This file has been cleaned of potential threats.

If you confirm that the file is coming from a trusted source, you can send the following SHA-256 hash value to your admin for the original file.

49d3a67e629e12a84f13be34784a836bcfb7926b0e98f0691f4500e1f43754ca

To view the reconstructed contents, please SCROLL DOWN to next page.

The text that follows is a REPRINT
O texto que segue é um REPRINT.

Please cite as:
Favor citar como:

Graça, P.M.L.A., F.D. Maldonado & P.M. Fearnside. 2007. Detecção de desmatamento em novas áreas de expansão agropecuária no sul do Amazonas utilizando imagens CBERS-2. pp 917-924 In: J.C.N. Epiphanio, L.S. Galvão & L.M.G. Fonseca (eds.) ***Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil 21-26 abril 2007*****. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-São Paulo, Brasil.**

Copyright Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-São Paulo

The original publication is available from:
A publicação original está disponível de:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-São Paulo

Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 917-924.

Detecção de desmatamento em novas áreas de expansão agropecuária no sul do Amazonas utilizando imagens CBERS-2.

Paulo Maurício L. de Alencastro Graça[1]
Francisco Darío Maldonado[1]
Philip M. Fearnside[1]

[1]Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA
Caixa Postal 515 – 12245-970 – Manaus – AM, Brasil
{pmlag, madonado, pmfearn}@inpa.gov.br

Abstract. The southern part of Amazonas State has had high rates of deforestation as a result of cattle ranching expansion. Monitoring these areas using remote-sensing techniques has been an important mechanism for government deforestation control. This study had the objective of detecting recent areas of agricultural expansion and spatial patterns associated with deforestation in Comunidade Realidade (BR 319) and in the area of Santo Antônio do Matupi, both in southern Amazonas. The Radiometric Rotation Controlled by No-Change Axis (RCNA) multispectral change detection technique was applied the pair of China-Brazil Earth Resources Satellite (CBERS) images corresponding to 2004 and 2006. RCNA showed itself to be an easily applies technique that presences satisfactory results for detecting new deforestation fronts in Amazonia.

Palavras-chaves: CBERS, deforestation, change detection, monitoring, desmatamento, detecção de mudança, monitoramento, Amazonas

1.Introdução

A ocupação humana na Amazônia tem sido acompanhada por taxas de desmatamento elevadas. Dados fornecidos pelo projeto PRODES[1] têm mostrado uma média histórica (1988 a 2005) de 18,4 mil km2 /ano de áreas de floresta convertidas predominantemente em atividades agropecuárias. A perda acelerada de grandes áreas de floresta leva a conseqüências ambientais drásticas, tais como, perda de biodiversidade, alterações no ciclo hidrológico e aumento de emissão de gases de efeito estufa (Fearnside, 2003)

Atualmente, as áreas de maior concentração de desmatamento na Amazônia brasileira se localizam ao longo de um "arco" que se estende entre o sudeste do Maranhão, o norte do Tocantins, sul do Pará, norte de Mato Grosso, Rondônia, sul do Amazonas e o sudeste do Acre denominado de "arco de desmatamento" ou "arco do adensamento populacional" (Becker, 2005). O arco de desmatamento se caracteriza por apresentar uma grande concentração de centros urbanos, estradas, e intensa atividade econômica, representando uma ocupação mais consolidada do que em outras regiões da Amazônia.

Com a busca de novas fronteiras de expansão agropecuária, novas áreas de floresta têm sido derrubadas no sul do Amazonas. Os municípios de Lábrea, Humaitá, Apuí e o distrito de Santo Antônio do Matupi (km 180) têm sido apontados como os principais focos de desmatamento no estado do Amazonas (SDS, 2005). Eixos rodoviários, tais como a BR 230 e BR 319, têm importante papel no fluxo migratório na região amazônica, permitindo, por exemplo, a busca novas terras por pequenos agricultores que venderam suas terras para grandes agricultores capitalizados.

