

**EMPREGO DA METODOLOGIA DE DETECÇÃO DE
MUDANÇAS A PARTIR DE MISTURA ESPECTRAL NO
PROJETO DE ASSENTAMENTO AMERICANA, MUNICÍPIO DE
GRÃO MOGOL-MG**

**Caroline Machado Vasconcelos Turazi¹, Ana Paula Ferreira Carvalho¹
& Osmar Abílio de Carvalho Júnior²**

¹Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA
caroline.turazi@incra.gov.br

²Universidade de Brasília – UnB / Departamento de Geografia
osmarjr@unb.br

Recebido 01 de abril de 2009; revisado 02 de julho; aceito 07 de agosto.

RESUMO - No presente trabalho é utilizada a técnica de detecção de mudança a partir de mistura espectral com o objetivo de avaliar a evolução da cobertura vegetal de um projeto de assentamento (PA) em três momentos: antes da criação do PA, após sua implantação e na situação atual. A área de estudo foi o PA Americana localizado no município de Grão Mogol no Estado de Minas Gerais. As imagens utilizadas são do sensor TM-Landsat referentes às datas de 1997, 2001 e 2009. A identificação de membros finais foi realizada pelas seguintes etapas: *Minimum Noise Fraction*, *Pixel Purity Index* e *N-Dimensional Visualizer*. Os membros finais identificados foram: solo, vegetação fotossinteticamente ativa (VFA) e vegetação não fotossinteticamente ativa (VNFA). As imagens-fração geradas a partir da Análise Linear de Mistura apresentam poucas alterações, para a área de estudo, ao longo dos doze anos (1997-2009). A imagem de fração solo teve um pequeno aumento na área do assentamento a partir de 2001 e as alterações mais pronunciadas para VNFA ocorreram nas áreas externas ao assentamento nos anos de 1997 e 2001.

Palavras-chave: mistura espectral, análise multitemporal, assentamento rural.

ABSTRACT – In this paper we used the technique to change detecting by spectral mixing with the objective to assess the evolution of a rural settlement project: before the creation, once installed and in current situation. The study area was the American Project located in the municipality of Grão Mogol, in the north of the state of Minas Gerais. TM images used in this study were acquired at different dates 1997, 2001 and 2009. The identification of endmembers was performed by following steps: Minimum Noise Fraction, Pixel Purity Index and N-Dimensional Visualizer. The endmembers identified were: soil, vegetation photosynthetic active (VFA) and non-photosynthetically active vegetation (NPV). Fraction images generated from the Linear Mixture Analysis show small changes over the twelve years (1997-2009). The soil fraction image had a small increase in the area since 2001 and the changes more pronounced for VNFA occurred in areas outside the settlement in 1997 and 2001.

Keywords: spectral mixture, multitemporal analysis, rural settlement.

INTRODUÇÃO

O Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA vem utilizando as informações provenientes das imagens de satélite desde 1986, para subsidiar as fases de obtenção de terras e de implantação e desenvolvimento dos projetos de assentamento. Desta forma, o sensoriamento remoto está presente em diversas etapas do trabalho do INCRA como: análise temporal de uso da terra em imóveis sob fiscalização cadastral (INCRA, 1993; 1995; 1997a, b; Rocha et al., 1998), monitoramento de áreas com imissão de posse pelo INCRA (INCRA, 1989), mapeamento das áreas de preservação permanente, a cobertura nativa e as áreas passíveis de destinação para reserva legal (Carvalho

Júnior et al., 1997; INCRA, 1998a); e em estudos para subsidiar o parcelamento dos lotes nos projetos de assentamento (INCRA, 1997a, b).

Na condição de Órgão executor da Reforma Agrária, atualmente o INCRA adota as ferramentas de geoprocessamento como estratégia de planejamento para a eleição e delimitação de áreas prioritárias de atuação; qualificação dos Laudos Agrônômicos de Fiscalização (levantamento preliminar de dados e informações sobre a potencialidade agropecuária do imóvel rural que contém as informações necessárias ao requerimento da licença prévia); e dos Laudos de Vistoria e Avaliação (laudo resultante da avaliação que justifica o valor encontrado do imóvel e das benfeitorias indenizáveis) (INCRA, 2006). O sensoriamento remoto é também utilizado para dirimir dúvidas quanto à cobertura da terra utilizando diferentes datas e para verificação da qualidade e das fragilidades dos recursos naturais, não apenas nas áreas passíveis de desapropriação, mas também nas áreas onde já foram implantados projetos de assentamento, para a recuperação ambiental.

O objetivo deste trabalho é testar a metodologia de detecção de mudança a partir de análise de mistura espectral no Projeto de Assentamento (PA) Americana. O presente estudo considerou as seguintes datas relevantes ao projeto: antes da desapropriação do imóvel rural (1997), após a implantação do assentamento (2001) e na época atual (2009).

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

No Estado de Minas Gerais, até setembro de 2009, foram assentadas mais de 14.000 famílias e criados cerca de 300 assentamentos rurais numa área de

791.705 ha. Os 89 municípios que compõem a Mesorregião do Norte de Minas Gerais são agrupados em sete microrregiões (**Tabela 1**) e contabilizam cerca de 425 mil hectares destinados à reforma agrária. No entanto, esse processo não é uniforme em toda a Mesorregião. As Microrregiões de Janaúba, Januária e Pirapora destacam-se com o maior número de famílias assentadas e área ocupada por projetos de assentamento. Em contraposição, as microrregiões de Bocaiúva e Salinas possuem poucos projetos de assentamento, apesar da inexistência de um fator limitante para aquisição de áreas para assentamentos rurais. A Microrregião de Grão Mogol, apresenta características intermediárias em relação à densidade de assentamentos, contando com 11 projetos de assentamento com 391 famílias assentadas.

Esta configuração da paisagem poderá ser alterada a partir da nova atualização dos índices de produtividade, possibilitando a aquisição de mais áreas para o assentamento de famílias e a liberação de recursos para a atividade econômica rural. Cabe ressaltar que o Programa de Reforma Agrária deve ser direcionado às áreas já antropizadas, de acordo com a Portaria do Ministério Extraordinário de Política Fundiária MEPF nº 88 e a Medida Provisória MP nº 2.166/2001. Desta forma, a obtenção de terras para fins de reforma agrária já inclui as áreas desmatadas e/ou degradadas, configurando um passivo ambiental nos assentamentos de reforma agrária. Essas áreas são levantadas por ocasião do Laudo de Viabilidade Agrônômica e descontadas do valor do imóvel na desapropriação, cabendo ao INCRA sua recuperação. Desta forma, mesmo as áreas desmatadas e/ou degradadas anteriormente à criação do assentamento são indevidamente atribuídas à reforma agrária. Nesse sentido, é importante

Tabela 1 – Microrregiões do Norte de Minas Gerais.

