

## **DETECÇÃO DE MUDANÇA A PARTIR DE ANÁLISE MULTI-SENSOR NO DOMÍNIO DA FLORESTA ATLÂNTICA**

### **CHANGE DETECTION FROM MULTI-SENSOR ANALYSIS IN THE ATLANTIC FOREST**

Luciana Satiko Arasato<sup>1</sup>, João Roberto dos Santos<sup>2</sup>, Francisco Darío Maldonado<sup>3</sup>,  
Silvana Amaral<sup>4</sup>, Camilo Daleles Rennó<sup>5</sup>

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010 - São José dos Campos, SP, Brasil - <sup>1</sup>luarasato@dpi.inpe.br, <sup>2</sup>jroberto@dsr.inpe.br, <sup>3</sup>francis@dsr.inpe.br, <sup>4</sup>silvana@dpi.inpe.br, <sup>5</sup>camilo@dpi.inpe.br

#### **RESUMO**

Esse trabalho tem como objetivo detectar áreas de mudança de cobertura da terra, a partir da técnica Rotação Radiométrica Controlada por Eixo de não-mudança (RCEN) em imagens de diferentes sensores. Um trecho da Floresta Atlântica localizado no Estado de São Paulo foi selecionado para este estudo, com altitudes variando de 0 m a 1650 m, aproximadamente. Para aplicação dessa técnica de mudanças foram utilizadas imagens Landsat TM de 2004 e SPOT XP de 2006. O emprego da técnica de RCEN permitiu identificar e classificar áreas de regeneração e de degradação no domínio de Mata Atlântica no período considerado. Para melhorar o desempenho classificatório de detecção de mudanças, alguns ajustes ainda são necessários para a aplicação desta técnica em áreas de Floresta Atlântica situadas em terrenos acidentados, e neste caso, as imagens apresentam mais áreas de sombreamento dificultando a detecção.

*Palavras-chave:* Detecção de mudança, sensoriamento remoto, uso e cobertura da terra, Mata Atlântica.

#### **ABSTRACT**

This work aimed to detect land cover change using the RCEN technique (radiometric rotation controlled by non-change axis) over images from different sensors. The study area comprises a region of Atlantic Forest, located in the State of São Paulo, with altitudes ranging approximately from 0 m to 1650 m. Images Landsat TM from 2004 and SPOT XP from 2006 were used for the change detection procedure. The RCEN technique enabled to identify and to classify regeneration and degradation forest areas over the time period considered. The performance of RCEN technique is reduced at images with shaded areas, as observed for hilly terrains. So, it still requires some adjustments to apply this technique over sites of Atlantic Forest within mountainous terrains.

*Keywords:* Change detection, remote sensing, land-use and land-cover, Atlantic Forest.

#### **INTRODUÇÃO**

A detecção de mudança da paisagem consiste de um processo de identificação de alterações das características de um determinado objeto ou alvo nas imagens, para um período considerado (SINGH, 1989; SANTOS *et al.*, 2005). Técnicas de detecção de mudança são importantes ferramentas para detectar, mapear e monitorar transformações nos ecossistemas, sendo elas de origem natural ou antropogênica (COPPIN *et al.*, 2004).

Apesar da sua importância como um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade, a Mata Atlântica encontra-se em um estado de fragmentação e degradação consequente de um processo contínuo de colonização, ocupação, desenvolvimento e exploração do território há alguns séculos (Fundação SOS Mata Atlântica; INPE, 2005; MYERS *et al.*, 2000; TABARELLI *et al.*, 2005). Em uma visão otimista, segundo RIBEIRO *et al.* (2009) restam cerca de 16% da Mata Atlântica original, sendo que os maiores trechos podem ser encontrados protegidos em unidades de conservação, como no Parque Estadual Serra do Mar (PESM) no estado de São Paulo. Neste sentido, a detecção das alterações de uso e cobertura da terra se torna uma importante ferramenta para auxiliar a preservação dessa floresta.

