



# DETECÇÃO DE MUDANÇAS EM CICATRIZES DE MOVIMENTOS DE MASSA NA SERRA DO MAR PARANAENSE A PARTIR DA DIFERENÇA DE VALORES DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NDVI

E. G. Santos,<sup>1</sup> P. Negrão<sup>1</sup>, C. Sothe<sup>1</sup>, J. Gerente<sup>1</sup>, B. H. Miguel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil

Comissão IV – Sensoriamento Remoto, Fotogrametria e Interpretação de Imagens

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar a recuperação da vegetação em uma área onde houve perda da cobertura do solo devido a movimentos de massa. Para tal, foi utilizado o índice de vegetação otimizado ajustado ao solo (*Optimized Soil Adjusted Vegetation Index* – OSAVI) para identificação das cicatrizes de movimentos de massa em uma imagem RapidEye de junho de 2011, compreendendo uma pequena área na Serra do Mar Paranaense, a qual sofreu uma série de processos de movimentos de massa, associados a um elevado volume de chuva, em janeiro de 2011. Após essa identificação, o objetivo foi avaliar a mudança na cobertura do solo, nas áreas identificadas como cicatrizes, para vegetação a partir da diferença de valores de NDVI entre a imagem de junho de 2011 e uma imagem Sentinel-2 de abril de 2016 (aproximadamente 5 anos após o evento). Na imagem de 2011 foram identificados 416,033ha de cicatrizes de movimentos de massa, dos quais 107,176ha (25,8%) passaram a apresentar cobertura vegetal em 2016. Para uma validação da recuperação da vegetação recomenda-se visitas ao campo da área de estudo.

**Palavras-chave:** Detecção de Mudança, NDVI, Movimentos de Massa.

## ABSTRACT

The aim of this work is to evaluate the recovery of vegetation in an area where there was loss of soil cover due to mass movements. For this purpose, the Optimized Soil Adjusted Vegetation Index (OSAVI) was used to identify the mass movement scars in a RapidEye image from June 2011, comprising a small area in the Serra do Mar Paranaense, the which underwent a series of mass movement processes associated with a high volume of rain in January 2011. After this identification, the objective was to evaluate the change in soil cover, in the areas identified as scar, for vegetation from the difference between NDVI values between the June 2011 image and a Sentinel-2 image from April 2016 (approximately 5 years after the event). In the 2011 image, 416.033ha of mass movement scars were identified, of which 107.176ha (25.8%) started to cover vegetation in 2016. For a validation of vegetation recovery, visits to the field of the study area are recommended.

**Keywords:** Change Detection, NDVI, Mass Movements.

## 1- INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa gravitacionais caracterizam-se por serem fenômenos naturais de evolução das encostas e da paisagem como um todo. De acordo com a velocidade e com a feição e composição do material deslocado durante o escorregamento, recebe diferentes denominações. São processos influenciados por uma série de fatores naturais, como por exemplo fatores geomorfológicos, geológicos, climáticos, pedológicos, hidrológicos e pela cobertura e uso da terra, porém, podendo ser potencializados pela ação antrópica (Lopes et al., 2011).

Dentre os eventos perigosos naturais que mais atingem a população brasileira estão os movimentos de massa gravitacionais. No Brasil, os movimentos de massa de grande magnitude, quando ocorridos em áreas ocupadas, ganham contexto de desastres naturais, uma vez que, provocam consideráveis prejuízos socioeconômicos, e por vezes, com vítimas fatais.

Na última década, houve um expressivo aumento das ocorrências de desastres naturais no Brasil envolvendo movimentos de massa (Brasil, 2013). No contexto de movimentos de massa causados por eventos climáticos, citam-se os ocorridos na região serrana do

Rio de Janeiro, em janeiro de 2011, o qual representa a maior tragédia climática da história do país, e os ocorridos na Serra do Mar Paranaense, em março do mesmo ano. Na Serra do Mar Paranaense houve uma série de processos de movimentos de massa associados a um elevado volume de chuva, 251,7 mm em 24 horas (Pinto et al., 2012). Esse fenômeno resultou em danos materiais, como destruição total ou parcial de casas, ruas, estradas, pontes, lavouras, além de danos à população, como ferimentos e um caso de óbito.