A detecção da expansão da atividade agrícola e pecuária por meio de sensores orbitais tem sido fundamental para o processo de controle e fiscalização do desmatamento, assim como na atividade de planejamento territorial da Amazônia. Neste

[1] Dados obtidos da homepage http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2005.htm

contexto, imagens do sensor CBER-2 podem ser cruciais para assegurar a continuidade do monitoramento do desmatamento por satélite na Amazônia, que tem por base dados do sensor Landsat 5 TM, em uso por mais de 20 anos, e consequentemente, devido ao seu estado de degradação compromete a qualidade radiométrica das imagens geradas.

Este trabalho teve por objetivo detectar áreas recentes de expansão agropecuária e padrões espaciais associados ao desmatamento na localidade da Comunidade Realidade, região sob influência da BR 319 próximo de Humaitá e no distrito de Santo Antônio do Matupi, ambos situados no sul do Estado do Amazonas. Para isto, foi utilizada a técnica de detecção de mudanças RCEN (Rotação Controlada por Eixo de Não Mudança) multiespectral a partir do par de imagens CBERS correspondentes aos anos 2004 e 2006.

2.Material e Métodos

Localização e descrição das áreas de estudo

As áreas de estudo em questão se localizam no Distrito de Santo Antônio do Matupi (km 180 da BR 230) região sul do Município de Manicoré, e na Comunidade Realidade às margens da BR 319, a 60km do entroncamento com a BR230, entre os municípios de Humaitá e Canutama.

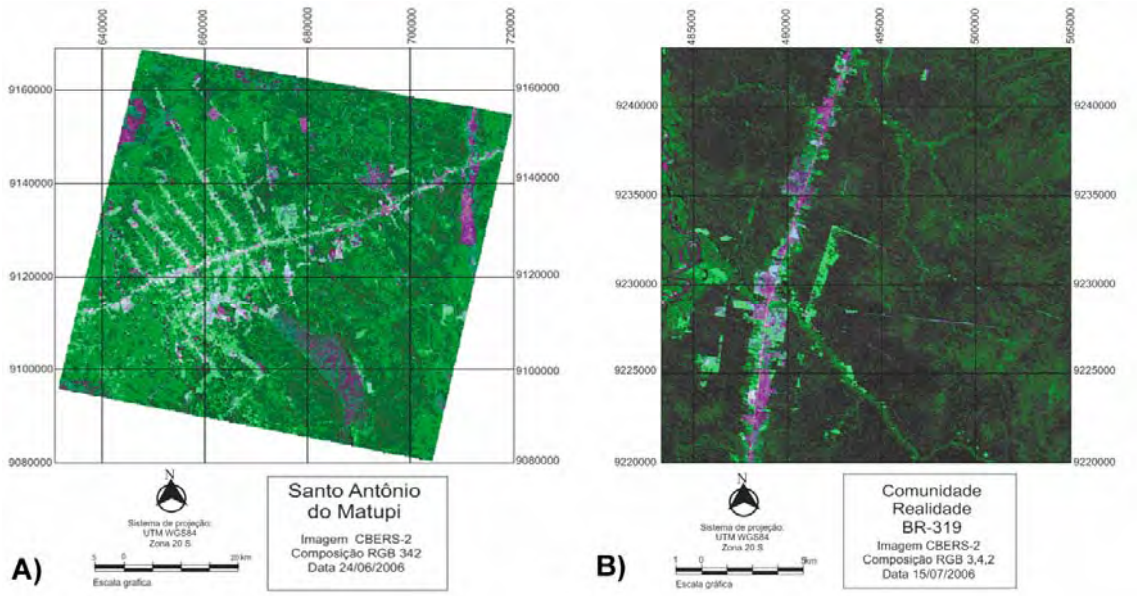

Fig. 1 – Imagem CBERS-2 composição colorida RGB342 de Santo Antônio do Matupi e Realidade. Projeção UTM/WGS84 zona 20, ano 2006.