Para identificar os processos de alteração de uso e cobertura, ou mais especificamente de mudanças florestais, diversas técnicas de detecção de mudanças são amplamente utilizadas, tais como: diferenciação de imagens, razão entre bandas, comparação pós-classificação, análise de componentes principais (ACP), análise de vetores, entre outros (MÁS, 1998; MALDONADO *et al.*, 2002; SINGH, 1989; COPPIN *et al.*, 2004; LORENA *et al.*, 2004). A técnica de rotação radiométrica controlada por eixo de não-mudança (RCEN), proposta por MALDONADO (2004), tem se apresentado como um método alternativo a ACP pela sua simplicidade. Esta técnica aplica uma rotação controlada dos eixos ortogonais do espaço de atributos radiométricos das imagens (mesma banda espectral em diferentes datas), em relação ao eixo formado a partir de pontos de não-mudança (SANTOS *et al.*, 2005). Para a aplicação desta técnica não são necessárias correções radiométricas para corrigir os efeitos de atenuação da atmosfera e as diferenças entre os sensores das imagens, facilitando sua utilização.

Este trabalho tem por objetivo detectar áreas de mudança de cobertura da terra, a partir da técnica RCEN em imagens de diferentes sensores em uma região da Mata Atlântica, no Estado de São Paulo.

## Área de estudo

A área de estudo localiza-se na região nordeste do estado de São Paulo (latitudes: 23°37'9.0"S e 23°10'36.6"S; e longitudes: 45°18'34"W e 44°44'39.4"W) e abrange os municípios de Ubatuba, Caraguatatuba, São Luís do Paraitinga, Natividade da Serra, Lagoinha, Cunha e Parati (Figura 1). Segundo AB'SABER (2003), esta região está inserida na área *core* denominada de domínio dos "mares dos morros" florestados.



Figura 1. Localização da área de estudo em imagem SPOT de 2006.  
Figure 1. Location of the study area in image SPOT 2006.

No Estado de São Paulo, umas das principais características do domínio da Mata Atlântica é o relevo bastante acidentado, promovido pelas escarpas da Serra do Mar que são cobertas pelas florestas tropicais. Na região de estudo, o relevo varia de 0 (nível do mar) a 1650 m e o clima é do tipo tropical úmido, com precipitações anuais média superiores a 2000 mm (LACERDA, 2001).

Completamente inseridos na área de estudo, encontram-se dois núcleos de administração do Parque Estadual Serra do Mar (PESM), o núcleo Picinguaba e o Santa Virgínia. O núcleo Santa Virgínia (5000 ha) é recoberto predominantemente por Floresta Ombrófila Densa Montana (VELOSO *et al.*, 1991). O núcleo Picinguaba tem toda a sua área (47500 ha) no município de Ubatuba e é a única porção do Parque Estadual Serra do Mar que atinge a orla marinha (SMA, 1996). As áreas de mangues, dunas, caxetal, as restingas e as diferentes fisionomias de floresta compõem a paisagem natural observada na região. O PESM encontra-se, na sua maioria, na região das escarpas, o que facilitou a preservação da área antes da criação da unidade de conservação em 1977. Nos limites fora do parque, encontram-se algumas cidades, como Ubatuba e Caraguatatuba, estradas e rodovias, áreas de cultivo agrícola, pastos, entre outras coberturas do solo resultantes de pressões antrópicas que modificam a paisagem nestas áreas (JOLY e MARTINELLI, 2004).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Detecção de Mudança

As imagens utilizadas provêm do satélite Landsat-5, sensor TM, órbita-ponto 218/76, de 15/07/2004 e do satélite SPOT-5, sensor HRVIR, bandas multiespectrais XS (ID imagem: 5 719-396/8) de 23/07/2006. A área de estudo foi limitada pela cobertura da cena SPOT, de modo a garantir a sobreposição completa das imagens nas datas consideradas. Para diminuir os efeitos de sazonalidade e sombreamento, resultante da geometria entre o sensor, sol e alvo foram usadas imagens do mesmo período. Desta forma, garante-se detectar somente as mudanças de uso e cobertura da terra. A imagem Landsat-5 TM foi recortada para a área de estudo que compreendeu toda a área da imagem SPOT (coordenadas: 23°37'10"S a 23°10'36"S e 45°18'34"W a 44°44'36"W). Foram utilizadas apenas as bandas correspondentes ao vermelho e infravermelho próximo, que alimentam a técnica de detecção de mudança aplicada neste trabalho.

