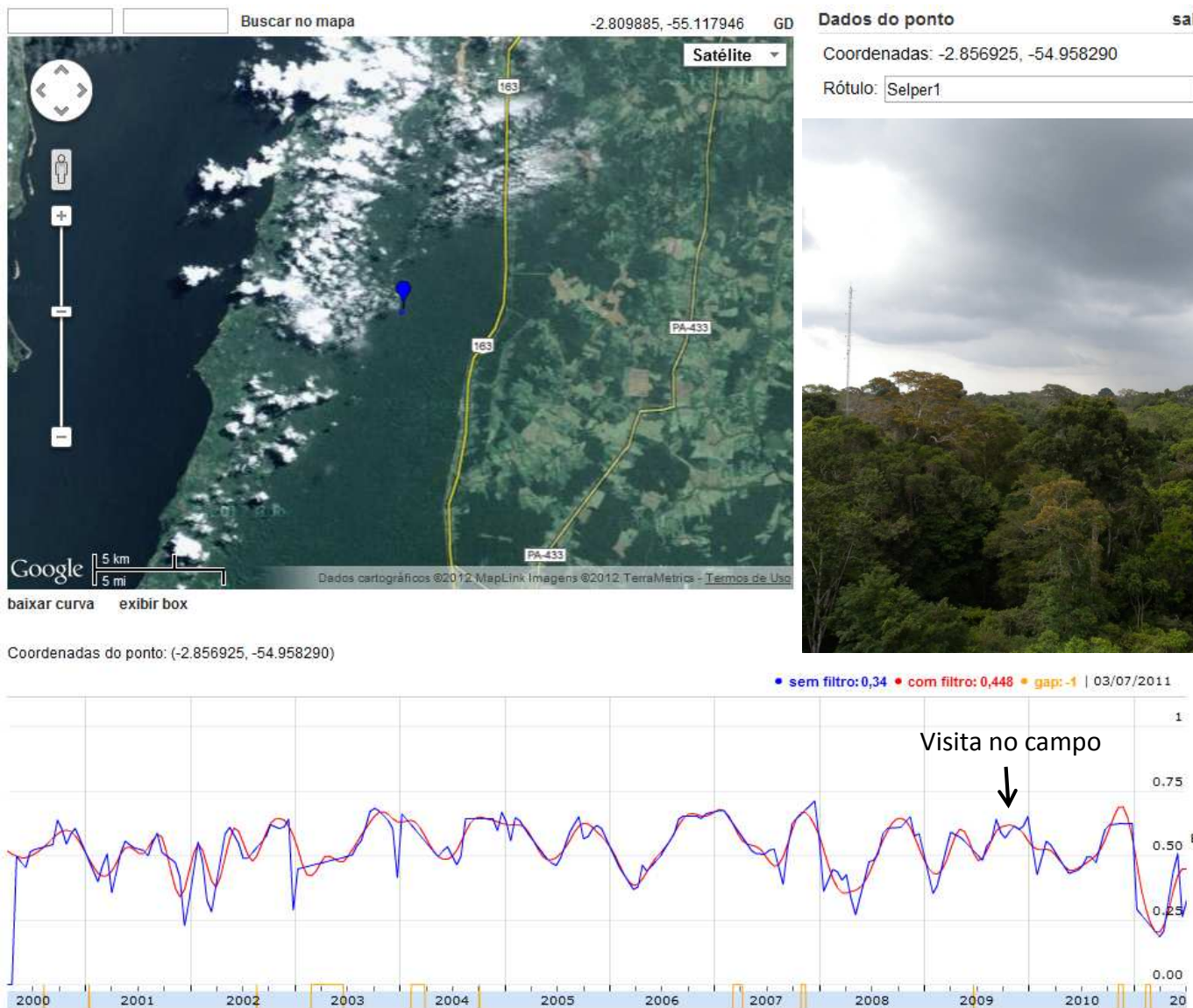


Figura 5: A série temporal do EVI2 do sensor MODIS com a amostra de floresta primária em imagens de alta resolução espacial do Google Map.

A análise visual da Figura 6 mostra um exemplo da conversão de áreas de floresta em agricultura. Nesta figura pode ser observada que existe um processo de degradação da floresta desde o início da série temporal, culminando com o corte raso em 2004. É interessante notar que as áreas na Figura 6 apresentam diferentes tipos de cobertura da terra que podem ser facilmente analisadas na série temporal de 11 anos do

EVI2 do MODIS. As setas (em preto) ilustram a cobertura e uso da terra durante este período.