Microrregião	Área (km ²)	População (habitantes 2007)	IDH Médio	Projetos de Assentamento (PA)	Área PA (ha)	Fam. Assent.	Capacid. fam.
Bocaiúva	7.896	66.040	0,736	4	40.405,02	940	982
Grão Mogol	9.075	309.214	0,653	11	45.034,85	391	429
Janaúba	15.155	243.080	0,633	20	85.548,34	1.502	3.390
Januária	33.169	269.999	0,655	29	106.393,76	1.208	1.825
Montes Claros	22.248	573.656	0,73	21	36.423,08	553	652
Pirapora	23.071	159.963	0,711	19	110.302,66	1.369	2.005
Salinas	17.837	208.739	0,646	1	913,8718	30	33
TOTAL	1.284.551	1.830.691	0,68	105	425.022,58	5.993	9.316

Fonte: PNUD (2009)/ IBGE (2009)/ INCRA (2009).

buscar uma metodologia para quantificar o passivo ambiental gerado anteriormente à implantação dos assentamentos de reforma agrária para que essa informação conste nas estimativas de desmatamento oficiais bem como para ser utilizada como subsídio em questões envolvendo licenciamento ambiental.

A área de estudo localiza-se na porção norte do Estado de Minas Gerais, município de Grão Mogol (**Figura 1**). O local foi vistoriado pelo Incra em 1998 visando a verificação do cumprimento da função social, preconizada no Art. 9º da Lei nº 8.629/93. Em 1999 o imóvel foi desapropriado e o PA Americana foi criado em 2001, a 72 km da sede do município. Nesse PA, que é o segundo do Estado em área (18.840 ha e perímetro de 163.653m), foram instaladas 34 famílias em 2002 e, posteriormente, ampliou-se o número de famílias beneficiárias para 66. Ainda assim, a área tem capacidade para o assentamento de 76 famílias, na modalidade de assentamento tradicional, conforme a Portaria do Incra nº 48/2001.

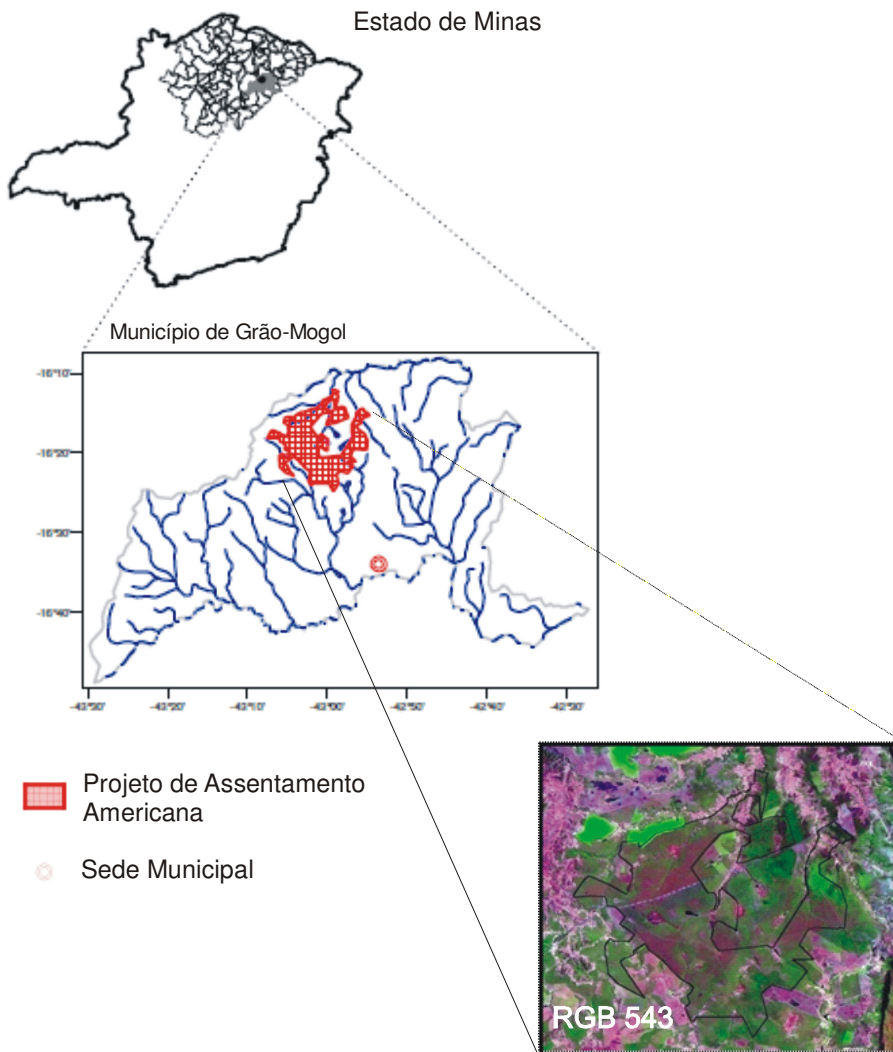


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.

O PA Americana foi selecionado para a elaboração deste trabalho devido à representatividade da área ocupada no município e pela disponibilidade dos dados, incluindo informações de campo feitas por técnicos e peritos do Incra. Ao imóvel foram averbados cerca de 3.471 ha de Reserva Legal (INCRA, 1998b), 18% da área total, um valor ainda inferior ao necessário para atender o requisito legal de 20% para esta região, instituído pela Lei nº 4.771/65. A condição de ausência de nuvens no mês de setembro foi também um fator importante para a definição do período de análise. O clima da região estudada, segundo a classificação de Köppen, é o Cwa – Clima Temperado Chuvoso (mesotérmico), com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média máxima na área do PA é de 29°C, média mínima de 15°C e média anual de 22°C. A região é caracterizada por alta luminosidade durante todo o ano e o céu com pouca presença de nuvens. A precipitação na área do PA segue o padrão característico do norte de Minas, isto é, a média de precipitação anual não supera os 900 mm ao longo de todo o ano.