Para o desenvolvimento metodológico (Figura 2) deste trabalho a partir da técnica RCEN, inicialmente a imagem SPOT foi reamostrada no software ENVI, pelo interpolador de agregação de pixels (média), para compatibilizar as dimensões dos pixels, de 10 m (SPOT) para a resolução espacial de 30 m do Landsat TM.

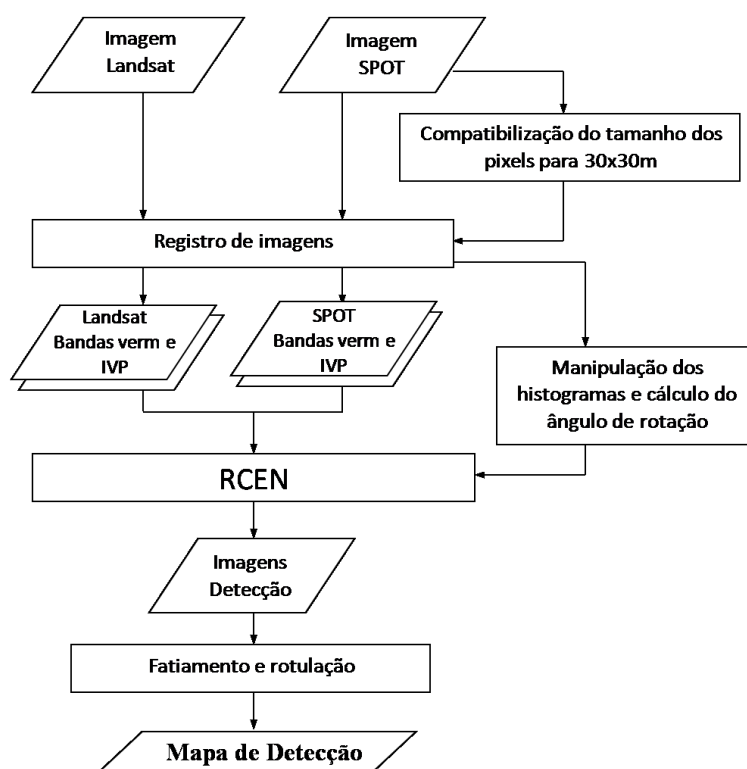


Figura 2. Procedimento metodológico para tratamento dos dados Landsat-5 e SPOT-5.  
Figure 2. Methodology procedure to treatment of the Landsat-5 and SPOT-5 data.

As imagens do SPOT foram adquiridas com correções atmosféricas e geométricas, e portanto foram consideradas referências para o co-registro das imagens Landsat. As bandas 3 (vermelho) e 4 (infravermelho) do Landsat TM foram co-registradas com as imagens SPOT, no software ENVI, pelo algoritmo do vizinho mais próximo, obtendo-se um erro menor que 1/3 do tamanho do pixel.

A técnica de RCEN baseia-se na definição da posição do eixo de não-mudança nos dispersogramas das bandas espectrais do vermelho (primeira data x segunda data) e infravermelho próximo (primeira data x segunda data), para obtenção dos parâmetros angulares de entrada. Isto é, a partir dos histogramas de cada imagem, espera-se encontrar duas modas que correspondem às regiões que não sofreram mudanças no período estudado. Para a obtenção desses pontos de não-mudança nos dispersogramas, podem ser utilizados dados coletados no campo ou adquiridos a partir da imagem. Em uma cena há muitas regiões onde ocorrem mudanças. Porém, a forma dos diagramas de dispersão permite estimar pontos que representam o eixo de não-mudança, através de cada uma das classes mais abundantes. Estas classes abundantes correspondem às regiões de não-mudança, como o pasto e a floresta. A análise da dispersão dos pixels foi feita em uma área menor (Figura 3), de coordenadas 45°01'51,9" a 45°17'3,6" W e 23°11'41,2" a 23°20'29,9"S, fazendo uso do software Matlab (MALDONADO *et al.*, 2009). A partir desse estudo dos dispersogramas foram obtidos dois pontos para se determinar o eixo de não-mudança. A partir desses pontos, que correspondem aproximadamente aos alvos claros e escuros (floresta e pasto, respectivamente), foi traçada uma reta entre esses pontos e determinado a posição e inclinação do eixo de não-mudança.

