

# **Detecção automática das mudanças na cobertura vegetal utilizando a técnica de Rotação radiométrica controlada pela evolução da moda das imagens componentes.**

Francisco Darío Maldonado <sup>1</sup>  
Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça <sup>1</sup>  
João Roberto dos Santos <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA  
Caixa Postal 515 - 12.245-970 - Manaus - AM, Brasil  
{maldonado, pmlag}@inpa.gov.br

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12.227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
jroberto@dsr.inpe.br

**Abstract.** This study explores the applicability of an automatic technique of change detection. This technique uses images without atmospheric correction. This automatic technique is based on the radiometric rotation of multi-temporal images. Some environments were selected for the development and application of this new change detection technique. The results show that this technique has many potentialities for change detection and monitoring of land use and land cover over various ecosystems. The use of this automatic technique facilitates the operative processing of change detection, and can be useful for the automatic generation of new bands with temporal information improving the thematic classification.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, change detection, sensoriamento remoto, processamento de imagens, detecção de mudanças, Amazônia.

## **1. Introdução**

Neste trabalho são apresentados os primeiros avanços para a obtenção de uma nova técnica de detecção de mudanças, que não faz uso de imagens com correção atmosférica inclusive automatiza totalmente a fase de detecção. Esta técnica está relacionada com outras técnicas desenvolvidas pelos autores, denominadas de rotações controladas e propostas em Maldonado et al. (2002), e desenvolvidas em Maldonado (2004) e testadas em Graça (2004), Maldonado e Santos (2005), Santos et al. (2005) e Maldonado et al. (no prelo). Estas técnicas são a RCEN- Rotação Controlada por Eixo de Não mudança e a RCIP - Rotação Controlada por Índice de Precisão e RCEN multiespectral.

O desenvolvimento da técnica atual está motivado pela possibilidade de automatização e diminuição do esforço de campo, necessários no emprego da técnica RCEN. Esta nova técnica é uma Rotação controlada pela evolução da moda das componentes (RCEM), e gera automaticamente a imagem detecção de mudanças em base a parâmetros intrínsecos da cena imageada.

A inovação desta técnica foi precedida pela aplicação com sucesso da técnica RCEN em diversos ambientes e com variadas combinações de sensores, como mostram Santos et al (2005a) e Santos et al. (2005b). Isto permitiu observar alguns parâmetros na cena que evoluíram durante as rotações e que foram preliminarmente associados com a exatidão dos resultados finais.

A hipótese a ser testada neste trabalho propõe que existe uma relação compreensível entre o ângulo ótimo de rotação e o valor da moda da imagem detecção resultante. Para tal, o **objetivo** deste trabalho foi aplicar a técnica RCEM em variados ambientes onde já foi utilizada a RCEN, com a finalidade de verificar a similaridade entre ângulos com resultados anteriores, analisar a consistência da evolução da moda e desempenho desta nova abordagem.

## 2. Material

O desenvolvimento metodológico de aplicação da RCEM foi executado com uma série de imagens orbitais, cujas especificações seguem: Imagem TM\Landsat órbita 226 ponto 68 de data 23 de maio 2002 e TM\Landsat de 21 de julho 2003 da região de Sinop-MT correspondente a Floresta de transição. Duas imagens TM\Landsat órbita ponto 266 ponto 81 das datas 6 de setembro 1987 e ETM\Landsat de data 12 de novembro 2000 da região do semi-árido de Argentina correspondente a vegetação do Chaco árido. Duas imagens, TM\Landsat órbita 217 ponto 66 de data 25 de junho 1999 e ETM\Landsat de data 9 de outubro 2001 da região de Ouricuri-PE correspondente a vegetação de caatinga. Duas imagens, ETM\Landsat órbita 219 ponto 63 de data 2 de agosto 1999 e CCD\CBERS órbita 154 ponto 105 de data 22 de agosto 2004 da Região de José de Freitas-PI correspondente a vegetação de cerrado. Duas imagens CCD\CBERS órbita 172 ponto 108 das datas 29 de junho 2004 e 27 de junho 2006 da região de Apuí-AM, correspondente a vegetação de Floresta ombrófila densa com exploração agropecuária. Duas imagens CBERS/CCD das datas 26 de junho 2004 e 24 de junho 2006 da região de Santo Antônio do Matupi-AM órbita 173 ponto 109 correspondente a vegetação de Floresta ombrófila densa.