A vegetação nativa do PA é composta predominantemente pelos Cerrados subcaducifólios e suas formações afins. Mata Seca e formações transicionais para a Caatinga são também encontradas em algumas bordas de terrenos um pouco mais férteis. A área é considerada como uma região de tensão ecológica, ecótono Cerrado/Mata Seca. Este assentamento está inserido em uma área de importância biológica especial para a conservação da Biodiversidade de Minas Gerais (Costa et al., 1998). É comum a presença de espécies como Pequiizeiros, Araticum, Jatobá, Imbiriçu, outras espécies comuns de Cerrado e capoeira densa. Antes da desapropriação, a empresa proprietária da área explorou o cerrado

nativo para a produção de carvão, não respeitando o Plano de Manejo Florestal, uma vez que preservaram apenas de 20 a 30% das árvores (INCRA, 1998a).

O relevo na área é composto de superfícies aplainadas constituídas de recobrimento de material argilo-arenoso, provavelmente do Terciário, sobre rochas predominantemente quartzíticas do Pré-cambriano (INCRA, 2001). A área é circundada por uma região serrana – a Serra da Bocaina – de relevo ondulado, forte ondulado e montanhoso, correspondente a Serra do Espinhaço. As elevações rochosas são constituídas principalmente de quartzitos com ocorrência de filitos e xistos. As classes de relevo predominantes são: plano (0-3% de declividade), em 35% da área e suave ondulado (3-8% de declividade) nos 65% restantes.

Em toda a extensão do PA Americana ocorrem, predominantemente, duas classes de solo, o Latossolo Vermelho Amarelo distrófico textura média fase Cerrado relevo suave a suave ondulado e Latossolo Vermelho Amarelo distrófico textura média fase Caatinga relevo suave a suave ondulado que se posicionam de acordo com a topografia e a rede de drenagem (UFMG & CAANM, 2003). As principais classes de capacidade de uso do solo estimadas em percentuais são: 88% Classe II, e, s, c; 11% Classe II, a, c e 1% Classe VIII, e, c (UFMG & CAANM, 2002).

De acordo com o Relatório de Viabilidade Ambiental (INCRA, 2001), os principais elementos hidrográficos são: rio Imbiricu, córregos Braço Seco, Três Barras, Vacaria Marruaz e outros, além de lagoas, inclusive com grandes extensões de lâmina d'água. Apenas dois desses córregos são perenes e, por

vezes, todas as lagoas secam, com exceção da represa do córrego Braço Seco, limitando drasticamente o suprimento de água no período seco.

MATERIAL

Na realização do presente trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Perímetro digital do PA Americana;
- Imagens Landsat-TM, órbita-ponto 218/071, de 14/09/1997, 09/09/2001 e 15/09/2009, obtidas no acervo digital do INPE <<http://www.inpe.br>>;
- Imagem Landsat-TM, órbita-ponto 218/071 (ortorretificada), de 22/05/1990, obtida no site da Global Land Cover Facility (GLCF) <<http://www.glcg.umiacs.umd.edu/landsat/>>, com Projeção UTM, Datum WGS-84, Zona 23 Sul e Pixel de 28,5 m;
- Softwares: Environment for Visualizing Images (ENVI®, 1997) Versão 4.5, ArcGIS 9 Versão 9.3 e o programa ABÍLIO;
- Material auxiliar: Laudo de Vistoria e Avaliação da Área, Relatório de Viabilidade Ambiental, Plano de Desenvolvimento Assentamento do Assentamento e Projeto Básico para obtenção do Licenciamento Ambiental que auxiliaram na caracterização da área de estudo.

MÉTODOS

A mistura espectral mostra-se adequada para a detecção de mudança (Adams et al., 1995; Adams and Gillespie, 2006) e tem sido utilizada para detectar

mudanças na cobertura e uso da terra (Roberts et al., 1998, Ustin et al., 1998; Radeloff et al., 1999; Rogan et al., 2002). No presente trabalho a metodologia adotada pode ser subdividida nas seguintes etapas: (a) pré-processamento; (b) análise de mistura espectral; e (c) análise multitemporal. A **Figura 2** apresenta um fluxograma contendo todos os procedimentos realizados.

PRÉ-PROCESSAMENTO

Para a realização da análise multitemporal é fundamental que as imagens estejam co-registradas de forma acurada para que as diferentes datas possam ser comparadas (Loebmann et al., 2005). No presente trabalho a correção geométrica de todas as imagens foi feita no programa ENVI, utilizando como referência a imagem ortorretificada do Global Land Cover Facility (GLCF). Desta forma, na correção geométrica todas as imagens assumiram os parâmetros do sistema de projeção UTM, Datum WGS-84 da imagem GLCF e resolução espacial de 28,5 metros. O método de reamostragem foi o do vizinho mais próximo, utilizando-se em torno de 20 pontos de controle.

Na comparação de imagens orbitais de datas diferentes, mesmo provenientes de um mesmo sensor, persistem interferências provenientes das condições vigentes no momento da aquisição da cena como: o efeito das condições de iluminação, a irradiância solar no topo da atmosfera e o ângulo de incidência da radiação sobre o alvo, que são responsáveis por variações nas respostas espectrais. Dessa forma, a conversão dos níveis de cinza para reflectância aparente é eficiente para reduzir a variabilidade da resposta espectral (Bentz, 1990; Nelson, 1985; Ponzoni & Shimabukuro, 2007).

