

## **Integração de técnicas de processamento digital de imagens e análise espacial na identificação de cicatrizes de escorregamento na região de Cubatão – Serra do Mar Paulista**

Paulina Setti Riedel<sup>1</sup>  
Alessandra Rodrigues Gomes<sup>1</sup>  
Cristina Maria Bentz<sup>2</sup>  
Mateus Ferreira Vidotti<sup>1</sup>  
Veraldo Liesenberg<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista – UNESP/Rio Claro  
Caixa Postal 178 – 13506-795 – Rio Claro – SP  
psriedel, agomes @rc.unesp.br

<sup>2</sup>Centro de Pesquisa da Petrobras - CENPES  
Ilha do Fundão CEP 21941-598 RJ  
cris@petrobras.com.br

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Divisão de Sensoriamento Remoto  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
vlberg@dsr.inpe.br

**Abstract.** The present work applies image processing techniques associated to spatial analysis with the objective of provide the automatic recognition of landslide scars in slopes of the Serra do Mar in Sao Paulo State, specifically in the region of Cubatão. It was applied the *Bathacharrya* classifier, associated to the normalized index of vegetation (NDVI), followed by intersect operator regarding geological and geomorfological variables, summarized by means of a reclassified landslide susceptibility map. The obtained results were promising, although have occurred some errors that showed the need of improvements

**Palavras-chave:** landslide scars, landslide susceptibility map, NDVI, *Bathacharrya* classifier; cicatrizes de escorregamento, mapa de suscetibilidade ao escorregamento, NDVI, classificador *Bathacharrya*.

### **1. Introdução**

O presente trabalho foi desenvolvido em uma porção do município de Cubatão, importante pólo industrial, localizado na Baixada Santista (SP). As condições geomorfológicas existentes, aliadas à ocupação humana, levam à ocorrência de diversos movimentos de massa, que apresentam risco à população e às obras instaladas na região. Existem na área de estudo inúmeros dutos que conduzem desde esgoto até gás natural e o desenvolvimento dos processos de movimentos de massa compromete a segurança destes dutos e, conseqüentemente, do meio ambiente.. Dentre os vários tipos de movimentos de massa, foram abordados os escorregamentos translacionais rasos, que constituem o processo mais comum na Serra do Mar Paulista.

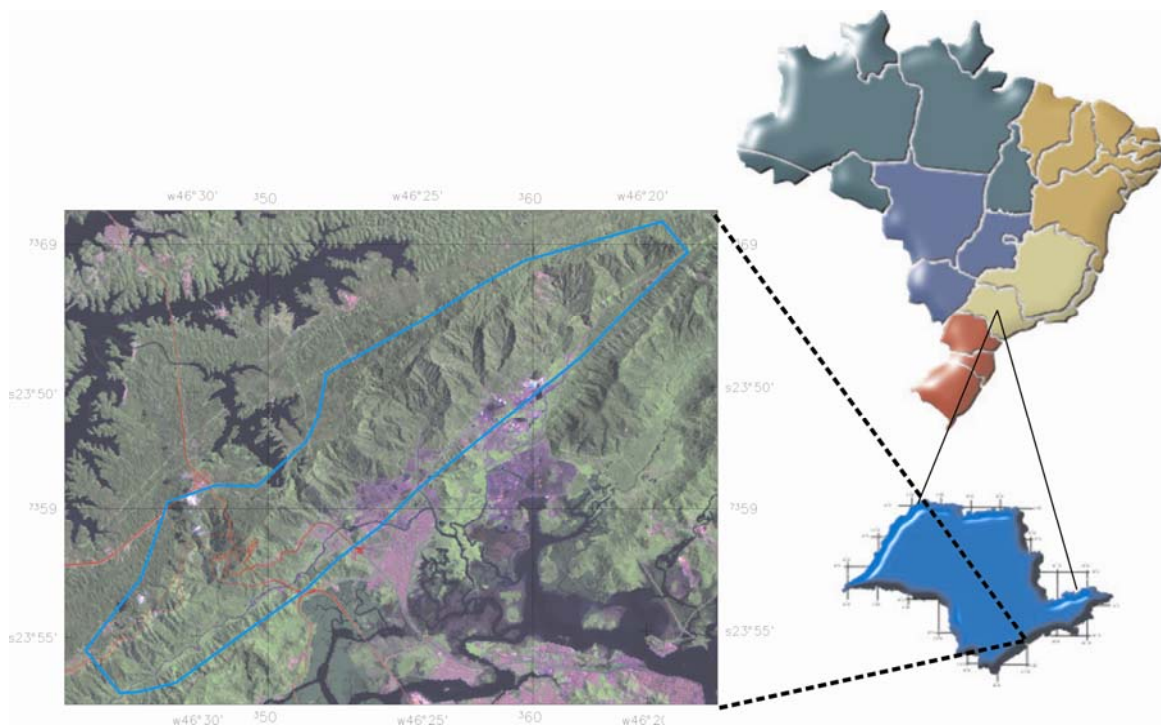
Os movimentos de massa na Serra do Mar paulista são, em parte, induzidos pela ação antrópica, porém, cabe salientar que estes movimentos constituem parte do processo natural de evolução da paisagem em relevos acidentados.