O software utilizado foi o Modulo RCEM de rotação radiométrica de imagens (modulo de aproximadamente 600 linhas de código), do SIREI – Sistema de rotação espectral de imagens, programado em Matlab 7.0 Release 14.

## 3. Método

A seguir se apresenta o fluxograma de atividades que definem a técnica RCEM (**Figura 1**).

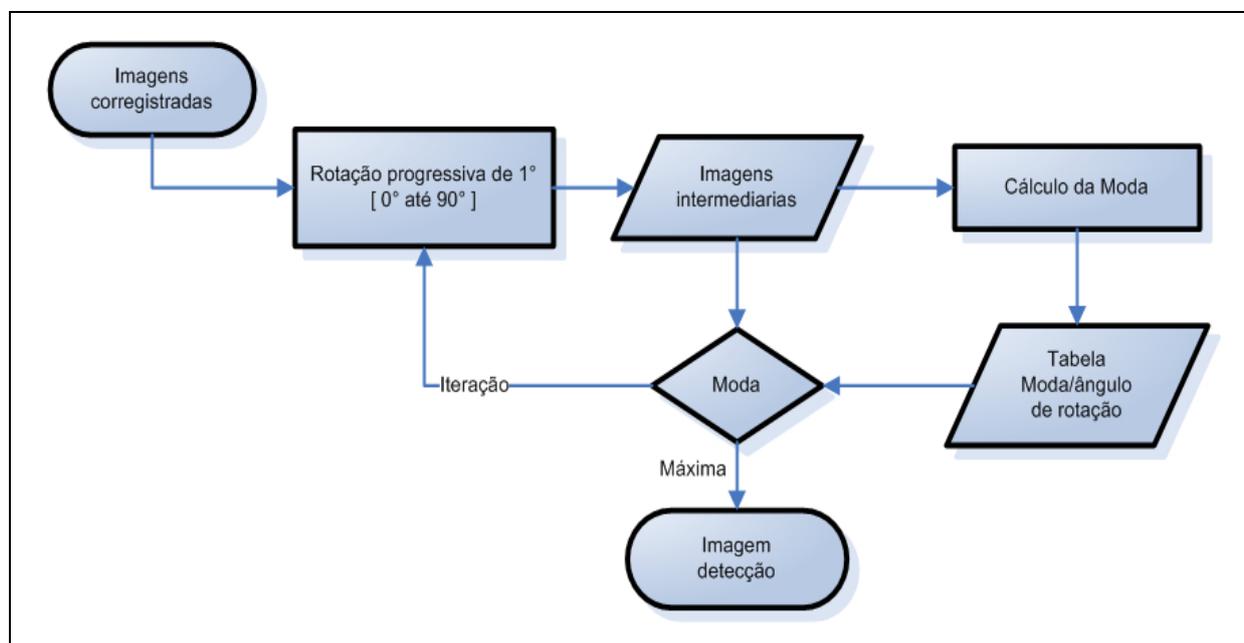


Fig. 1- Técnica de rotação controlada pela evolução da moda- RCEM.

### 3.1. Aplicação da técnica de rotação controlada

Neste tipo de abordagem metodológica de rotação a técnica é aplicada sobre a banda do vermelho (Banda 3). A rotação radiométrica gera duas imagens componentes em forma similar à ACP (Análise por componentes principais), conforme descrita em Maldonado et al. (2002). A segunda componente, de maior interesse ao usuário, é obtida com a transformação da **Equação 2**, citada mais adiante no texto. Neste tipo de transformação quando o ângulo

corresponde a um determinado valor considerado ótimo, têm-se as mudanças radiométricas ocorridas entre uma cena e a outra. Nesta imagem existe uma moda, que corresponde à somatória dos pares de valores do espaço bidimensional (**Figura 2**).