A região do Distrito de Santo Antônio do Matupi (**Figura 1A**) é caracterizada por uma vegetação dominante de floresta ombrófila densa e algumas manchas extensas de forma alongada de campinas amazônicas. O relevo é suavemente ondulado a plano e o solo predominante é o latossolo vermelho amarelo. A pecuária extensiva é a atividade econômica predominante na região, seguida da atividade madeireira. O distrito de Santo Antônio do Matupi foi criado para dar sustentação ao projeto de assentamento do INCRA (PA Matupi, criado em 1992). Nesta região a grilagem tem sido apontada como prática comum na apropriação de terras públicas (Gomes, 2006). Por sua vez, a região da Comunidade Realidade (**Figura 1B**) é caracterizada por uma vegetação de floresta ombrófila densa e floresta ombrófila aberta com palmeira, sendo que a primeira é o tipo cobertura florestal predominante. O relevo é plano e com predominância de argissolo vermelho amarelo distrófico. Esta região tem como atividade econômica principal a

pecuária e a agricultura de subsistência, sendo que a atividade extrativista da coleta de castanha do Brasil contribui como uma importante fonte renda suplementar.

Materiais

Foram utilizadas as imagens CBERS-2 órbita/ponto 173/109 das datas 26/06/2004 e 24/06/2006, contendo a área da sede do Distrito de Santo Antonio do Matupi-AM e imagens CBERS-2 órbita/ponto175/108 das datas 16/07/2004 e 15/07/2006, contendo a área da Comunidade Realidade- AM na BR-319. As bandas espectrais utilizadas na aplicação da técnica "RCEN multiespectral" corresponderam ao verde (Banda 2), vermelho (Banda 3) e infravermelho (Banda 4). No entanto, a metodologia da RCEN multiespectral para a região da Comunidade Realidade, BR-319, foi realizada apenas com duas bandas, Banda 3 e 4, em razão da falta da Banda 2 no Banco de Imagens da DGI/INPE.

Trabalho de campo

Duas excursões ao campo foram realizadas em maio de 2005 e agosto de 2006, nas quais se entrevistou os colonos e obtiveram-se pontos de controle georreferenciados do uso/cobertura da terra. Um sobrevôo de reconhecimento ao longo da BR 319 (Projeto Geoma) também foi realizado para identificar os tipos de ecossistemas predominantes na região e identificar padrões de ocupação nas imagens de satélite.

Método

As etapas realizadas no processo metodológico da RCEN multiespectral podem ser observadas na **Figura 2**. Neste procedimento metodológico foi aplicada a técnica de detecção de mudanças RCEN – Rotação Controlada por Eixo de Não Mudança (Maldonado, 2004; Maldonado e Santos, 2005; Maldonado et al. 2006) em imagens co-registradas selecionadas.

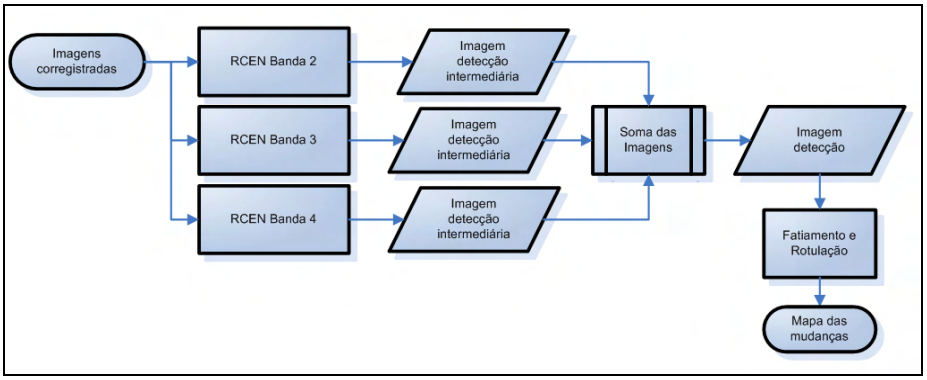

Fig. 2 – Fluxograma metodológico da RCEN aplicada a três bandas.