Movimentos de massa ocorridos em áreas com cobertura vegetal podem ser facilmente identificados em imagens ópticas, devido ao alto contraste espectral que existe entre as cicatrizes (solo exposto) e as áreas adjacentes. Por este motivo, os índices de vegetação, que exploram este contraste, têm sido amplamente utilizados como forma de detectar mudanças relacionadas à cobertura vegetal, como as áreas afetadas por movimentos de massa (Hölbling et al., 2015; Li et al., 2015). Dentre eles, citam-se o índice de vegetação por diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* -NDVI) (Rouse et al., 1973) e o índice de vegetação otimizado ajustado ao solo (*Optimized Soil Adjusted Vegetation Index* – OSAVI) (Rondeaux et al., 1996). Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho foi utilizar o índice de vegetação NDVI para identificar mudanças relacionadas à recuperação da cobertura vegetal afetada por movimentos de massa ocorridos na porção norte da Serra da Prata, na Serra do Mar Paranaense, no ano de 2011. Os objetivos específicos foram: identificar as áreas afetadas por movimentos de massa por meio do índice OSAVI, aplicado em uma imagem de 2011, logo após o desastre e; detectar as mudanças relacionadas à recuperação da cobertura vegetal afetada nesses locais, a partir da diferença entre os NDVI de uma imagem logo após o evento e uma imagem de cinco anos após o evento.

## 2- MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo possui 4650ha e está localizada entre os pares de coordenadas (25°34'S, 48°43'O) e (25°37'30"S, 48°39'O) na porção norte da Serra da Prata, Serra do Mar Paranaense. A área abrange os municípios de Paranaguá, Morretes e Guaratuba, como mostra a Figura 1.

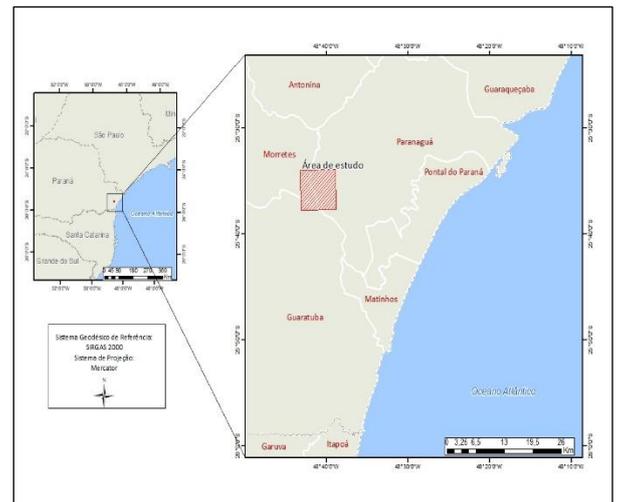


Fig. 1 – Área de estudo.

Como materiais, utilizaram-se duas cenas da constelação de satélites RapidEye datadas de junho de 2011, e uma cena do satélite Sentinel-2, datada de abril de 2016. As imagens provenientes de sensores da constelação RapidEye possuem resolução espacial de 6,5 m, com 5 m para imagens ortorretificadas, e cinco bandas espectrais. Utilizaram-se somente as bandas correspondentes ao vermelho (banda 3) e infravermelho próximo (banda 5). Já as cenas do satélite Sentinel-2, sensor *MultiSpectral Instrument* (MSI), possuem 12 bandas espectrais com resolução espacial entre 10 e 20 m. Para este trabalho, foram utilizadas somente as bandas vermelho (banda 4) e infravermelho próximo (banda 8), que possuem 10 m de resolução espacial.

Primeiramente foi feito um mosaico das cenas RapidEye de 2011, de forma a abranger toda a área de estudo. Em seguida, foi aplicada a correção atmosférica com o algoritmo QUAC® (*QUick Atmospheric Correction*) tanto nas cenas RapidEye, quanto Sentinel-2. Para então realizar o cálculo dos índices de vegetação a imagem Sentinel-2 foi reamostrada para 5 m de resolução espacial pelo interpolador vizinho mais próximo. Em seguida, foi feito o corregristo com pontos de controle gerados automaticamente no *software* ENVI. Foram usados 50 pontos de controle, resultando em um erro mínimo (RMSE - *Root Mean Square Error* ou Raiz do Erro Quadrático Médio) menor que 0,85 m entre as imagens RapidEye e Sentinel-2.