O acompanhamento destes processos torna-se uma necessidade e os produtos de sensoriamento remoto, associados às técnicas de processamento digital de imagem, têm grande

contribuição a dar neste sentido, uma vez que podem favorecer a extração automática de cicatrizes de escorregamento, tarefa normalmente efetuada com sucesso através da interpretação visual de imagens e fotos aéreas. Na interpretação visual, o intérprete se utiliza de um conjunto de critérios para interpretar uma determinada feição como sendo uma cicatriz de escorregamento. Estes critérios são: ausência de vegetação, forma, tamanho e posição da feição na encosta. Assim sendo, este trabalho tem com objetivo integrar técnicas de processamento e de análise espacial, de forma a contribuir na extração automática de cicatrizes de escorregamento, favorecendo o monitoramento deste processo.

## 2. Área estudada

A área selecionada corresponde a uma porção do município de Cubatão, localizado na Figura 1. Esta área foi selecionada para os testes da metodologia por ser de fácil acesso, com cicatrizes já checadas em campo, possibilitando a calibração do processo.



**Figura 1** – Localização da área de estudo.

## 3. Método

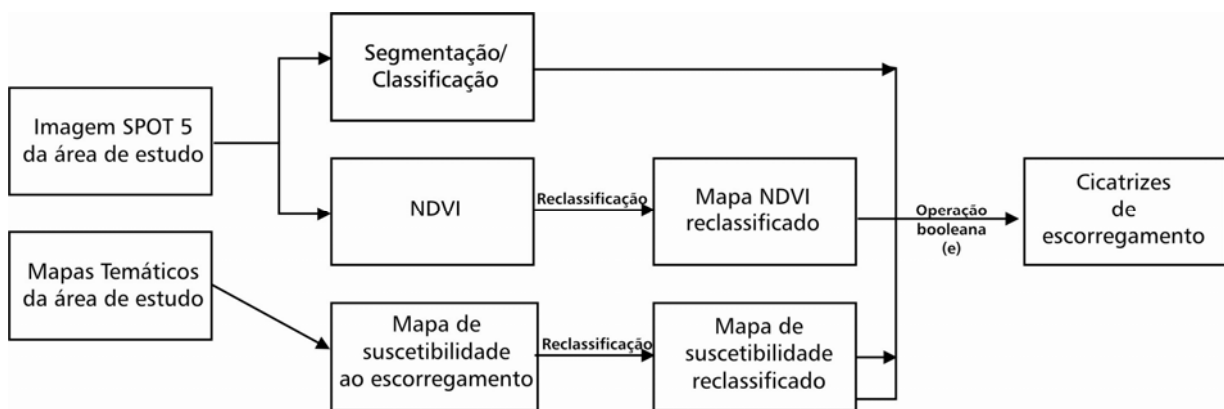
Alguns autores têm tentado utilizar técnicas de processamento de imagens para o reconhecimento automático de cicatrizes de escorregamento. McDermid & Franklin (1995) comprovaram que a classificação supervisionada, baseada na classificação pixel a pixel não fornece bons resultados para o reconhecimento de cicatrizes. Os autores sugerem que uma

abordagem que considere a informação geomorfológica e o formato das cicatrizes pode apresentar mais sucesso do que as técnicas convencionais de classificação.