Esta técnica se baseia numa regressão linear dos valores radiométricos dos pontos de não-mudança, no espaço bi-temporal das imagens em duas datas distintas. Estes pontos são obtidos localizando nas imagens amostras georreferenciadas, rotuladas durante o trabalho de campo. Esta regressão utiliza os valores da imagem em duas bandas na faixa espectral do visível. A primeira banda corresponde à data inicial do período de detecção e a segunda banda corresponde à data final. A equação da regressão dos pontos de não-mudança é derivada a partir do dispersograma gerado pelo espaço dos atributos das bandas selecionadas (**Figura 3**). O parâmetro angular (θ) se calcula como a tangente do arco do coeficiente "m" de inclinação da reta de regressão. Finalmente, a técnica de detecção utiliza o angulo (θ) para uma transformação de

rotação (**Equação 1**). Esta equação produz a rotação dos eixos ortogonais do espaço dos valores radiométricos das imagens (na mesma banda espectral em duas datas).

$$I_{intermediária} = -sin(\theta) \times I_{Data1} + cos(\theta) \times I_{Data2} \quad (1)$$

Este algoritmo é aplicado duas vezes, uma para cada banda espectral, com distintos ângulos obtidos pela técnica de regressão dos valores radiométricos dos pontos de não mudança. Finalmente, as imagens detecção intermediárias são somadas, neste caso, para produzir a imagem detecção final (**Equação 2**).

$$I_{Detecção} = I_{Banda.2} + I_{Banda.3} - I_{Banda.4} \quad (2)$$

Nas áreas de cobertura florestal a resposta da Banda 3 está relacionada de forma inversa com a Banda 4 e com a variação da cobertura vegetal. Por esta razão empírica, na soma, o termo Banda 4 possui o sinal trocado. Nesta técnica RCEN multiespectral a componente Banda 4 incorpora informação diferente da Banda 3. Na banda espectral do vermelho a informação sobre a vegetação está relacionada com as propriedades de absorção da radiação para o processo fotossintético, e na faixa espectral do infravermelho próximo a resposta espectral está relacionada com a densidade e estrutura das folhas. Esta conjunção da informação foi necessária para a detecção, se bem que as bandas 3 e 4 apresentam confusão em áreas de campinas quando são desmatadas sob solos claros. No entanto, neste caso em particular, as áreas desmatadas nas campinas ocupam uma superfície pequena e podem ser eliminadas aplicando-se uma máscara. Nas áreas de campinas somente a banda 3 apresenta consistência nos dados, registrando desde valores baixos para alta cobertura de vegetação até valores altos em áreas para alta proporção de solo exposto. Em áreas de campinas a banda 4 também apresenta valores altos na presença de solos expostos onde predominam solos claros, tais como ocorrência de areias quartzosas de cor branca, comum neste tipo de ecossistema, o que dificulta a detecção de mudanças com apenas uma banda.