Para o primeiro objetivo, a identificação das cicatrizes de movimentos de massa, utilizou-se o índice OSAVI das cenas RapidEye de 2011. O OSAVI foi calculado pela Equação 1.

$$OSAVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_r}{\rho_{nir} + \rho_r + 0,16} \quad (1)$$

Em que  $\rho_{nir}$  e  $\rho_r$  correspondem às reflectâncias das bandas no infravermelho próximo e no vermelho, respectivamente.

Posteriormente, foi realizado um processo de fatiamento para buscar, por meio da análise visual, um limiar adequado que discriminasse as cicatrizes de movimentos de massa das demais classes. Após a definição do limiar, as áreas correspondentes às cicatrizes foram exportadas como polígonos em formato vetorial.

Para o segundo e principal objetivo do trabalho, detecção de mudanças relacionadas à recuperação da cobertura vegetal afetada por movimentos de massa, primeiramente obteve-se o NDVI das cenas RapidEye de 2011 e Sentinel-2 de 2016. O índice NDVI foi calculado conforme a Equação 2.

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_r}{\rho_{nir} + \rho_r} \quad (2)$$

Em seguida, as cenas NDVI de cada data foram subtraídas uma da outra, de forma a obter uma imagem “diferença NDVI” (Equação 3).

$$Dif. NDVI = NDVI (2016) - NDVI (2011) \quad (3)$$

Na imagem “diferença NDVI” aplicou-se um novo fatiamento, no qual se adotou um limiar que fosse mais adequado para separar as áreas consideradas “mudança”, correspondente às áreas em que a vegetação encontra-se em recuperação, da classe “não mudança”, referente às áreas que ainda permanecem como cicatrizes de movimento de massa. Com o auxílio de imagens de melhor resolução espacial do Google Earth, foi realizada uma avaliação visual para determinar se, de fato, houve regeneração da vegetação em áreas definidas como mudança.

### 3- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a identificação das cicatrizes por meio do índice OSAVI da cena de 2011, foram considerados como “movimentos de massa” os *pixels* com valores inferiores ao limiar de 0,8. Com a aplicação do limiar, foram contabilizados 416,03ha de cicatrizes de movimentos de massa na área de estudo, como mostra a Figura 2.

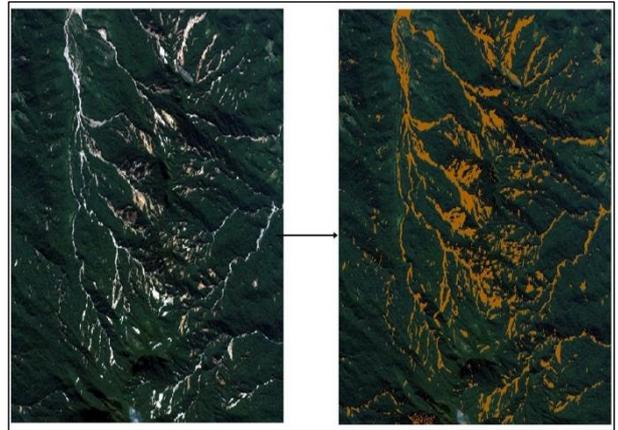


Fig. 2 – Cicatrizes de movimentos de massa.

Para a detecção de mudanças relacionadas à recuperação da cobertura vegetal afetada, escolheu-se o limiar de 0,4, a partir da imagem “diferença NDVI”. Neste caso, valores de diferença de NDVI superiores a 0,4 indicaram que houve a mudança da classe “movimento de massa” para a classe “vegetação”. Para a definição deste limiar, tentou-se evitar os erros de omissão ou comissão. Percebeu-se que a definição de limiares mais amplos aumentava o número de falsos positivos, ou seja, áreas de “não mudança” passariam a ser consideradas “mudança”. Da mesma forma, se colocados limiares mais restritos, aumentava-se o número de falsos negativos. Após a atribuição do limiar, tentou-se evitar os erros de omissão ou comissão. Percebeu-se que a definição de limiares mais amplos aumentava o número de falsos positivos, ou seja, áreas de “não mudança” passariam a ser consideradas “mudança”. Da mesma forma, se colocados limiares mais restritos, aumentava-se o número de falsos negativos. Após a atribuição do limiar, verificou-se que apenas 107,176 ha (25,8%) passaram a apresentar algum tipo de cobertura vegetal em 2016. Na Figura 3, essas áreas com nova cobertura vegetal está representada pelos polígonos verdes.