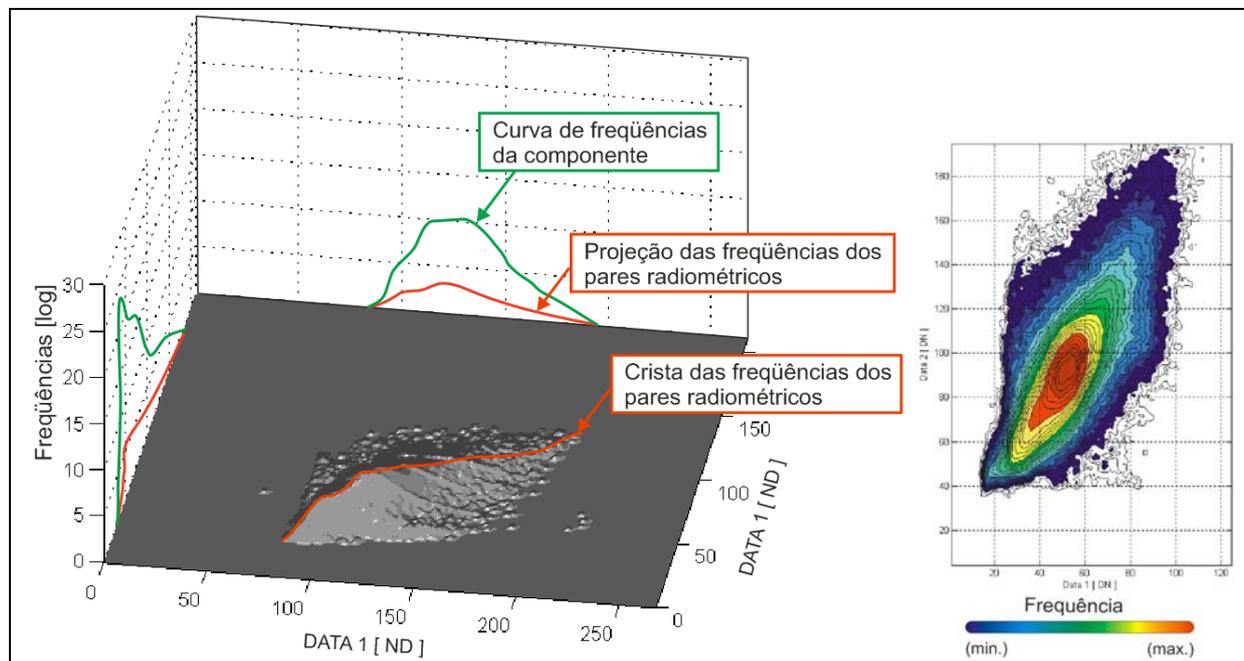


Fig. 2 - Modas no espaço bidimensional da Banda 3, mostrando a superfície das frequências e o dispersograma das frequências à direita, (no exemplo, região do Valle Fértil-Argentina).

Na **Figura 2** pode ser observada em forma empírica a possível razão de uma moda máxima que corresponde com o ângulo ótimo da rotação. Isto é mais comum entre imagens pouco separadas no tempo, onde a proporção de não mudança na cena é muito alta. A extensão dessa crista de não mudança também depende da diversidade radiométrica ou diversidade fisionômica em ambientes que não mudam. Isto é comum em cenas do semi-árido onde a vegetação clímax é variada podendo ser paisagens herbáceas, arbustivas até arbóreas, e as superfícies dos solos são variadas em cores e texturas.

Essa diversidade radiométrica de elementos que não mudam entre as cenas produz na superfície das frequências da **Figura 2**, uma crista de frequências de não mudança mais ou menos extensa e em geral linear. No transcorrer da rotação desta superfície de frequências (espaço bidimensional das imagens)

O valor da moda de cada componente é diferente segundo o ângulo de rotação que tenha sido aplicado para gerar esta componente. Empiricamente foi constatado que a componente gerada com o ângulo ótimo para obter uma imagem detecção de mudanças, possui uma das maiores modas registradas na rotação iterativa.