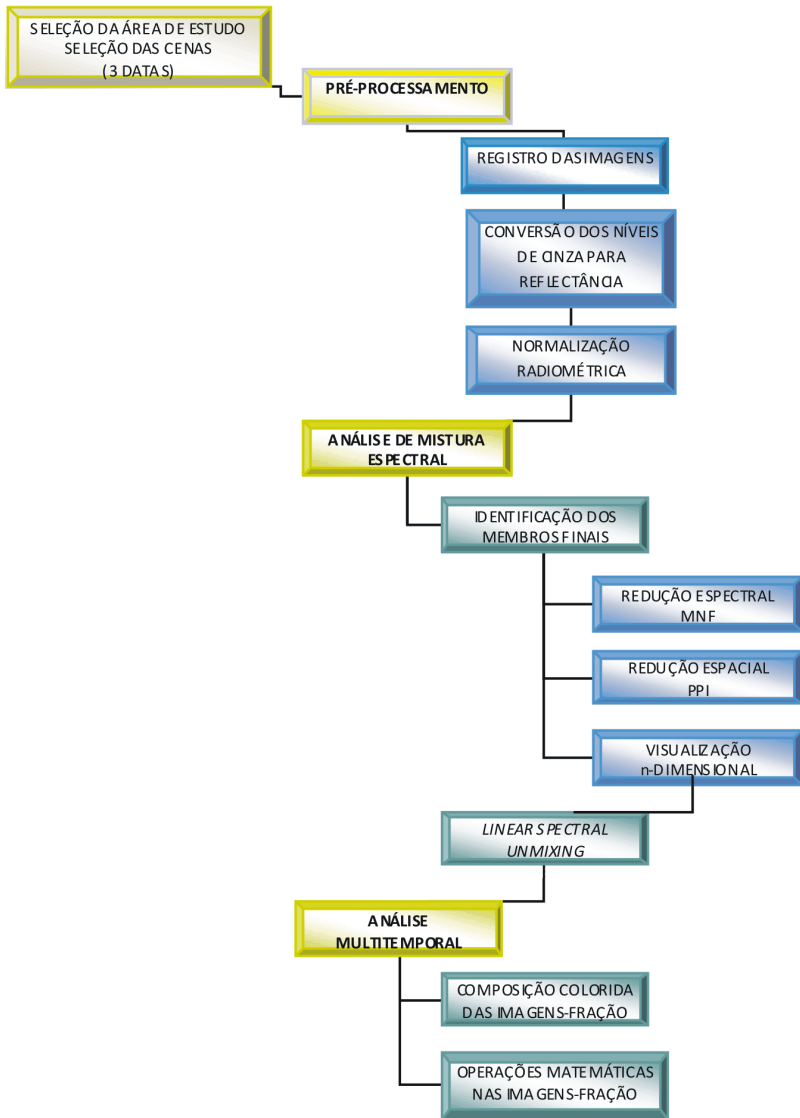


Figura 2 – Fluxograma das etapas do trabalho.

Nesta pesquisa, a conversão dos números digitais para reflectância aparente no topo da atmosfera foi realizada, por uma ferramenta de calibração para o Landsat-TM do programa ENVI, que utiliza como parâmetros de entrada, a data, horário de passagem e ângulo de elevação solar.

Mesmo após a conversão dos valores da imagem para reflectância aparente, observa-se que alvos invariantes ao longo do tempo apresentam espectros ligeiramente diferentes na série temporal (Carvalho Júnior et al., 2006). Os procedimentos estabelecidos para a correção desse efeito são denominados na bibliografia com várias terminologias tais como: retificação radiométrica (Hall et al, 1991), normalização (Du et al, 2001; Gürtler et al. 2003) ou calibração (Furby & Campbell, 2001).

As imagens orbitais dificilmente mantêm a precisão radiométrica devido às oscilações do sensor, interferências atmosféricas, variações do ângulo de iluminação solar nas diferentes estações do ano, entre outros. Assim, muitas técnicas de correção radiométrica vêm sendo desenvolvidas considerando-se principalmente: a) os elementos da superfície cujas reflectâncias estão próximas de serem constantes chamados pontos invariantes (PI) e b) a regressão linear dos pontos invariantes que assumem que as amostras dos *pixels* do mesmo lugar em datas diferentes são linearmente correlacionadas. Dessa forma, a chave do problema do método de regressão da imagem é uma acurada seleção de pontos invariantes (Carvalho Júnior et al., 2006).

Neste trabalho a normalização radiométrica foi realizada no programa ABÍLIO que adota o algoritmo desenvolvido por Carvalho Júnior et al., (2006). O algoritmo compreende duas etapas básicas: a identificação dos pontos

invariantes utilizando um novo método de detecção de mudanças baseado em algoritmos de classificação espectral e a regressão linear entre os pares de bandas temporais. Inicialmente o algoritmo identifica os pontos invariantes usando classificadores espectrais. O usuário do programa define como parâmetros de entrada: (a) a imagem de referência, (b) a imagem a ser calibrada e (c) o método para identificação dos pontos invariantes (SAM, SCM ou Mínima Distância). Desta forma, a regressão linear é realizada considerando somente os melhores espectros para os ajustes radiométricos. Finalmente, os valores de ganhos e offsets são determinados e aplicados em cada banda da imagem. Por fim, a imagem foi recortada em formato retangular contendo o perímetro do projeto de assentamento.

ANÁLISE DE MISTURA ESPECTRAL

Aguiar et al. (1999) consideraram que o modelo de mistura é uma alternativa para a redução da dimensionalidade dos dados, apresentando vantagens quando comparado a métodos tradicionais em termos qualitativos e seus resultados estão condicionados à escolha adequada dos componentes básicos que compõem as frações. Três questões principais são abordadas na análise de mistura espectral de imagens (Carvalho Júnior et al., 2003a, b, c): (a) Quais os elementos e os seus respectivos espectros que compõem a imagem? (b) Onde está o elemento procurado? e (c) Quanto do elemento existe em cada *pixel*?

O cálculo da mistura espectral é realizado a partir dos membros finais. Uma forma de identificação dos membros finais pode ser obtida por Boardman & Kruse (1994), a qual é constituída por três etapas: redução da dimensão espectral utilizando a técnica de *Minimization Noise Fraction* (MNF) (Green et al.,

1988); redução da dimensão espacial utilizando o método *Pixel Purity Index* (PPI) (Boardman et al., 1995); e (c) identificação manual utilizando um visualizador n-dimensional (*N-Dimensional Visualizer*) (Boardman et al., 1995). Carvalho Júnior et al. (2005) observaram que nos ambientes naturais existe uma alta similaridade dos membros finais identificados pelo método Boardman & Kruse (1994) em imagens hiperespectrais (AVIRIS) e em imagens multiespectrais (Landsat-ETM e ASTER).