Barlow et al (2003) obtiveram bons resultados na extração automática de cicatrizes de escorregamento translacional na região de British Columbia, no Canadá, com a utilização de uma classificação hierárquica, que associou a segmentação de imagem do Landsat 7 ETM+, ao índice normalizado de vegetação (NDVI) e dados geomorfológicos, mais especificamente o modelo digital de elevação, eliminando todas as áreas da imagem onde havia vegetação ou onde a inclinação do terreno fosse menor que 15°. As áreas remanescentes, após a eliminação de porções da imagem onde o processo não se desenvolve, foram classificadas com a segmentação associada à classificação supervisionada. A técnica obteve bons resultados na detecção de cicatrizes, com algumas limitações inerentes à resolução do produto utilizado.

Neste projeto, pretende-se aplicar a metodologia proposta por Barlow et al (2003), com algumas adaptações. Propõe-se a utilização do mapa de suscetibilidade ao escorregamento para a eliminação de áreas menos suscetíveis ao desenvolvimento de escorregamentos translacionais, ao invés da utilização do modelo digital de elevação, uma vez que o mapa de suscetibilidade inclui, como fatores de análise, a declividade, proveniente do modelo de elevação, as litologias e as formas das vertentes. A metodologia proposta por Barlow et al (2003) foi aplicada em imagem do Landsat 7 ETM+, enquanto neste trabalho foi utilizada a imagem do SPOT 5, com resolução superior, o que contribuirá no processo de identificação.

As etapas de trabalho estão sintetizadas no diagrama da Figura 2



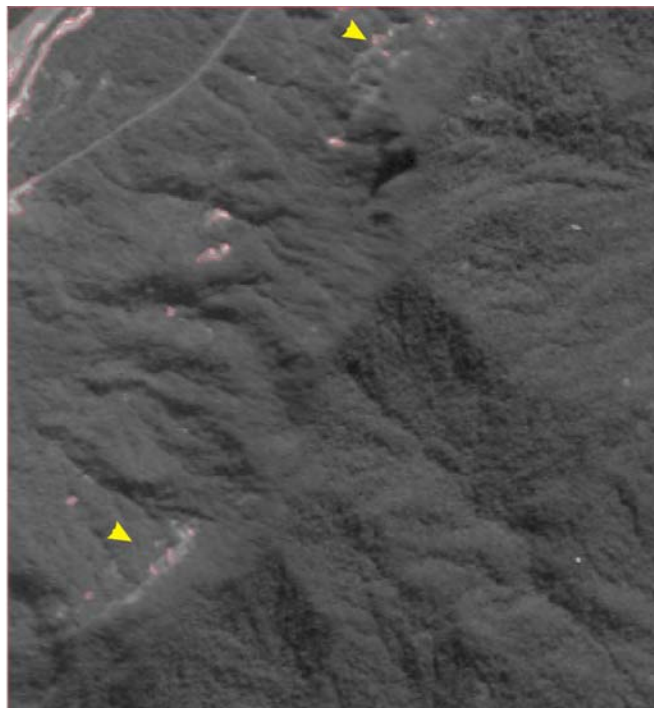
**Figura 2** – Etapas de trabalho

### 3.1 . Segmentação

A segmentação é um processo que permite que uma imagem seja subdividida em partes constituintes ou regiões, a partir de propriedades dos pixels, tais como nível de cinza e textura (Hussain, 1991). O algoritmo de segmentação por crescimento de regiões, utilizado neste trabalho, permite agrupar pixels ou sub-regiões em regiões maiores. A segmentação de imagens é um processo muito utilizado e relevante em diversas áreas para a extração e reconhecimento de feições.