Esta técnica aplicada em forma preliminar deve respeitar certas restrições: **1-** As cenas devem possuir uma proporção equilibrada entre floresta e outras classes. **2-** As mudanças e não mudanças em classes de cobertura não florestal, não devem estar relacionadas com a sazonalidade. Isto pode ser garantido utilizando-se imagens do mesmo mês do ano ou da mesma época, preferentemente na seca. **3-** A proporção da imagem que não muda deve ser espacialmente extensa, e ocorrer em várias classes temáticas. Isto pode ser garantido com intervalos de tempo curtos entre imagens. Estas restrições permitem que existam na cena imageada os parâmetros necessários para o funcionamento adequado da RCEM.

A rotação controlada é uma transformação que a partir de duas datas distintas, gera duas bandas chamadas de componentes. As equações aplicadas para obter as componentes são:

$$C'_{1era} = I_{Data1} \cdot \cos \theta + I_{Data2} \cdot \text{sen} \theta \quad (1)$$

$$C'_{2da} = -I_{Data1} \cdot \text{sen} \theta + I_{Data2} \cdot \cos \theta \quad (2)$$

Nestas equações  $\theta$  é o ângulo de rotação, aplicado para gerar as duas componentes. Na **Equação 1** é calculada a primeira componente. Durante a rotação progressiva com intervalo de  $1^\circ$ , são geradas componentes para cada ângulo de rotação e cada uma destas possui uma moda. Estas modas são graficadas gerando uma curva de moda versus o ângulo de rotação. A gráfica das modas da primeira componente não é considerada no presente trabalho, embora possa ser importante para futuros análises. Da **Equação 2** é obtida a segunda componente, denominada de “Imagem detecção de mudanças” quando o ângulo aplicado é ângulo ótimo para a detecção das mudanças na paisagem.

### 3.2. Comparação com resultados preexistentes

Sendo que o Mapa das mudanças é produzido após a obtenção da imagem detecção por uma técnica simples, de fatiamento e rotulação, o ângulo é considerado fundamental para produzir um mapa acurado. Nesta metodologia o ângulo de rotação é o principal parâmetro utilizado para medir o sucesso da técnica. Este sucesso é estimado em forma relativa a outros ângulos obtidos nas mesmas cenas

### 3.2. Avaliação da consistência da curva da evolução da moda

As curvas analisadas são duas, a principal e gerada a partir das frequências da segunda componente é chamada de curva da moda máxima. Esta curva representa pares de pontos cujos valores são a moda da imagem intermediária e o ângulo de rotação aplicado para gerá-la. A segunda curva corresponde a primeira componente e representa a moda versus o ângulo de rotação. Em geral as curvas se comportam em forma inversa, mas empiricamente foram observados variados casos.

## 4. Resultados e discussão

Os ângulos obtidos pela RCEM (**Tabela 1**), considerando-se o mesmo ecossistema investigado, em geral, são próximos aos resultados obtidos pela RCEN em Maldonado (2004), Graça (2004), Graça et al. (submetido), Maldonado et al. (submetido).

**Tabela 1** – Resultados da RCEM comparadas com resultados da RCEN.

Cenas	Intervalo [anos]	RCEN	RCEM	Ambiente	Clima
Ouricuri_PE	3	73° 10'	72° 40'	Caatinga	Semi-árido
Valle Fértil-AR	13	65° 55'	66° 20'	Chaco árido	Semi-árido
José de Freitas-PI	5	36° 40'	35° 20'	Cerrado	Sub-úmido
Sinop-MT 2002/2003	1	51° 34'	53° 10'	Floresta de transição	Úmido
Sto. Antônio do Matupi-AM	2	63° 41'	76° 00'	Floresta ombrófila densa	Úmido
Apuí-AM	2	47° 29'	56° 30'	Floresta ombrófila densa	Úmido

Na **Figura 3** se mostram as curvas de evolução das modas, em azul a moda da segunda componente ou imagem detecção de mudanças, e em negro a moda da primeira componente, imagem sem uso, nestas figuras a moda mínima desta componente é mostrada nas figuras porque esta curva seguiu uma evolução inversa a da moda máxima e o mínimo são muito próximos em alguns casos, esta distância pode ter algum significado importante para futuras análises.