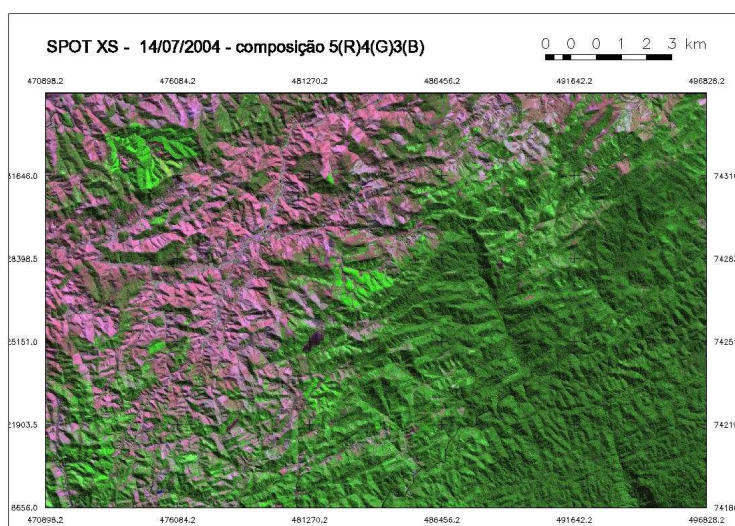


Figura 3. Sub-área utilizada para a geração dos diagramas de dispersão dos pixels usados para obtenção do eixo de não-mudança. Detalhe da sub-região em imagem SPOT XS com proporções semelhantes de regiões de floresta e de pasto.

Figure 3. Sub-set used for the generation of pixels scatter diagrams used to obtain the axis of non-change. Detail of the sub-region in image SPOT XS with similar proportions of forest and pasture areas.

Os pontos de não-mudança obtidos nas duas datas de passagem foram utilizados para encontrar o ângulo de inclinação do eixo de não-mudança. Para cada diagrama foram adquiridos 2 pontos (x,y). Estes foram utilizados para o cálculo do ângulo de rotação da seguinte forma (equação 1):

$$\hat{\text{Ângulo}} (\theta) = \arctg ((Pp_2 - Pf_2) / (Pp_1 - Pf_1)) \quad \text{equação (1)}$$

Onde  $Pf_1$  é o centro da classe 1 na primeira data,  $Pp_1$  = centro da classe 2 na primeira data,  $Pf_2$  = centro da classe 1 na segunda data e  $Pp_2$  = centro da classe 2 na segunda data.

Esse cálculo foi feito para as duas bandas utilizadas (vermelho e infravermelho próximo) de forma independente, ou seja, um ângulo  $\theta$  para cada par de bandas do vermelho ou infravermelho próximo (MALDONADO *et al.*, 2007).

O ângulo  $\theta$  é o parâmetro de entrada principal para transformação, como pode ser observado na fórmula seguinte (equação 2):

$$I_{\text{intermediária}} = \cos(\theta) * I_{\text{data 2}} - \sin(\theta) * I_{\text{data 1}} \quad \text{equação (2)}$$

Essa equação 2 produz a rotação dos eixos ortogonais do espaço bi-dimensional dos valores radiométricos das imagens, na mesma banda espectral (vermelho ou infravermelho) nas duas datas diferentes (neste trabalho, 2004 e 2006). Esta transformação é feita utilizando-se os ângulos de rotação calculados anteriormente para cada par de bandas espectrais analisadas.

As duas imagens de detecção intermediárias, provenientes das bandas do vermelho e do infravermelho próximo, são somadas para a produção da imagem detecção final (equação 3):

$$I_{\text{detecção}} = I_{\text{intermediária - banda vermelho}} - I_{\text{intermediária - banda infravermelho próximo}} \quad \text{equação (3)}$$