O algoritmo de segmentação utilizado, do software SPRING (INPE, 2006), depende de duas variáveis: limiar de similaridade e limiar de área para o estabelecimento de uma região. O limiar

de similaridade define a diferença mínima entre o valor de um pixel e o valor médio da região contígua a ele, para que este pixel possa ser agrupado a essa região. Se a diferença entre o valor do pixel e a média da região vizinha for maior que o valor de similaridade definida pelo usuário, o pixel não irá pertencer àquela região. O segundo limiar, de área, significa o menor valor de área (em pixel) para que uma região seja separada de outra. (Barbosa *et al.*, 2000). A Figura 3 apresenta a imagem segmentada, onde as setas indicam os polígonos que correspondem às cicatrizes que se busca extrair.



**Figura 3** - Imagem segmentada com polígonos identificados pelos limiares de similaridade 15 e de área equivalente a 5. As setas amarelas indicam as cicatrizes

O próximo passo foi a classificação baseada nas regiões definidas pela segmentação. O resultado da segmentação, pelo método *Battacharrya*, com limiar de aceitação de 99%, está ilustrado na Figura 4. Este método pressupõe uma fase de treinamento, na qual foram adquiridas somente cinco amostras, uma para a classe “vegetação de fundo”, duas para classe “cicatrizes”, onde foram coletados somente dois polígonos, dentre o total de cinco interpretados, duas amostras para a classe “outros”, para polígonos em situações que não correspondiam a feições de cicatrizes. Na Figura 4 pode-se observar que, em amarelo, foram considerados da mesma classe tanto polígonos que correspondem a cicatrizes, quanto outros polígonos, que têm comportamento espectral próximo ao das cicatrizes, como regiões próximas à drenagem. Os polígonos amarelos que realmente equivalem a cicatrizes estão indicados por setas pretas. Uma das cicatrizes não foi identificada pelo classificador. Com a cor vermelha, foram classificadas regiões definidas no treinamento como “outros”, nota-se que nesta classe não foram incluídos polígonos de cicatrizes. O restante da área foi classificado em verde, como “vegetação de fundo”.



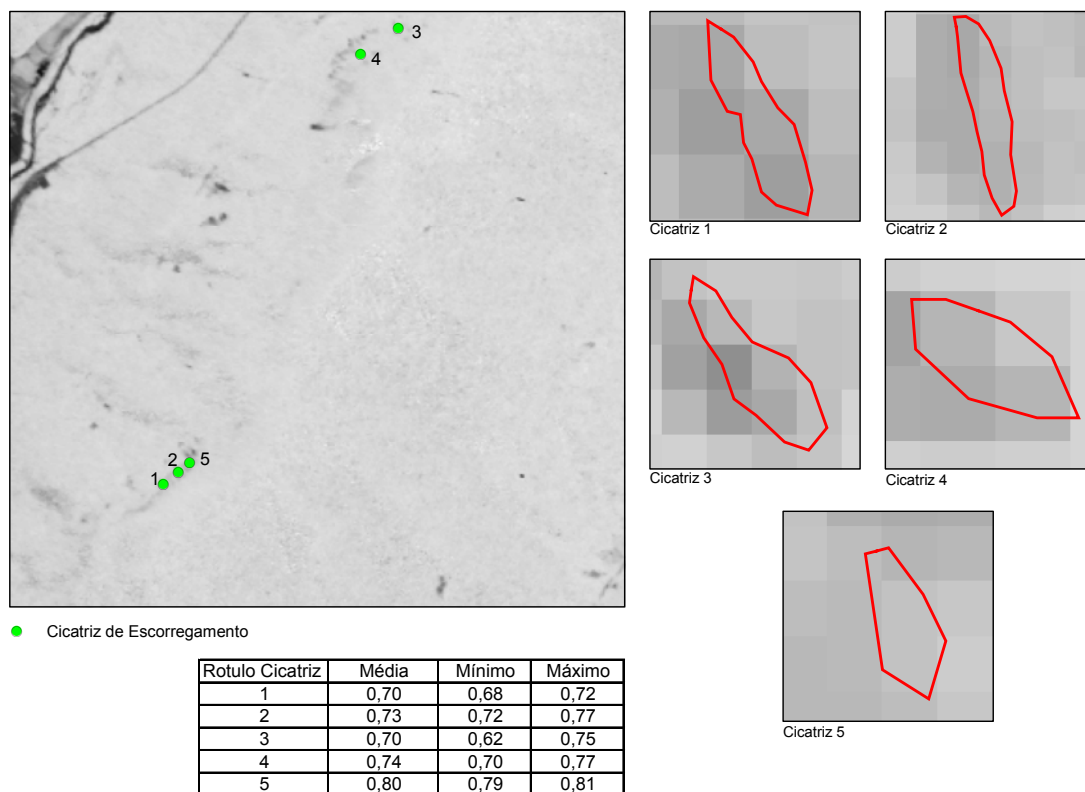
**Figura 4** - Imagem classificada por regiões pelo método Battacharrya, limiar de aceitação de 99%;