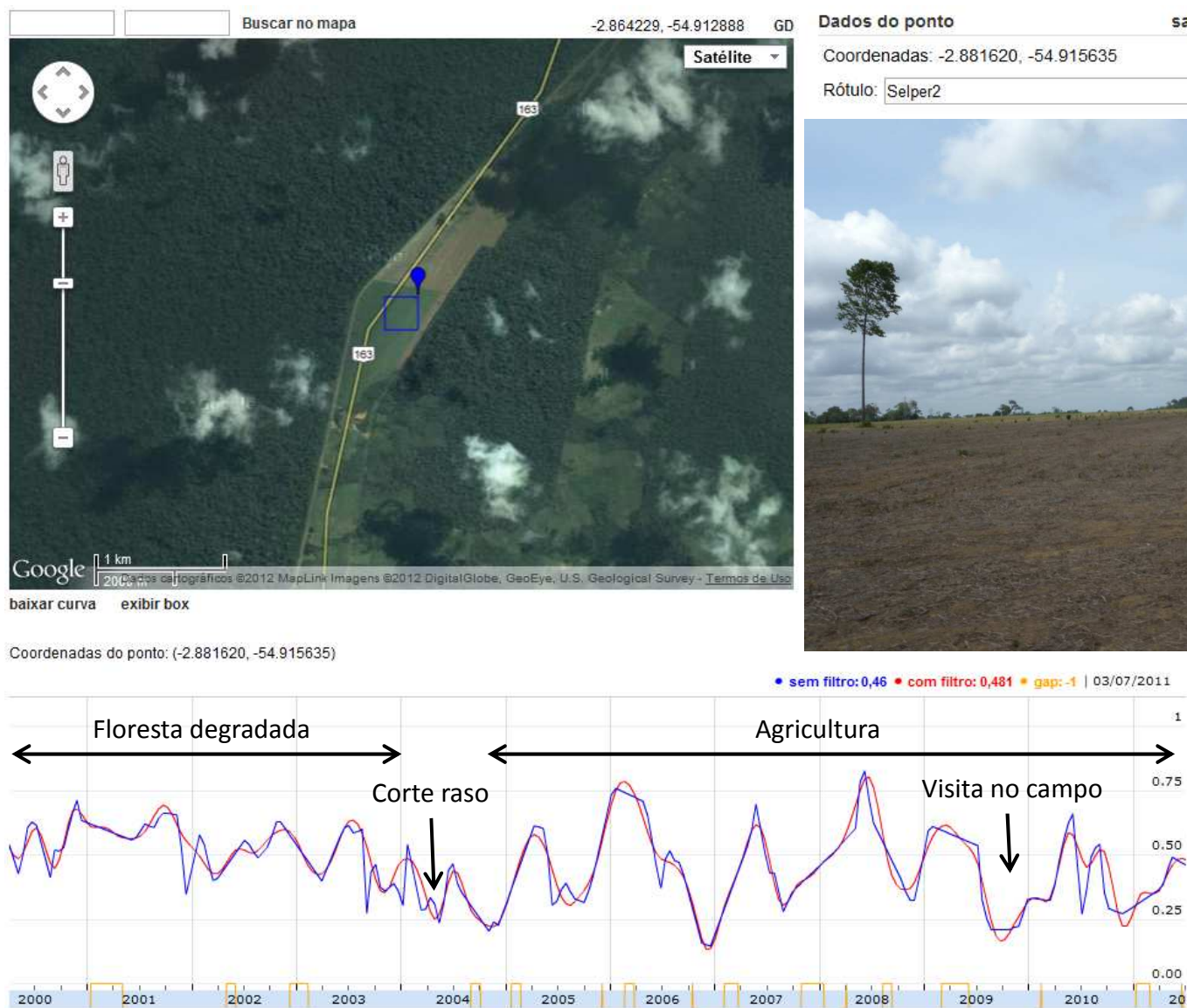


Figura 6: A série temporal do EVI2 do sensor MODIS com a amostra de área agrícola.

A Figura 7 apresenta uma área queimada, onde a vegetação regenera rapidamente, como pode ser observado na curva em 2010.