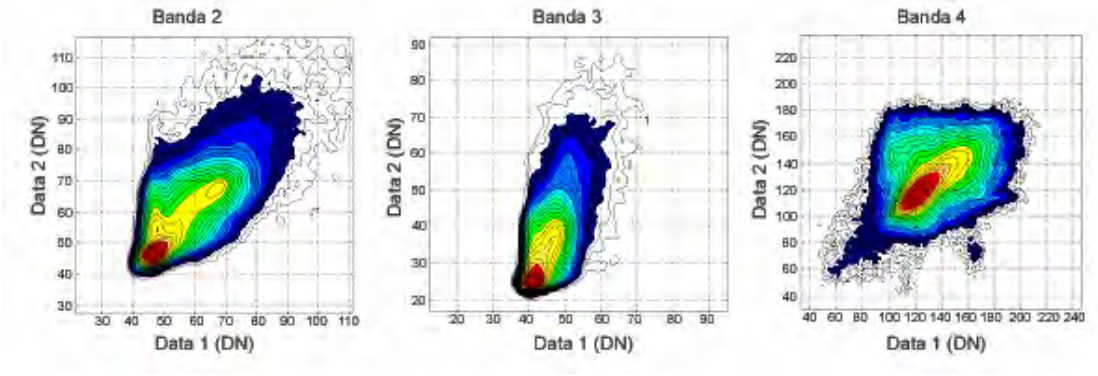

Fig. 3 – Dispersograma das bandas 2, 3 e 4 de Sto. Antônio do Matupi.

A imagem “detecção de mudanças” foi fatiada empiricamente baseada nas observações de campo seguindo as restrições para o posicionamento dos limiares exigidos pela técnica RCEN (Maldonado, 2004). Após o fatiamento, a imagem temática resultante foi rotulada para obter o “mapa das mudanças”. Para efeitos de rotulação, a floresta se apresenta como um alvo complexo, composta por várias classes espectrais que, agrupadas, formam a classe temática “floresta”. No caso da detecção de mudanças, a definição de mudança pode ser muito simples, quando definidas as classes com precisão. As classes florestais transformadas em pastagens são espectralmente diferenciáveis, na faixa do visível. A intensidade das mudanças aqui consideradas “degradação” produz a transformação de áreas de floresta a classes não florestais. Tomando em conta que, o curto espaço de tempo entre imagens não permite a recuperação arbórea nas cenas imageadas, as legendas “recuperação” estão referidas ao aumento da vegetação em áreas agropecuárias, como a invasão das pastagens por

espécies arbustivas ou babaçu. A rotulação “recuperação” também ocorre em áreas que foram desflorestadas e na última data estão ocupadas por capoeiras. Para o controle da acurácia da técnica foram utilizados dados do trabalho de campo de agosto de 2006, correspondente a caracterizações georreferenciadas de uso e cobertura da terra e fotografias terrestres.

3.Resultados e Discussão

A RCEN multiespectral na área de Santo Antônio do Matupi aplicou a rotação do espaço bi-temporal da Banda 2 com ângulo de rotação igual a 45° 31´, a Banda 3 com ângulo de rotação igual a 63° 41 e a Banda 4 com ângulo de rotação igual a 40° 47´. A RCEN multiespectral na área da Comunidade Realidade, BR-319, realizou a transformação de rotação do espaço bi-temporal da Banda 3 com ângulo de rotação igual a 50° 5´ e a Banda 4 com ângulo de rotação = 46° 43´. Na **Figura 4** se observam os dispersogramas da imagem de Realidade-BR 319, no dispersograma da banda 3 se observa o efeito das nuvens na segunda data, aumentando a dispersão na vertical próxima ao eixo da segunda data. No dispersograma da banda 4 o efeito é das sombras de nuvens que aumenta a dispersão na vertical para abaixo.

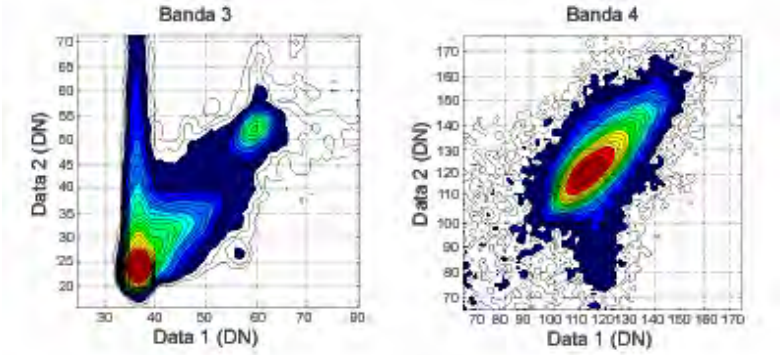

Fig. 4 – Dispersogramas das bandas 3 e 4 de Realidade, BR-319.