Nesta soma para obtenção da imagem detecção final ( $I_{\text{detecção}}$ ), a imagem do infravermelho é inserida com o sinal invertido, devido às mudanças na cobertura estarem relacionadas de forma inversa com a banda do vermelho e de forma indireta com a banda do infravermelho. O fatiamento da imagem detecção final foi feita de forma empírica: algumas regiões foram observadas para identificar as classes de mudança e não-mudança. A rotulação seguiu-se às classes encontradas de não-mudança, degradação e regeneração. Esta última etapa do trabalho foi realizada no software SPRING 5.1.3<sup>1</sup>, segundo MALDONADO *et al.* (2009).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ângulos ( $\alpha$ ) de 75,65° e 65,97° foram obtidos a partir da manipulação dos diagramas de dispersão, para as bandas do vermelho e infravermelho (Figura 4a e 4b, respectivamente). Estes ângulos alimentaram o modelo para a rotação do eixo de não-mudança, como parâmetros angulares na equação 1 para a geração de duas imagens detecção intermediárias. Esses valores altos dos ângulos dos eixos de não-mudança minimizaram as diferenças de sensibilidade dos sensores SPOT XS e Landsat TM.

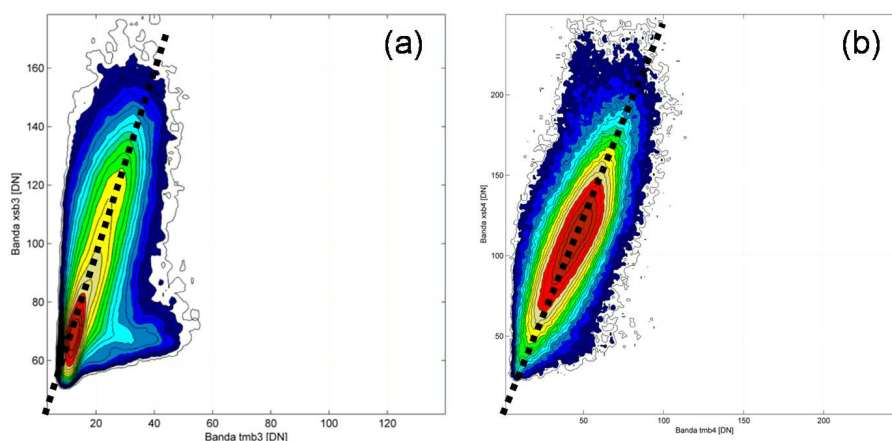


Figura 4. Diagramas de dispersão utilizados para a obtenção do eixo e ângulo de rotação do eixo de não-mudança. (a) banda do vermelho e (b) banda do infravermelho próximo. Linha tracejada indica o eixo de não-mudança.

Figure 4. Scatter plots used to obtain the axis and rotation angle of the axis of non-change. (a) red band and (b) near-infrared band. Dashed line indicates the axis of non-change.

A Figura 5a é uma imagem detecção intermediária proveniente somente das análises das bandas do vermelho das duas datas e a Figura 5b é uma imagem detecção das bandas do infravermelho. Nessas imagens de detecção intermediárias já é possível observar algumas regiões de mudança, tons mais escuros na Figura 5a e

<sup>1</sup> [www.dpi.inpe.br/spring/](http://www.dpi.inpe.br/spring/)

tons mais escuros e claros na Figura 5b. Na figura 5c pode-se observar a imagem detecção final, obtida a partir da soma entre as imagens intermediárias provenientes do vermelho e infravermelho.

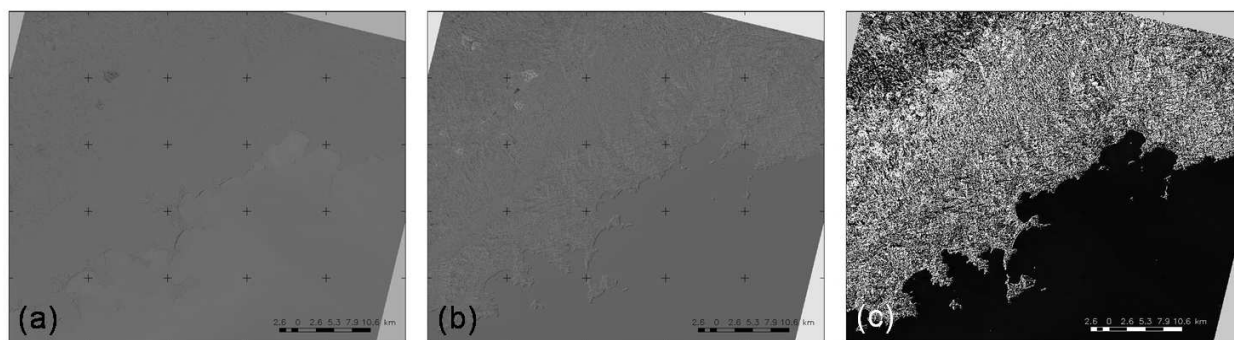


Figura 5. Imagem detecção de mudança. (a) imagem intermediária banda vermelho; (b) imagem intermediária banda infravermelho próximo; e (c) imagem detecção final. Tamanho do pixel: 30x30m.