A equação que descreve a Análise Linear de Mistura é representada como:

$$R_i^k = \sum_{j=1}^{N_c} \rho_{ij} R_j^k$$

$$\text{sujeito às restrições: } \sum_{j=1}^{N_c} \rho_{ij} = 1 \quad e \quad 0 \leq \rho_{ij} \leq 1$$

sendo:

- R_i^k : reflectância do pixel i na banda k
- R_j^k : reflectância do *endmember* j na banda k
- ρ_{ij} : proporção do *endmember* j contido no pixel i
- N_c : número de *endmembers*

O método ALM apresenta como resultado uma banda para cada *endmember* e o erro médio quadrático da decomposição. Como resultado do processamento os valores de brilho indicam a fração que contém cada membro final. Neste trabalho, foram geradas as imagens-fração de solo, Vegetação Fotossinteticamente Ativa (VFA), Vegetação Não Fotossinteticamente Ativa (VNFA) e imagem-erro.

ANÁLISE TEMPORAL

Para a detecção das mudanças no tempo foram feitas composições coloridas com as imagens-fração de solo, VFA e VNFA nas diferentes datas e operações matemáticas para destacar as alterações na área da pesquisa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

RESULTADOS DO PRÉ-PROCESSAMENTO

A correção geométrica das imagens apresenta um erro médio quadrático (*Root Mean Square* - R.M.S) para as diferentes cenas, por volta de um *pixel* de erro. Os valores dos números digitais foram convertidos em valores de reflectância, para a comparação entre diferentes datas. Para efeito de ilustração, é feita uma comparação (**Figura 3**) entre os números digitais e os valores de reflectância de *pixels* de solo, vegetação fotossintenticamente ativa (VFA) e vegetação não fotossintenticamente ativa (VNFA).

Os resultados da normalização radiométrica foram obtidos tendo como referência a cena de 2001 e adotando-se o limiar (*threshold*) de 99,9% para identificação dos pontos invariantes. Ao compará-la com as imagens dos outros dois anos, cada dupla de cenas gerou um gráfico de regressão linear por banda e uma imagem dos pontos invariantes para servir de base para os próximos passos. A **Figura 4** mostra os resultados da regressão linear feita para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 das cenas de 2001 e de 2009 aos pares. O mesmo procedimento foi executado também com as cenas de 2001 (referência) e de 1997 para obter a normalização radiométrica.

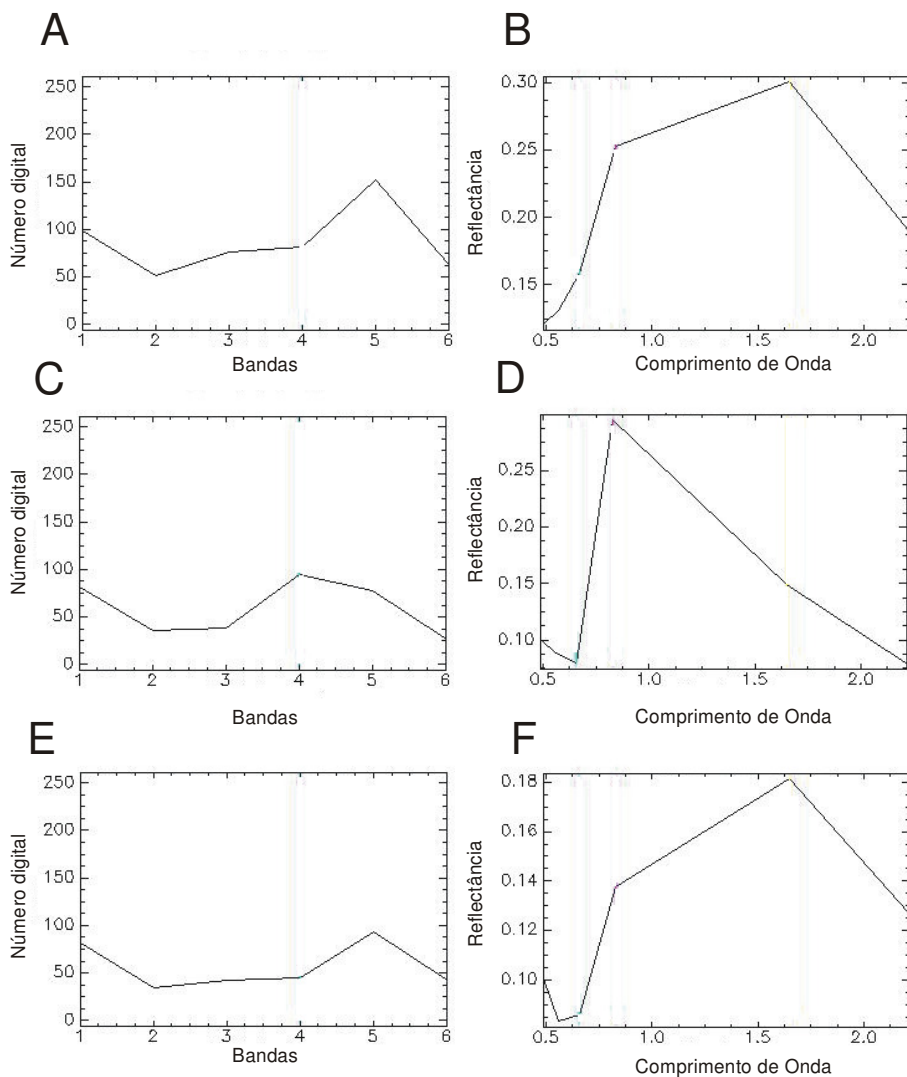


Figura 3 – Comparação das curvas relativas aos números digitais e os valores de reflectância aparente do topo da atmosfera para os pixels de solo (A,B), VFA (C,D) e VNFA (E,F) para o sensor TM-Landsat 5.