Caracterização das mudanças

As imagens detecção de mudanças geradas pela RCEN multiespectral (**Figura 5**) revelam a intensidade da mudança ocorrida na cobertura/uso da terra. Tons médios de cinza representam mudanças de intensidade baixa, denominadas de não mudança, ou seja, áreas cuja cobertura original não se modificou no intervalo de tempo considerado.

No caso do distrito de Sto. Antônio do Matupi a detecção de não mudança correspondeu, na sua maioria, à floresta e às campinas, sendo que em Realidade, esta correspondeu a cobertura predominante de floresta. Áreas com tonalidade escura e clara nas imagens correspondem às mudanças de maior intensidade, e representam áreas que tiveram sua cobertura original de floresta alterada, por exemplo, cobertura de floresta modificada para pastagens ou capoeiras (regeneração secundária). Alterações de intensidade média corresponderam a alterações dentro de classes outras, excluindo-se a floresta, por exemplo, uma cobertura de pasto para capoeira.

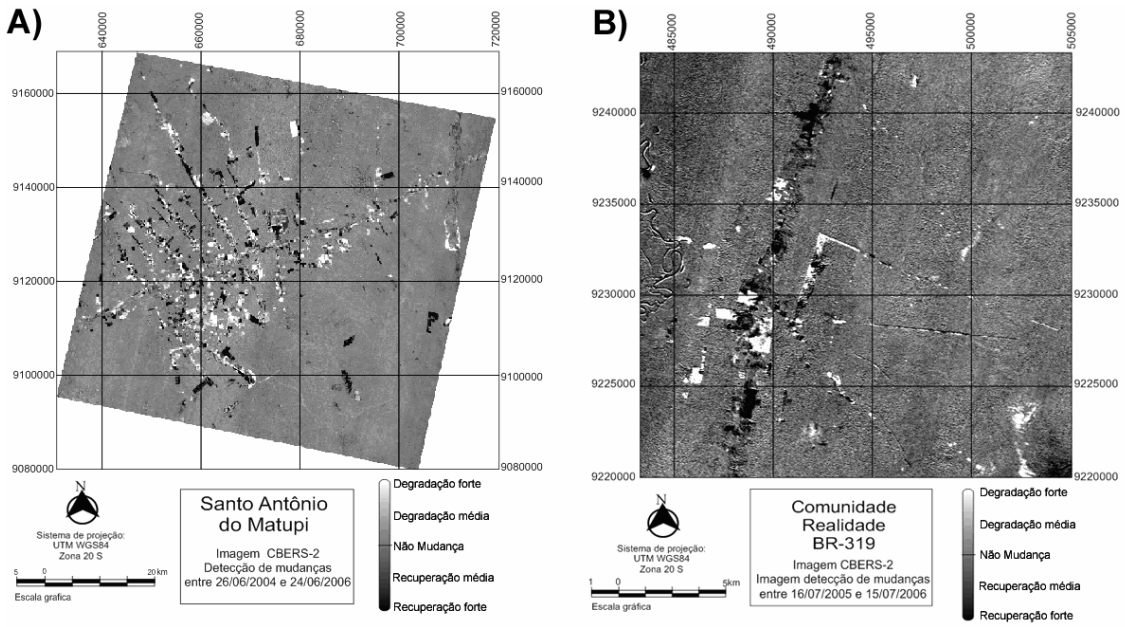

Fig. 5 – Imagem detecção de mudanças da RCEN multiespectral das regiões de Sto. Antonio do Matupi (A) e Realidade (B).