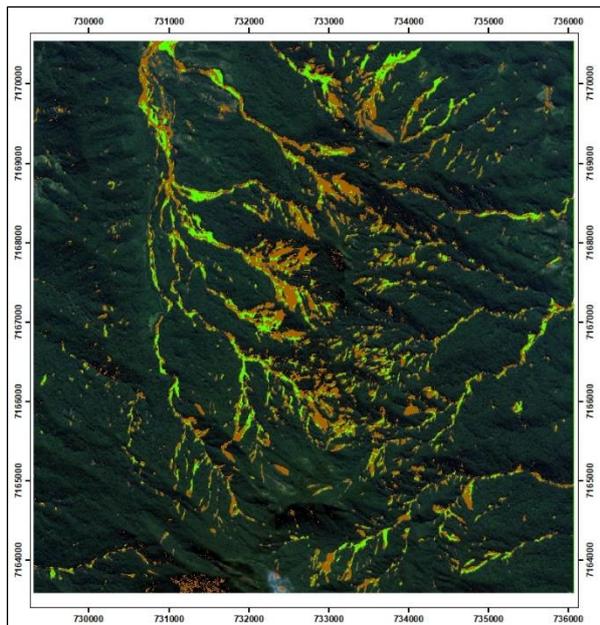


Fig. 3 – Áreas com mudança na cobertura vegetal.

De acordo com Sausen e Lacruz (2015), quando se observa a recuperação da vegetação de áreas afetadas por movimentos de massa, pode servir como um indicício de que a encosta está em processo de estabilização, indicando que cessou ou diminuiu a retirada de material da encosta. Lopes (2006) menciona em seu estudo que, em regiões montanhosas, como a Serra do Mar, quanto menor o tamanho das cicatrizes de movimentos de massa, maior seu poder de regeneração. Segundo o autor, cicatrizes com tamanhos entre 200 e 300 m<sup>2</sup> podem se regenerar dentro de um ano caso não houver reativações no mesmo local. Pode-se observar na Figura 4 que as áreas que voltaram a apresentar cobertura vegetal cinco anos após o evento geralmente correspondem às cicatrizes menores.

Muitos trabalhos buscaram relacionar possíveis fatores associados à velocidade da recuperação da vegetação afetada por desastres naturais. Jiao et al. (2014), ao avaliarem a recuperação da vegetação em áreas atingidas por um terremoto em Wenchuan, utilizando imagens da série temporal Landsat, verificaram que a vegetação se recuperou aproximadamente 41%, sendo que mais lentamente em locais com maior declividade e menores altitudes, enquanto que a porção de argila do solo teve correlação positiva com a recuperação da vegetação.

Jiang et al. (2015), ao avaliarem a recuperação da vegetação em áreas afetadas por um terremoto na China usando dados de NDVI do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), constataram que a recuperação da vegetação foi maior com o aumento da altitude e que não houve relação óbvia entre a concentração de argila presente no solo e a recuperação das áreas atingidas. Esses autores encontraram que 41% das áreas afetadas retornaram ao mesmo nível de cobertura vegetal de antes do terremoto,

enquanto 50% continuam a se recuperar e 9% não se recuperaram.

Sothe et al. (2017), ao realizar um estudo multitemporal em cicatrizes de movimentos de massa deflagradas em Nova Friburgo (RJ) utilizando índices de vegetação GNDVI e NDVI, constataram que mais de 50% das áreas afetadas por movimentos de massa voltou a ter algum tipo de cobertura vegetal quatro anos após o evento.

#### 4- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o limiar aplicado sobre o índice OSAVI gerado a partir de imagens RapidEye obtidas logo após o evento, foi possível verificar que 416,03 ha da área de estudo foram afetados por movimentos de massa. A detecção de mudanças utilizando um limiar aplicado sobre a imagem “diferença NDVI” entre uma cena de 2011, logo após o evento, e 2016, cinco anos após o evento, mostrou que apenas 25,8% das áreas voltaram a apresentar algum tipo de cobertura vegetal, sendo consideradas em recuperação pelos critérios adotados neste trabalho.