### 3.2 Índice Normalizado de Vegetação (NDVI)

O índice de vegetação mais utilizado é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al (1973) para separar vegetação verde de solo usando imagens LandSat MSS. Ele expressa a diferença entre as bandas do infravermelho próximo e vermelho normalizada pela soma de suas bandas, através da seguinte relação:

$$NDVI = \frac{\text{Infravermelho próximo} - \text{vermelho}}{\text{Infravermelho próximo} + \text{vermelho}}$$

Para o cálculo do NDVI, inicialmente as bandas do vermelho e do infravermelho próximo foram transformadas em imagens de reflectância de superfície. A partir das imagens de reflectância de cada banda, calculou-se o NDVI. O índice de vegetação foi calculado para a imagem do SPOT 5. Sobre a imagem do índice de vegetação, foram superpostas as cicatrizes atuais extraídas através de interpretação visual. Com a utilização de um operador zonal de média, foram obtidas as médias de valores de NDVI para as áreas das cicatrizes, conforme ilustra a Figura 5.



**Figura 5** - Média de valores do índice normalizado de vegetação (NDVI), no interior das cicatrizes : imagem SPOT 5, resolução 10m

Com base nos valores mínimos e máximos de NDVI das cicatrizes extraídas, (Figura 5) foi estabelecido um intervalo de corte para a reclassificação da imagem de NDVI, de tal forma que ao intervalo entre 0,68 e 0,80 foi atribuído o valor 1 e ao restante da imagem, o valor 0.

### 3.3- Mapa de suscetibilidade ao escorregamento

O mapa de suscetibilidade ao escorregamento, gerado pela análise multicriterial ponderada a partir dos mapas de declividade, de forma das vertentes e litológico, foi reclassificado, de forma a eliminar as áreas de suscetibilidade baixa a muito baixa, às quais foi atribuído o valor 0, enquanto às classes de suscetibilidades alta, muito alta e média foi atribuído o valor 1.