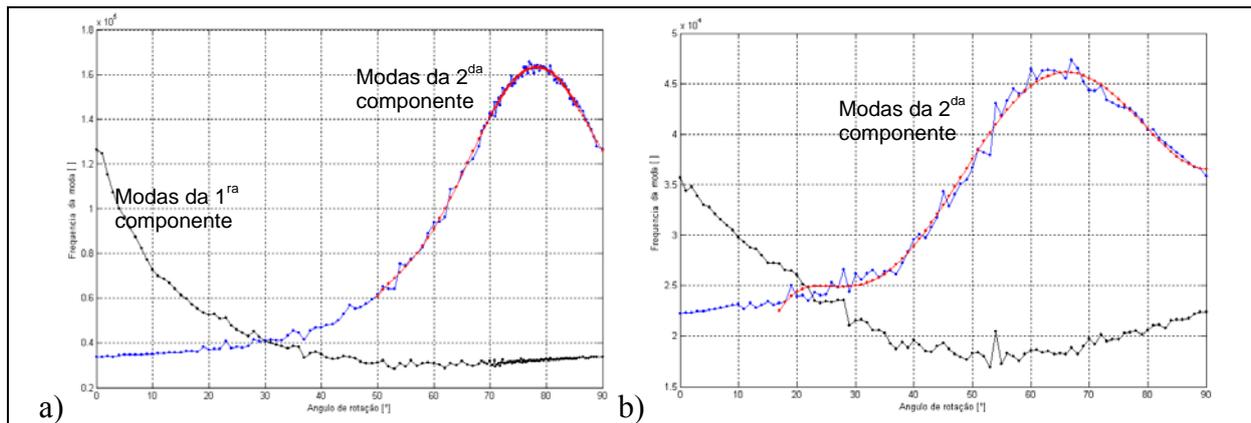


Fig. 3 – Curvas das modas versus ângulo de rotação, para as imagens do semi-árido de Oricuri 1999/2001 (a) e Valle Fértil (1987/2001) (b).

A cena de Valle Fértil possui uma dinâmica muito baixa e proporções similares de degradação e recuperação, com pouca expansão da ocupação nessa paisagem do chaco árido. Este fato é constatado mesmo com um conjunto de imagens de ampla temporalidade (1987/2000) (**Figura 2b**), razão que justificou um comportamento similar àquele encontrado para o caso do semi-árido brasileiro, cujo conjunto de imagens era de anos próximos (1999/2001) (**Figura 2a**). A curva das imagens de caatinga (**Figura 3a**) é consistente e apresenta a moda máxima melhor definida para obter o valor do ângulo ótimo. A curva da Figura 3b é mais ampla e a moda máxima não é tão definida. Na Figura 4 se apresentam curvas de ambientes com mais dinâmica de mudanças, principalmente Sinop com um ano de intervalo.

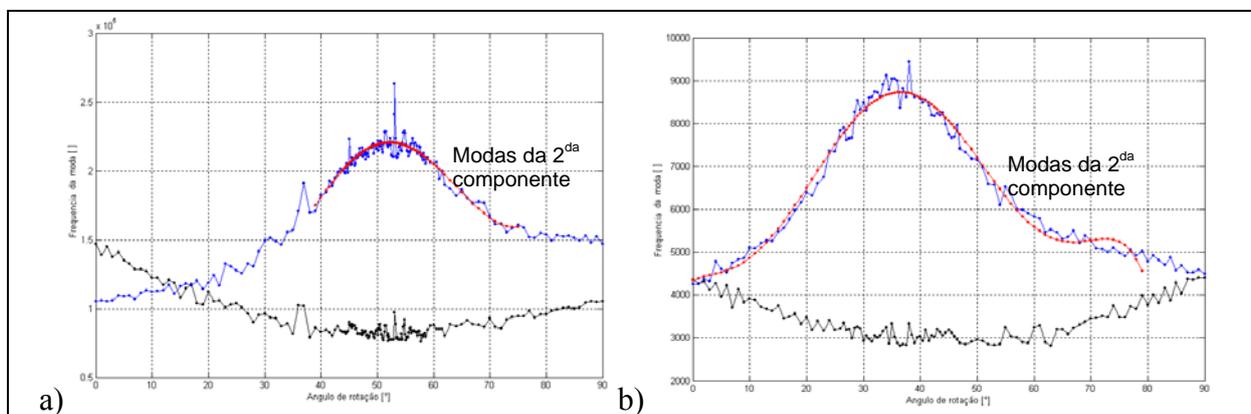


Fig. 4 – Curva das modas versus ângulo de rotação correspondente a Sinop-MT (2000/2001) (a) e Rodrigo de Freitas (2000/2004) (b).