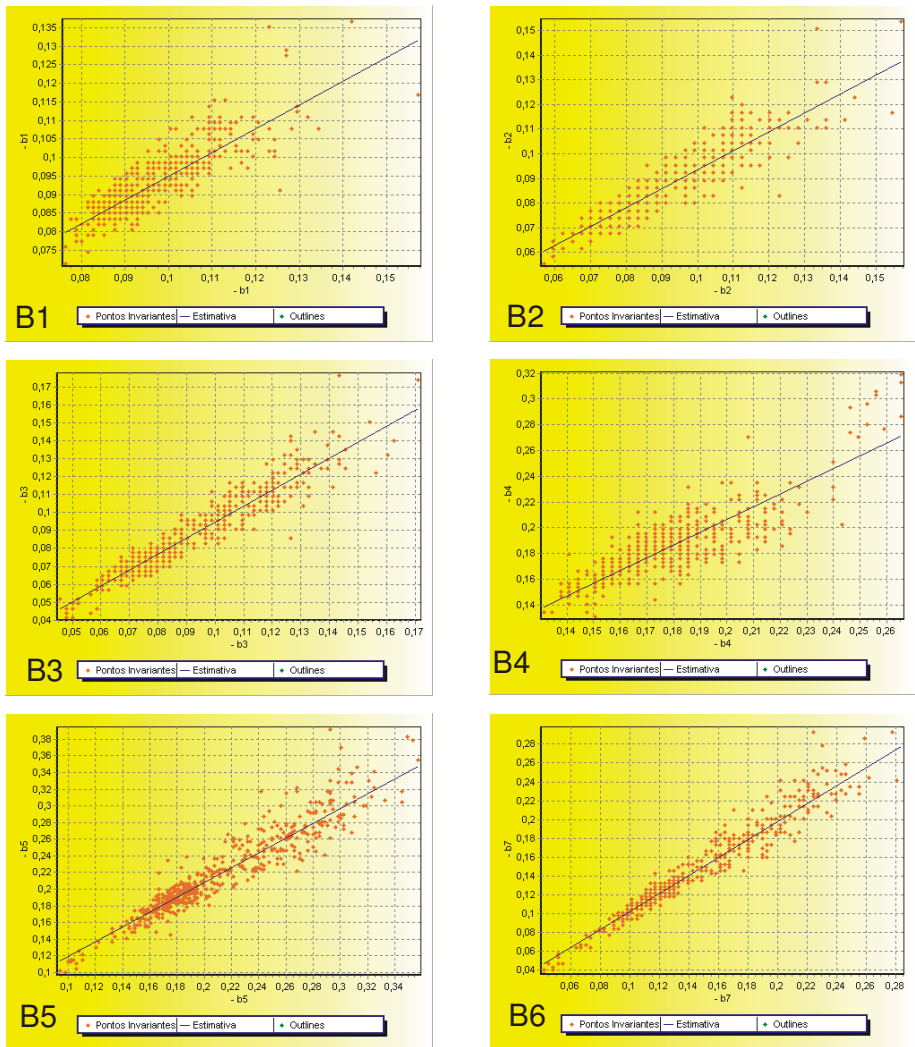


Figura 4 – Gráficos de regressão linear dos pares de bandas das cenas de 2001 e 2009 para: B1 - banda 1; B2 - banda 2; B3 - banda 3; B4 - banda 4; B5 - banda 5; e B6 - banda 6.

RESULTADOS DA ANÁLISE LINEAR DE MISTURA

A transformação MNF nas imagens da área de estudo apresenta as componentes de sinais agrupadas nas quatro primeiras bandas (**Figura 5**). Essa característica pode ser também verificada pelo gráfico de autovalores (**Figura 6**).

A composição colorida das três primeiras componentes MNF para a área de estudo evidencia a presença de padrões e comportamentos distintos da vegetação (**Figura 7**). Essa figura compara a composição colorida (RGB) composta pelas bandas 5/4/3 TM e a 1^a/2^a/3^a MNF, para os anos de 1997, 2001 e 2009. As composições formadas pelas componentes MNF realçam melhor os diferentes tipos de cobertura vegetal, como por exemplo: Mata Seca (MS), Cerrado (C) e Cerrado ralo (CR) em relação à composição das imagens originais.

As componentes MNF de ruído foram desconsideradas no processamento do PPI que gera uma imagem da frequência em que cada um dos *pixels* foi identificado como membro puro, representado como pontos escuros. Desta forma, os membros finais identificados para a área de estudo foram: áreas de queimada, água, sombra, solo, vegetação fotossinteticamente ativa (VFA) e vegetação não fotossinteticamente ativa (VNFA). Devido ao objetivo do presente estudo foram analisados na ALM apenas os membros finais de VFA, VNFA e solo (**Figura 8**).

Com o processamento ALM foram geradas imagens com quatro bandas, sendo três referentes a cada um dos membros finais (solo, VFA e VNFA), também denominadas Imagens-Fração de mistura, e uma quarta banda, a imagem-erro que representa o erro médio quadrático (RMS). As imagens-fração