O menor valor de recuperação vegetal, se comparado aos resultados obtidos por outros trabalhos como Jiao et al. (2014), Jiang et al. (2015) e Sothe et al. (2017), pode ser explicado pelo fato de que as configurações geológicas, pedológicas e topográficas da região estudada neste trabalho não condicionam a existência de solos profundos. Por esta razão, torna-se mais delongado o processo de regeneração vegetal.

Os índices de vegetação mostraram-se adequados para avaliar as áreas afetadas por movimentos de massa, pois exploram o contraste espectral entre as classes vegetação e movimentos de massa. No entanto, devem ser usados com critério, principalmente no caso de haver outras classes espectralmente semelhantes às cicatrizes, como área urbana e solo exposto.

O Sensoriamento Remoto aplicado através de índices de vegetação às áreas de suscetibilidade a movimentos de massa é uma ferramenta poderosa, desde a geração e análise dos dados, até a obtenção dos resultados, facilitando e tornando ágil o processo de elaboração dos mapas temáticos e mapas de suscetibilidade, além de facilitar o armazenamento, atualização e reprodução destas informações.

Para trabalhos futuros, propõe-se a avaliação de outros parâmetros geoambientais importantes no modelo conceitual, tais como a forma da encosta, mapa de solos, distância a estruturas geológicas e oscilação do lençol freático, que exercem uma atuação direta na deflagração dos processos de movimentos de massa.

#### AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho

Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Banco de dados e registros de desastres: sistema integrado de informações sobre desastres – S21D. 2013. Disponível em: <<http://s2id.integracao.gov.br/>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

Hölbling, D.; FRIEDL, B.; Eisank, C., 2015. An object-based approach for semi-automated landslide change detection and attribution of changes to landslide classes in northern Taiwan. Earth Sci Inform, Vol. 8, pp.327-335.

Jiang, W. C., Jia, K.; Wu, J. J.; Tang, Z. H.; Wang, W. J.; Liu, X. F., 2015. Evaluating the Vegetation Recovery in the Damage Area of Wenchuan Earthquake Using MODIS Data. Remote Sensing, Vol. 7, pp. 8757-8778.

Jiao, Q. J.; Zhang, B.; Liu, L. Y.; Li, Z.; Yue, Y.; Hu, Y., 2014. Assessment of spatio-temporal variations in vegetation recovery after the Wenchuan earthquake using Landsat data. Natural hazards and earth system sciences Journal, Vol. 70, pp. 1309–1326.

Li, X.; Cheng, X.; Chen, W.; Chen, G.; Liu, S. 2015. Identification of Forested Landslides Using LiDar Data, Object-based Image Analysis, and Machine Learning Algorithms. Remote Sensing, Vol. 7, pp. 9705-9726.

Lopes, E. S. S.; Namikawa, L. M.; Reis, J. B. C., 2011. Risco de escorregamentos: Monitoramento e alerta de áreas urbanas nos municípios no entorno de Angra dos Reis - Rio de Janeiro. Em Anais: XIII Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia Ambiental, São Paulo.

Lopes, E. S. S., 2006. Modelagem espacial dinâmica aplicada ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar paulista, na escala de 1:10.000. Tese de Doutorado - IGCE/UNESP, Rio Claro.

Pinto, R. C., Passos, E., & Caneparo, S. C., 2012. Classificação dos movimentos de massa ocorridos em março de 2011 na Serra da Prata, Estado do Paraná. Geoinfá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Vol. 4, pp. 3-27.

Rondeaux, G.; Steven, M.; Baret, F., 1996. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. Remote Sensing of Environmental, Vol. 55, pp. 95-107.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J.A.; Deering, W. D., 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains

with ERTS, em Third ERTS Symposium, NASA SP-351, pp. 309–317.

Sausen, T. M.; Lacruz, M. S. P., 2015. Sensoriamento Remoto para desastres. Oficina de Textos, São Paulo, 288 páginas.

Sothe, C., Gerente, J., Escada, M. I. S., de Almeida, C. M., Schimalski, M. B., Francisco, C. N., & Liesenberg, V., 2017. Análise multitemporal da cobertura vegetal afetada por movimentos de massa no município de Nova Friburgo-RJ em Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto –SBSR, Santos-SP, pp-1502-1509.