As curvas da **Figura 4** apresentam consistência similar entre as variações da moda e o ângulo de rotação. Estas são mais amplas que as anteriores e o ângulo ótimo foi estimado através de uma curva de regressão que estima a tendência da curva. As curvas da **Figura 5** são menos consistentes, porém ainda pode ser observada a mesma tendência das anteriores.

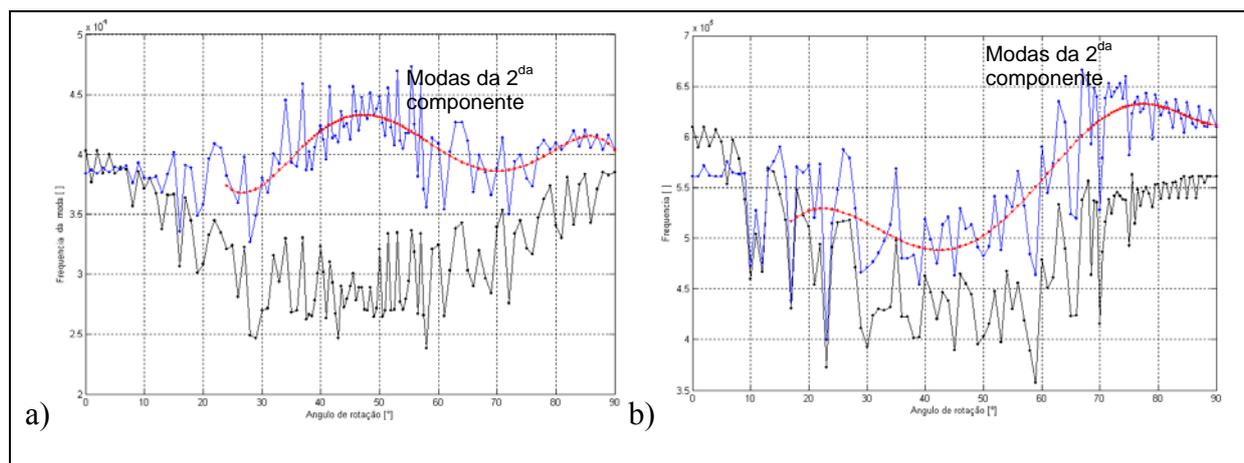


Fig. 5 – Curva da evolução das modas versus ângulo de rotação, correspondentes a Apuí-AM (a), Santo Antônio do Matupí-AM (b).

As curvas da **Figura 5**, na são tão regulares no comportamento das modas quanto as anteriores, isto porque foram calculadas usando imagens com alta proporção de florestas nas duas datas, como pode ser visto em Graça et al. (submetido). As curvas de Apuí (**Figura 5a**) e Santo Antonio do Matupí (**Figura 5b**) apresentam com muita variância, e a evolução da moda somente pode ser visualizada com a curva de regressão. Nestes casos não foi utilizado nenhum procedimento de extração das freqüências de não mudança em floresta. Este procedimento foi utilizado com as imagens de Sinop-MT, nas curvas moda versus ângulo de rotação, a evolução da moda é muito clara. Nesse último par de imagens foi utilizada uma técnica que não se baseia nas cenas imageadas, somente utiliza as propriedades das freqüências no espaço bidimensional (Maldonado, em preparação), isto possui efeito similar a recortar uma sub-cena com proporção equilibrada entre floresta e não floresta.

Em síntese, em todos os sítios investigados as curvas apresentaram, consistentemente, uma forma senoidal, com o valor da moda aumentando até um máximo em torno de valores angulares próximos a 45 graus. As diferenças entre o ângulo estimado e 45° representam, principalmente, as diferenças atmosféricas no momento do imageamento das cenas.