Figure 5. Change detection image. (a) red band intermediate image, (b) near infrared band intermediate image, and (c) final image detection. Pixel size: 30x30m.

Essa imagem detecção final (monocromática) foi submetida ao fatiamento e rotação, obtendo-se um mapa detecção de mudanças (Figura 6c) com 3 classes: regeneração (verde), degradação (vermelho) e não-mudança (branco).

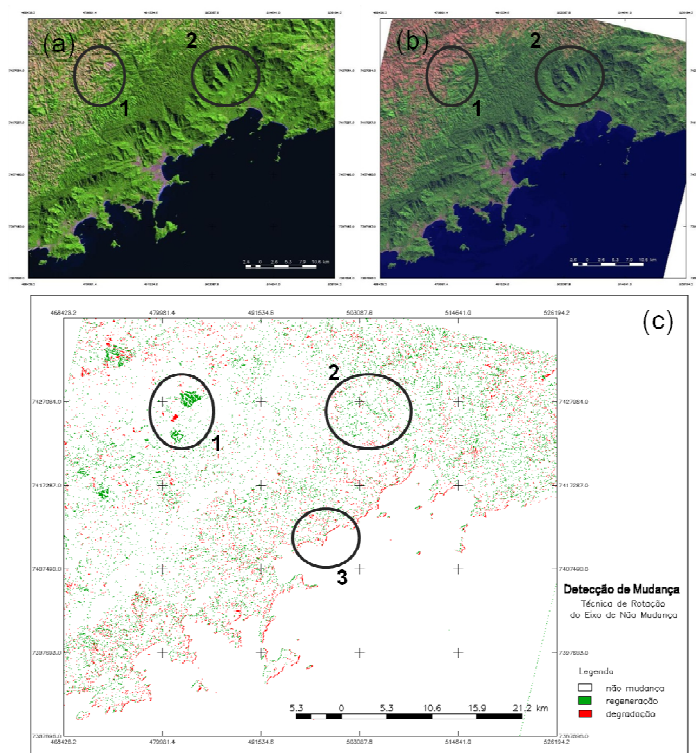


Figura 6. Imagens e mapa de detecção de mudança da área de estudo. (a) Imagem Landsat TM de 2004; (b) Imagem SPOT XS de 2006; e (c) Mapa de detecção de mudança entre 2004 e 2006, obtido a partir da técnica de rotação radiométrica por eixo de não mudança (RCEN).

Figure 6. Images and change detection map in the study area. (a) Landsat TM 2004 image; (b) SPOT XS 2006 image; e (c) Change detection map between 2004 and 2006 obtained from the technique of radiometric rotation axis of non-change (RCEN).

Numa análise qualitativa, pode-se observar que foi possível detectar apenas algumas regiões de mudança e somente em duas intensidades (regeneração e degradação), principalmente nas regiões altas (grandes altitudes) da Serra do Mar, diferente das quatro intensidades do que encontraram SANTOS *et al.* (2005) em uma área de floresta de transição em Mato Grosso utilizando a mesma técnica. Contudo, observa-se que algumas feições classificadas como degradação são decorrentes de variações do nível do mar entre as datas – a linha de costa foi realçada em toda cena (Figura 5c, círculo 3). Áreas de regeneração mais extensas, na região mais próxima ao Vale do Paraíba, correspondem a plantios de eucaliptos, frequentes na região (Figura 6, círculo 1). O sombreamento decorrente da geometria de iluminação no momento do imageamento e a orientação das vertentes na Serra do Mar comprometeu a detecção de mudanças nessas áreas (Figura 6, círculo 2). Nessas áreas de sombra existem dois problemas: 1) existe a lacuna de informações entre os períodos, isto é, não se conhece a real existência de mudança ou não da cobertura da terra; 2) as diferentes resoluções espaciais das imagens fornecem bordas das sombras diferentes entre os períodos e em consequência aparecem pixels ou linhas de pixel de regeneração ou degradação devido à variação da área de sombra. Uma análise mais detalhada deve ser feita para verificar a consistência do mapeamento apresentado de modo a validar os resultados e a influência do terreno muito movimentado na detecção de mudanças.