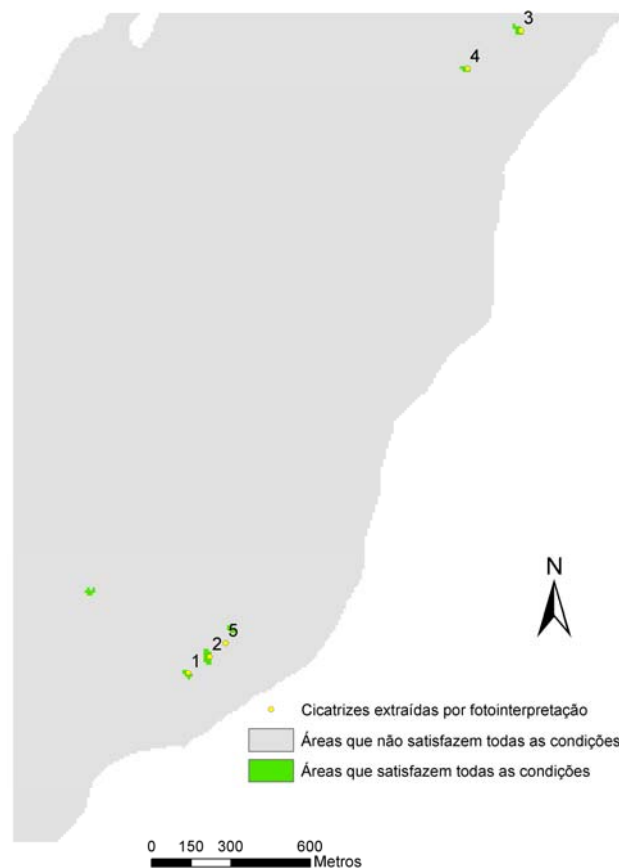
### 3.4- Eliminação de áreas da imagem

A partir das reclassificações geradas para a imagem do NDVI, onde só foram consideradas as áreas de  $0,68 > \text{NDVI} > 0,80$  e para o mapa de suscetibilidade, onde foram consideradas somente as áreas de suscetibilidade igual ou superior à suscetibilidade média, produziu-se uma imagem que satisfaz simultaneamente às duas condições estabelecidas, que foi

então multiplicada pela imagem classificada (Figura 4), eliminando-se todas as áreas que não apresentam condições para o desenvolvimento de cicatrizes.

#### 4. Resultados

As áreas resultantes estão ilustradas na Figura 6, onde estão representadas na cor verde somente as áreas que apresentam condições de serem cicatrizes. Os pontos equivalentes à localização das cicatrizes extraídas manualmente foram plotados sobre estas áreas para controle dos resultados obtidos e estão representados em amarelo e numerados. Observa-se que poucos polígonos restaram após os critérios de eliminação de áreas utilizados. Ocorreu, porém, um erro de omissão, equivalente ao não reconhecimento do ponto 5, pelo classificador utilizado e dois erros de inclusão, equivalentes a pontos reconhecidos pela técnica e que não equivalem a cicatrizes. A não inclusão do ponto 5 no produto classificado pode ser decorrente do fato desta cicatriz apresentar um comportamento um pouco distinto das demais, provavelmente por se encontrar em um estágio mais avançado de regeneração, com presença de vegetação em seu interior.



**Figura 6** – Feições reconhecidas como cicatrizes

## 5. Conclusões

Considera-se que bons resultados foram obtidos quando são associados a uma imagem classificada os critérios de eliminação de áreas utilizados, que incorporam critérios geológicos, geomorfológicos e de vegetação.

Para resolver alguns problemas restantes, pretende-se refinar a técnica com novos testes, de forma a se reduzir os erros observados. Pretende-se também reavaliar a cicatriz 5, que não foi reconhecida pelo classificador utilizado. Esta cicatriz será avaliada com controle de campo e interpretação visual para a correta validação do método e outros classificadores serão testados.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Petrobrás, pelo suporte financeiro e pela autorização de publicação destes dados.

## Referências Bibliográficas

- Barbosa, C.; Hess, L.; Melack, J.; Novo, E. 2000. Mapping amazon wetlands through region growing segmentation and segmented-based classification JERS-1 data. (CD ROM). *In: Simpósio Latino Americano de Sensoriamento Remoto, Puerto Iguazu, Argentina. Anais. 1065 - 1076pp*
- Barlow J; Martin, Y. ; Franklin, S.E. Detecting translational landslide scars using segmentation of Landsat ETM+ and DEM data in the northern Cascade Mountains, British Columbia. **Canadian Journal of Remote Sensing**, vol.29, n.4, p 510-517, 2003
- INPE. SPRING: Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas. **Manual de ajuda**, 2006.
- Hussain, Z. 1991. **Digital Image Processing: practical applications of parallel processing techniques**. Ellis Horwood. 406p.
- McDermid, G., & Franklin, S. 1995. Remote sensing and geomorphic discrimination of slope processes. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband*, Vol. 101, pp. 165–185
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *In: Third ERTS Symposium, Proceedings, NASA SP-351, NASA, Washington, DC, v. 1, p. 309-317, 1973*