## 5. Considerações finais

Esta técnica produz uma imagem detecção em forma totalmente automática utilizando imagens sem correção atmosférica. Esta característica expedita pode ser aproveitada para gerar novas bandas com informação multitemporal, que pode ser utilizada para uma classificação temática mais detalhada. Esta informação pode, nas zonas de floresta tropical, contribuir na discriminação dos estágios sucessionais, e permitir discriminar novas classes somente diferenciáveis através de sua dinâmica de mudança. Na região de mata amazônica a capoeira pode ser uma das classes diferenciada com informação espectral e temporal. No caso das áreas do semi-árido, estas novas bandas podem facilitar a caracterização das faciações da cobertura vegetal com diferentes níveis de degradação, decorrentes do uso intensivo.

A técnica tem melhor desempenho na detecção ao utilizar um conjunto de imagens com espaço de tempos curtos de aquisição, o que tem como resultante curvas mais consistentes. Em cenas de ambientes com maior diversidade de temas e, por conseguinte com variações radiométricas distintas, a técnica é mais robusta.

Considerando que a Técnica RCEM não precisa da etapa de pré-processamento da correção atmosférica teve um desempenho muito bom. Em uma fase posterior esse tipo de técnica deverá abordar a automatização do cálculo dos limiares de fatiamento da imagem

deteção e conseqüentemente a definição do tipo de mudança registrada, degradação ou recuperação da paisagem.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Amazonas - FAPEAM e ao CNPq pela bolsa e auxílio pesquisa do Projeto DCR. CNPq/PPG-7 (CNPq: Proc.55712/2005-4), ao INPA (INPA: PPI 851 1-1005) pelo suporte financeiro, ao projeto Geoma, ao INPE pelo eficiente fornecimento de imagens CBERS-2.

## **Referências**

Graça, P.M.L. **Monitoramento e Caracterização de Áreas Submetidas à Exploração Florestal na Amazônia por Técnicas de Detecção de Mudanças**. (INPE-13644-TDI/1046). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos: INPE, 2004. 275p.

Graça, P.M.L.; Maldonado, F.D.; Fearnside, P.M. Detecção de desmatamento em novas áreas de expansão agropecuária no sul do Amazonas utilizando imagens CBERS-2. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. (submetido)

Maldonado, F.D.; Santos, J.R.; Carvalho, V.C. Land use dynamics in the semiarid 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. **Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal da região semi-árida**. 2004, 314p. (INPE-12679-TDI/1007). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.

Maldonado, F.D.; Santos, J.R. Metodología de detección de cambios utilizando técnicas de rotación radiométrica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 601-608. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/rep-/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.19.44>>. Acesso em: 11 set. 2006.

Maldonado, F.D.; Santos, J. R.; Graça, P.M.L. Change Detection Technique based on the Radiometric Rotation Controlled by No-Change Axis, applied on Semi-arid Landscape. **International Journal of Remote Sensing**. (in press)

Maldonado, F.D.; Graça, P.M.L.; Fearnside, P.M. Detecção de mudanças na cobertura vegetal da floresta amazônica utilizando CBERS na região de Apuí-AM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. (submetido)

Maldonado, F.D.; Santos, J.R. Minimização dos ruídos das imagens CBERS através da inversão do algoritmo de classificação isodata em região de floresta amazônica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. (submetido)

Maldonado, F.D. Extração das não mudanças em áreas de floresta no espaço bidimensional das frequências de imagens multitemporais. (trabalho em preparação).

Santos, J.R.; Maldonado, F.D.; Graça, P.M.L. Integração de imagens Landsat/ETM+ e CBERS-2/CCD para detecção de mudanças em área da Amazônia sob domínio da floresta de transição. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.57, p.15 - 21, 2005a.

Santos, J.R.; Maldonado, F.D.; Graça, P.M.L. New change detection technique using ASTER and CBERS-2 images to monitor Amazon tropical forest. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 25., 2005, Seoul. **Proceeding...** Seoul: IGARSS, 2005b. Artigos, CD-ROM.