## CONCLUSÕES

Apesar de ainda serem necessários alguns ajustes para a aplicação da técnica de RCEN nessa área de floresta com condições altitudinais de relevo acidentado característico, esta técnica de detecção de mudança se mostrou eficaz na identificação e classificação das áreas de mudança de uso e cobertura da terra da região. Assim, a RCEN pode ser uma alternativa para o monitoramento e identificação de regiões de mudança, pois é uma técnica que pode ser aplicada em dados provenientes de diferentes sensores. Além disso, a falta de necessidade de algumas etapas de pré-processamento (por exemplo: correção atmosférica) que são requisitadas por outras técnicas, torna a RCEN uma técnica de fácil entendimento e utilização.

Como pode ser observado, as maiores áreas de mudança, regeneração e degradação, foram identificadas fora dos limites do PESM, indicando que a implantação de Unidade de Conservação foi eficiente para a região no período de 2004 e 2006.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER, A.N. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial. 2ª edição. 2003. 159p.
- COPPIN, P. *et al.*. Review article digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*, v.25, n.9, p. 1565-1596, 2004.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: Período 2005-2008. Fundação São Paulo: SOS Mata Atlântica & Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005. 156 p. Relatório Final.
- JOLY, C.A.; MARTINELLI, L.A. (coordenadores). Composição florística, estrutura e funcionamento da Floresta Ombrófila Densa dos núcleos Picinguaba e Santa Virgínia do Parque Estadual Serra do Mar. São Paulo: Projeto Temático Biota/FAPESP, 2004. 128 p.
- LACERDA, M.S. Composição florística e estrutura da comunidade arbórea num gradiente altitudinal da Mata Atlântica. 2001. 136p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal). Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2001.
- LORENA, R.B. *et al.*. Técnica de detecção de mudanças aplicada em imagens de satélite como ferramenta de monitoramento de uso e cobertura na Amazônia ocidental (Acre). *Espaço & Geografia*, v.7, n.1, p. 47-76, 2004.
- MALDONADO, F. D. *et al.*. Detecção de mudanças na cobertura vegetal da Floresta Amazônica utilizando a técnica RCEN multiespectral com imagens CBERS-2, região de Apuí - AM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. *Anais...* São José dos Campos: INPE,

2007. p. 6819-6826. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.28.18.19>>. Acesso em: 29 setembro de 2009.
- MALDONADO, F.D. *et al.*. Land use dynamics in the semi-arid region of Brazil (Quixabá-PE): characterization by principal components analysis. *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, n. 23, p.5005-5013, 2002.
- MALDONADO, F. D. *et al.*. Detecção de mudanças com técnica de Rotação Radiométrica - RCEN, inovações para uma abordagem prática usando SPRING. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2009. p. 1433-1440. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15927-PRE/10537). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.09.16.46>>. Acesso em: 28 de setembro 2009.
- MÁS, J.F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, v.20, n.1, p.139-152, 1998.
- MYERS, N. *et al.*. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, pp. 853-858. 24 fev. 2000.
- RIBEIRO, M.C. *et al.*. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, v.142, p.1141-1153. 2009.
- SANTOS, J. R. *et al.*. Integração de Imagens LANDSAT/ETM+ E CBERS-2/CCD para detecção de mudanças em área da Amazônia sob domínio da floresta de transição / Integration of Landsat/ETM+ and CBERS-2/CCD images for change detection in the Amazon region under domain of transition forests. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 1, n. 57, p. 15-21, Abril 2005.
- SINGH, A. Review Article Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, v.10, n.6, pp.989-1003, 1989.
- SMA – SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. Atlas das Unidades de Conservação do Estado de São Paulo. Parte 1. Litoral. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente & CESP, 1996.
- TABARELLI, M. *et al.*. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. *Megadiversidade*, v. 1, n. 1, pp. 132-138, 2005.
- VELOSO, H.P. *et al.*. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991, 123p.