As mudanças observadas na imagem detecção estão associadas às mudanças no uso/cobertura do solo ocorridas no intervalo de tempo analisado (**Figura 5**). Áreas classificadas como degradação forte foram observadas em locais cujo estado de mudança ocorreu do estágio inicial de floresta para pastagem recém implantada. A classe de degradação média correspondeu à transição da cobertura inicial de floresta para áreas de pastagem com estádio inicial de sucessão vegetal, isto é, pastagens com presença de ervas invasoras. A classe de não mudança correspondeu às áreas de cobertura original (floresta e campinas) que não sofreram alterações no seu estado no intervalo de tempo estudado. Áreas que foram classificadas como recuperação forte representaram a transição de pastagens ou solo exposto na data inicial para capoeiras (regeneração secundária) ou pastagens com processo mais avançado de sucessão vegetal (pasto sujo) na data final. Por último, a regeneração média correspondeu à mudança de cobertura de floresta na data inicial para capoeiras ou pastos sujos na data final.

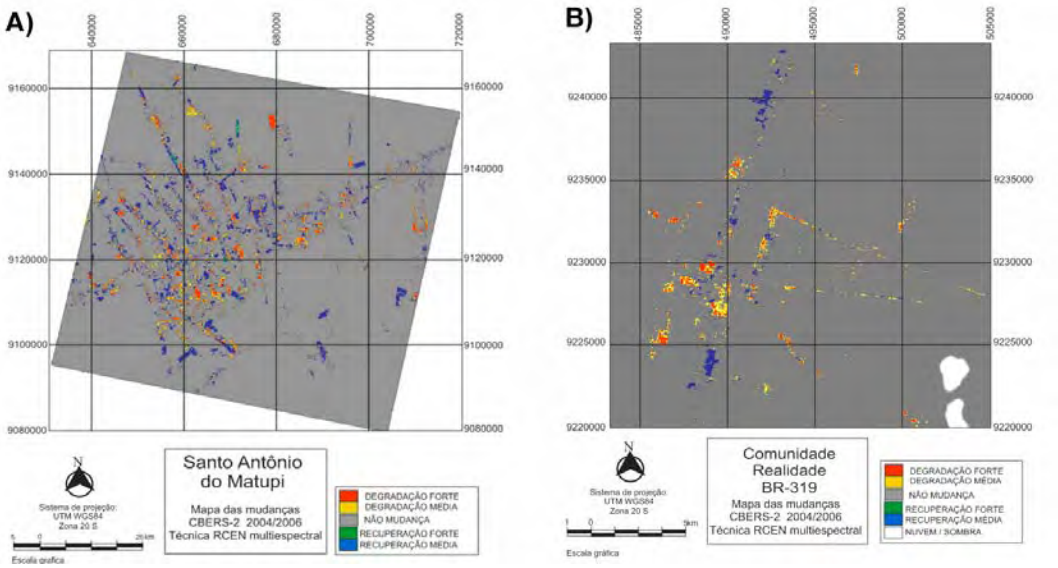

Fig. 6 – Mapa das mudanças 2004/2006 em Santo Antonio do Matupi (A) e na Comunidade Realidade (B).

A exatidão global do mapeamento foi de 0,75 e 0,71, respectivamente, para a região de Sto. Antônio do Matupi e Realidade. Os desempenhos obtidos pela técnica RCEN multiespectral nos mapeamentos de mudança podem ser considerados bons, uma vez que as imagens utilizadas apresentavam uma baixa qualidade radiométrica.

Padrões espaciais de desmatamento

O Distrito de Santo Antônio do Matupi apresentou um padrão de desmatamento em forma de "espinha de peixe", típico de áreas de assentamentos dirigidos pelo INCRA. Estas áreas desmatadas estão localizadas ao longo da estrada principal e nas estradas secundárias alinhadas ortogonalmente ao eixo da estrada principal (BR-230) (**Figura 6A**). Os desmatamentos estão concentrados em lotes pequenos (100 ha) e mais dispersos em locais isolados com presença de propriedades maiores (acima de 1000 ha) de agricultores capitalizados. Até o ano de 2006 foram desmatados 76.466 ha de florestas primárias na área estudada, com um total de 22 570 ha desmatados entre os anos de 2004 e 2006. A taxa média bruta de desmatamento foi de aproximadamente 10.000 ha por ano, evidenciando uma expansão acelerada da ocupação humana nesta região, atrelada principalmente à atividade pecuária.