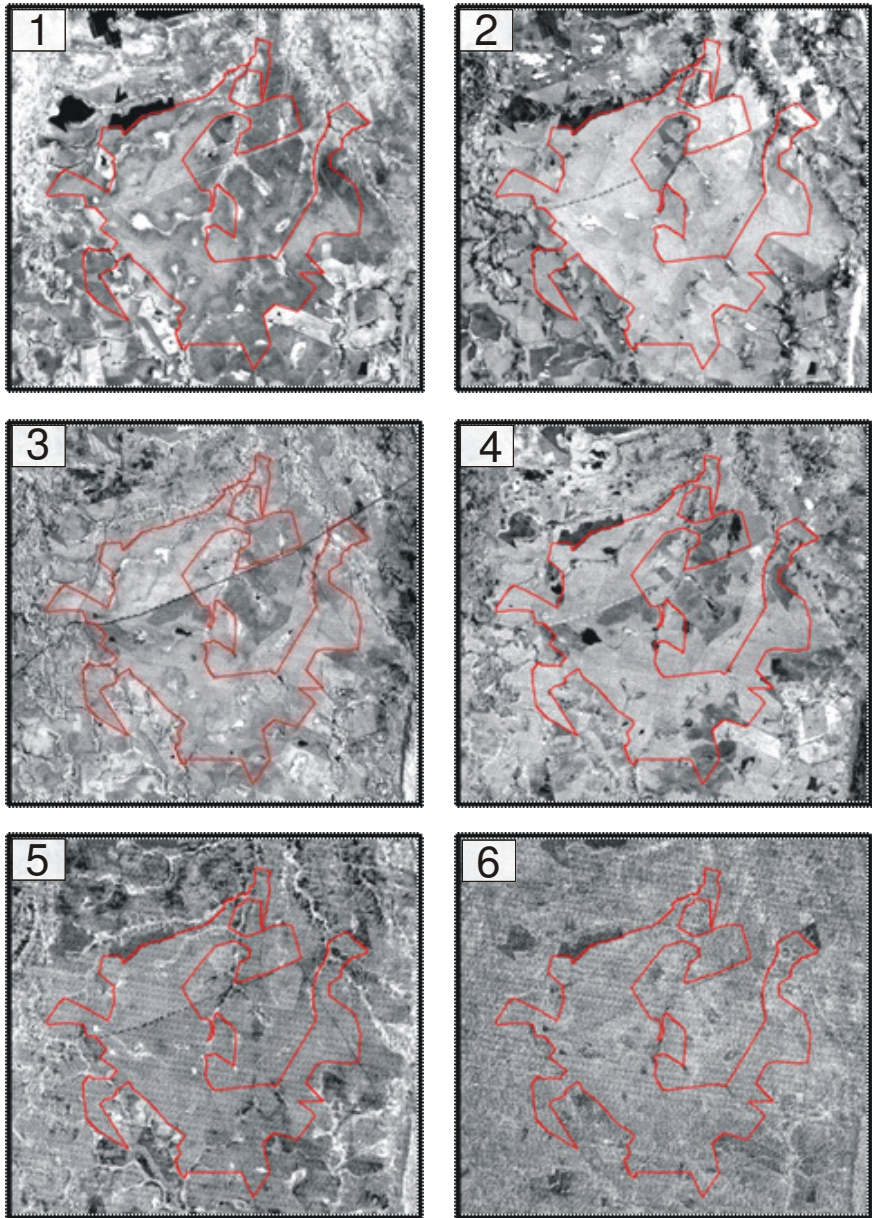


Figura 5 - Degradação do sinal referente às seis primeiras componentes MNF na região em que se localiza o projeto de assentamento Americana.

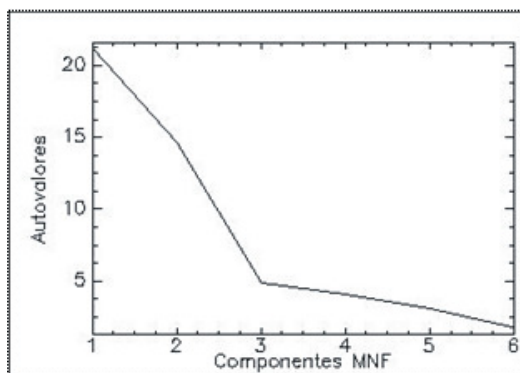


Figura 6 – Autovalores referente às seis primeiras componentes MNF.

representam a abundância de cada membro de referência na cena, enquanto a imagem-erro está associada às imprecisões da modelagem. A **Figura 9** apresenta as imagens-fração (IF) dos membros finais solo, VFA e VNFA, nas diferentes datas, onde as áreas claras correspondem à maior abundância do membro de referência e as áreas mais escuras, à menor. Para A **Figura 10** apresenta a imagem-erro para cada data do estudo. Nota-se que nos locais em que existiam corpos de água e queimadas, o ALM os identificou como um dos membros finais previamente selecionados. Nas imagens-erro, na coloração vermelha, foram indicadas as inadequações, enquanto as maiores semelhanças foram realçadas nos tons azuis.

A **Figura 11** mostra o resultado da composição colorida das três datas de forma a realçar os membros finais ao longo do tempo, conforme a lógica de formação de cores, com a seguinte distribuição: 1997 no canal do vermelho (R), 2001 no canal do verde (G) e 2009 no canal do azul (B). Desta forma, as cores

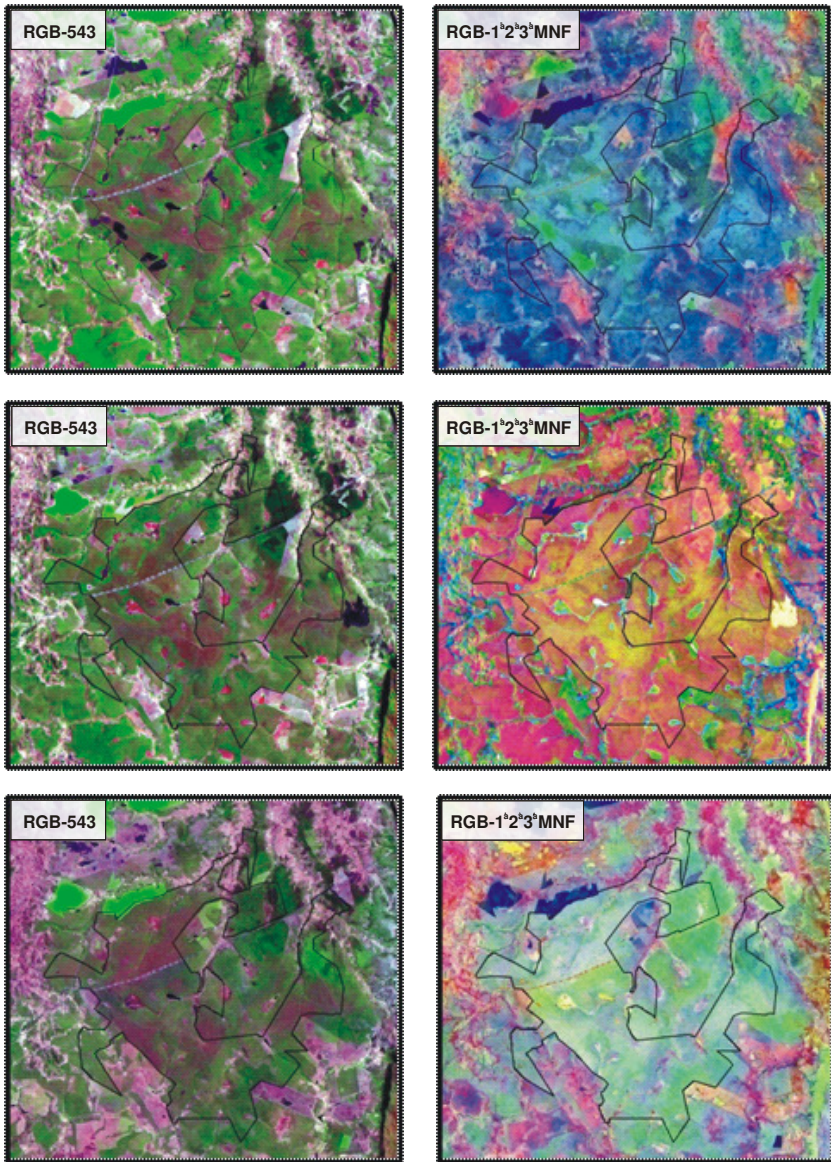


Figura 7 - Composição colorida 543 RGB e composição colorida das três primeiras componentes MNF no ano de 1997, 2001 e 2009, na área do PA Americana (CR = Cerrado ralo, C = Cerrado e MS = mata Seca).