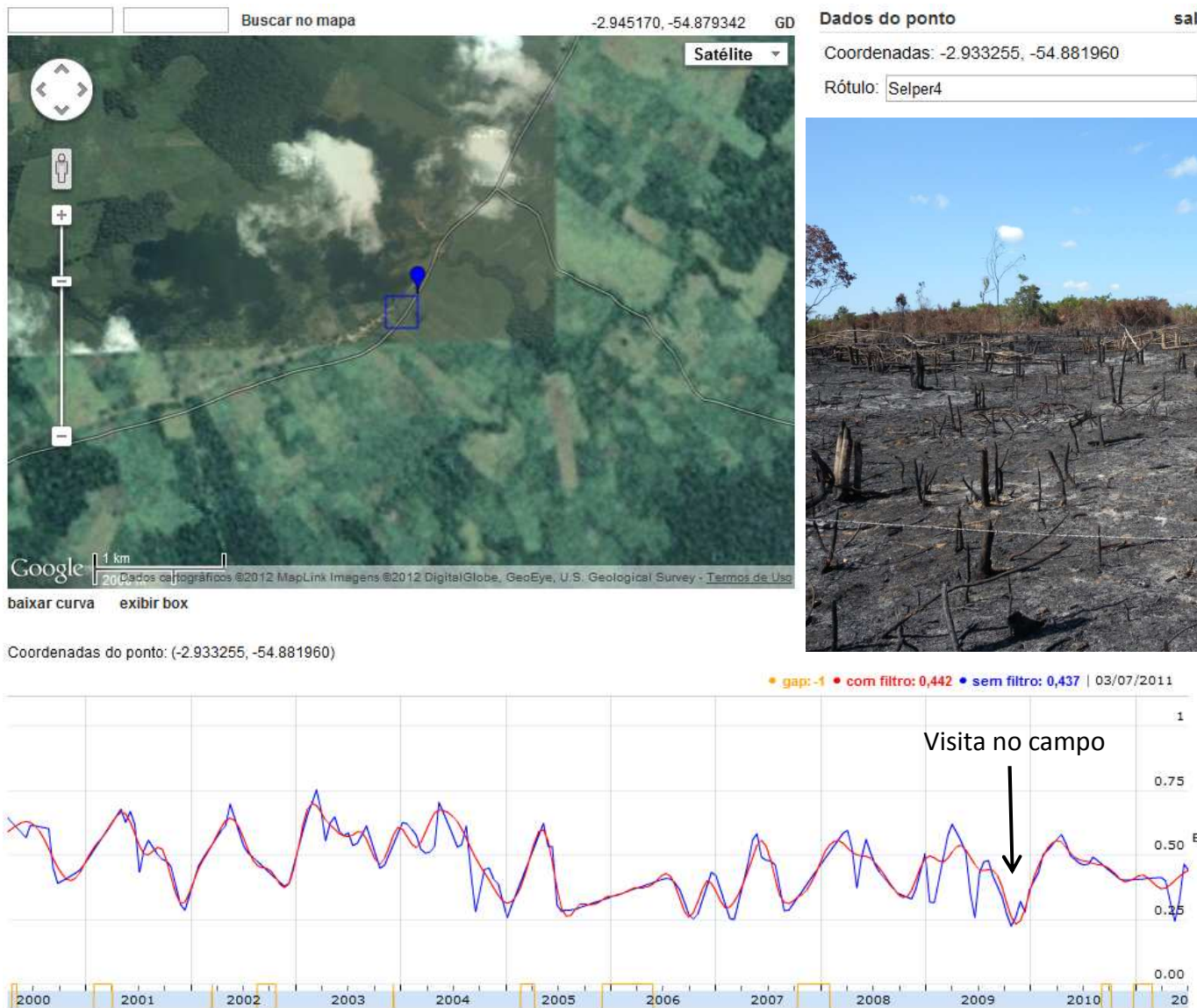


Figura 7: A série temporal do EVI2 do sensor MODIS com a amostra de área queimada.

A ferramenta de visualização mostrou ser útil para as análises rápidas de mudanças de uso e cobertura da terra, a nível de pixel, sobre ampla regiões. Dessa maneira as séries temporais do MODIS podem ser usadas para checar o período de mudança da cobertura da terra como o processo de desflorestamento e também as datas de plantio das culturas agrícolas.

#### 4. Conclusões

Este trabalho combinou dados de campo e dados multispectrais com técnicas de segmentação de imagens multitemporais para o mapeamento e monitoramento da cobertura e uso da terra na região da Floresta Nacional do Tapajós na Amazônia. A



segmentação multitemporal garantiu a individualização dos polígonos que sofreram mudanças na cobertura da terra durante o período analisado. Os resultados mostraram o aumento de áreas desflorestadas na área de estudo. Além disso, foi possível mapear as áreas de regeneração florestal com diferentes idades. Portanto, a metodologia proposta apresenta um potencial para o mapeamento e monitoramento da cobertura e uso da terra na região amazônica.

## 5. Referências

- Adams, J. B.; Sabol, D. E.; Kapos, V.; Almeida-Filho, R.; Roberts, D. A.; Smith, M. O.; Gillespie, A. R. Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: Application to land-cover change in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, 52(2):137–154, 1995.
- Almeida-Filho, R.; Shimabukuro, Y.E. Digital processing of a Landsat- TM time series for mapping and monitoring degraded areas caused by independent gold miners, Roraima State, Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, 79, p.42-50, 2002.
- Espírito-Santo, F. D. B. **Caracterização e mapeamento da vegetação da região da Floresta Nacional do Tapajós através de dados óticos, radar e de inventários florestais**. Dissertação de Mestrado, INPE, São José dos Campos, 277p., 2003. (INPE-10133-TDI/898).
- Freitas, R. M.; Arai, E.; Adami, M.; Souza, A. F.; Sato, F. Y.; Shimabukuro, Y. E.; Rosa, R. R.; Anderson, L. O.; Rudorff, B. F. T. Virtual laboratory of remote sensing time series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. **Journal of Computational Interdisciplinary Sciences**, 2(1):57-68. DOI: 10.6062/jcis.2011.02.01.0032, 2011. <http://www.epacis.net/jcis>
- RADAMBRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Folha AS.21- Santarém. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: DNPM, 510 p. (Levantamento dos Recursos Naturais), v. 10, 1976.
- Shimabukuro, Y. E.; Smith, J. A. The least-squared mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data: **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, p. 16-20, 1991.
- Shimabukuro, Y. E.; Duarte, V.; Mello, E. M. K.; Moreira, J. C. **Apresentação da metodologia de criação do PRODES digital**. INPE, São José dos Campos, (INPE-7520-PUD/41), 2000.