Na região da comunidade Realidade este estudo identificou uma nova área em fase inicial de ocupação. Estradas recém-criadas, no sentido paralelo ao eixo da rodovia 319, conectadas a algumas estradas vicinais revelam o padrão uma nova frente de ocupação nesta localidade (**Figura 6B**). Estas estradas paralelas estão a uma distância de cerca de 2 km da margem da rodovia, formando uma faixa de floresta e lotes antigos desmatados. Esta configuração espacial está ligada ao fato de que a área no fundo dos lotes é reivindicada pelos antigos moradores assentados às margens da rodovia BR 319 pelo INCRA, conhecida como "área fundiária". De acordo com Fearnside e Graça (2006), esses moradores têm iniciado desmate em várias partes da área fundiária, pois acreditam que propriedades às margens da rodovia dão ao proprietário o direito de uma área virtualmente ilimitada de terras da União localizadas no fundo dos lotes. Na região de Realidade até o ano de 2006 foram desmatados 3.170 ha de floresta, sendo que entre 2006 e 2004 apenas uma área de 100 ha de floresta foi desmatada, obtendo-se um a taxa média bruta de desmatamento de 50 ha/ano. Esta taxa de desmatamento extremamente reduzida está associada, em grande parte, às condições precárias de tráfego da BR-319, que está intransitável desde 1988. Este fato tem restringido o fluxo de migrantes de outras áreas da Amazônia para esta região. Porém, esta condição já está se alterando com o anúncio da reconstrução da BR 319 pelo atual governo. Outro indício desta fase inicial de expansão da atividade humana nesta região, além do desmatamento nas "áreas fundiárias", é a presença de madeireiras ativas próximas à estrada. Porém a detecção do desmatamento "oculto" originado pelo corte seletivo dessas áreas ainda não puderam ser detectados com as imagens CBERS.

Conclusões

A técnica de detecção de mudanças RCEN multiespectral aplicada a imagens CBERS-2 mostrou-se eficiente na detecção de áreas desmatadas na fronteira agrícola do sul do Amazonas. Padrões espaciais de ocupação recente puderam ser observados na região da vila Realidade, caracterizado por áreas desmatadas em seqüência linear, acompanhando estradas recém abertas nos fundos de antigos lotes do assentamento do INCRA ao longo da rodovia BR 319.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq (Proc.55712/2005-4, 306031/2004-3, 420199/2005-5) e ao INPA (INPA: PPI 851 1-1005) pelo suporte financeiro, ao projeto Geoma pelo sobrevôo, ao INPE pelas imagens cedidas e a FAPEAM e ao CNPq pela bolsa e auxílio pesquisa do programa DCR.

Referências

Becker, B. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**, v.19, n.53, p.71-86, 2005.

Fearnside, P.M. A **Floresta Amazônica nas Mudanças Globais**. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA. 134 pp. 2003.

Fearnside, P.M.; Graça, P.M.L.A. BR-319: Brazil's Manaus-Porto Velho Highway and the potential impact of linking the arc of deforestation to central Amazonia. **Environmental Management**, v.38, n.5, p.705-716. 2006.

Gomes, K. Grilagem no sul do Amazonas. **Amazonas em Tempo**. Manaus, 29 de janeiro de 2006. p.A-4.

Maldonado, F.D. **Desenvolvimento e avaliação de uma metodología de detecção de mudanças na cobertura vegetal da região semi-árida**. 2004, 314p. (INPE-7243-TDI/929). 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: 07 ago. 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.** 2006.(no prelo)

SDS- Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Plano Estratégico para promoção do desenvolvimento sustentável e o combate ao desmatamento e grilagem de terras na área de influência da BR-319.** Manaus: SDS, 2005. 28p. (Relatório versão 2)