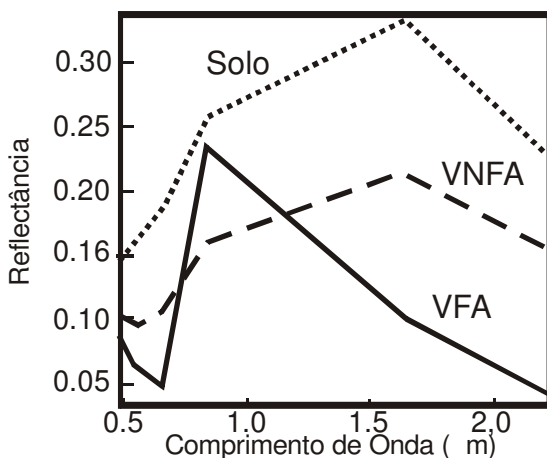


Figura 8 - Alvos identificados como membros finais.

presentes na composição podem ser esquematizadas conforme as variações temporais (Ippoliti et al., 1998). Assim, numa composição 1997 (R), 2001 (G) e 2009 (B) as áreas em vermelho, por exemplo, correspondem às localidades com altos valores de abundância em 1997 e as áreas em verde e azul, correspondem às áreas com mais altos valores de abundância em 2001 e 2009, respectivamente. Para as cores secundárias temos a conjunção de duas datas com valores altos dos elementos. Por exemplo, as áreas em ciano correspondem às áreas com altos valores de abundância em 2001 e 2009. O mesmo procedimento é válido para as demais cores secundárias.

As áreas que se mantiveram constantes ao longo do tempo recaem sobre o eixo acromático, aparecendo em tons de cinza que variam do branco ao preto. Desta forma, as áreas em branco correspondem às localidades com altos valores nas três datas. Conforme Carvalho et al. (2002), o procedimento permitiu integrar

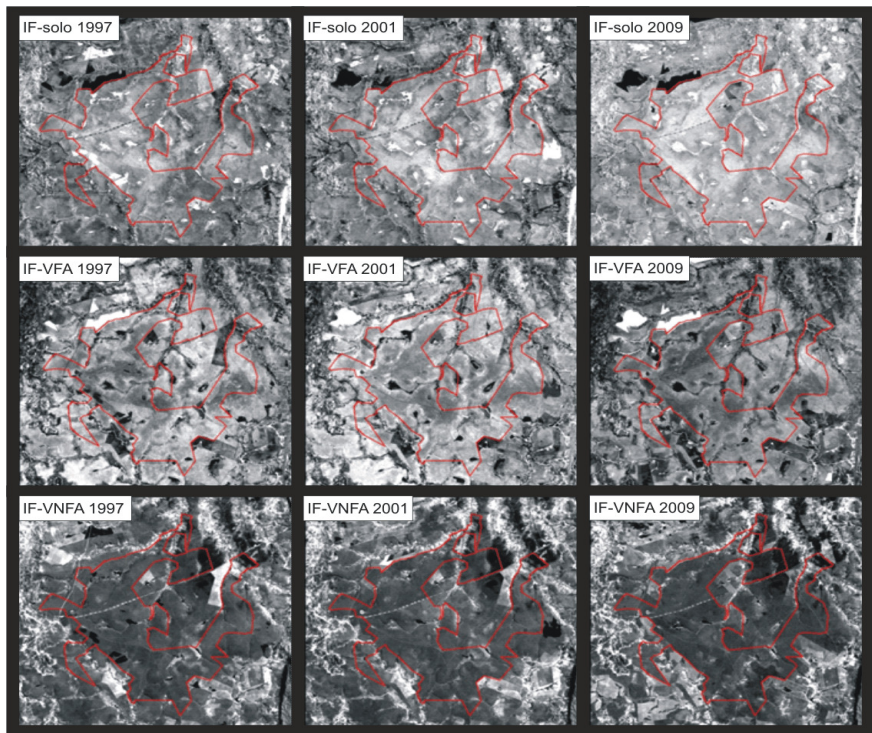


Figura 9 – Imagens-Fração do Solo, VFA e VNFA nos anos de 1997, 2001 e 2009 na área do PA Americana.

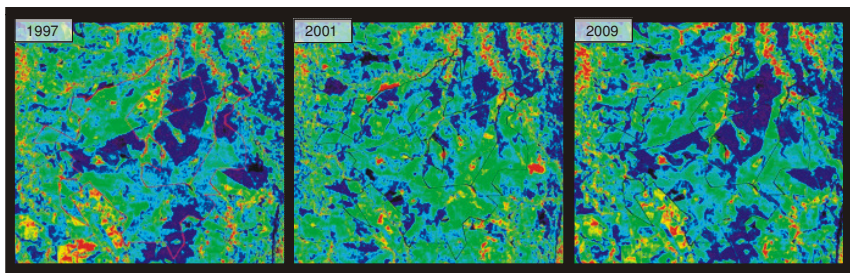


Figura 10 – Imagens-erro referentes aos anos de 1997, 2001 e 2009 na área do PA Americana.



Figura 11 – Composição colorida na área do PA Americana das imagens-fração do solo, VFA e VNFA usando as imagens dos anos 1997, 2001 e 2009 nos canais R (vermelho), G (verde) e B (azul).

numa única imagem os eventos e a dinâmica de uso nas diferentes datas, permitindo uma visualização de forma fácil e direta da área em estudo.

Na área do PA Americana predominam tons ciano na composição colorida das imagens-fração solo, com altos valores de abundância para solo nos anos de 2001 e 2009, associados aos canais do verde e azul. A imagem-fração VFA apresentou pequenas variações para este elemento, onde predominaram tons de verde demonstrando maior abundância do componente VFA no ano de 2001. Observa-se também a coloração magenta em outra região do PA, indicando maior abundância de VFA nos anos de 1997 e 2009, associados aos canais do vermelho e azul. A imagem-fração VNFA apresentou pequenas variações de abundância nas fitofisionomias de Cerrado, nos três anos, com a predominância de tons de cinza.

De forma geral, observa-se que as maiores mudanças foram detectadas nas áreas ao redor do PA, em datas específicas. Essa análise mostrou que na área do assentamento Americana não ocorreram mudanças significativas ao longo dos últimos doze anos. Essa observação está de acordo com o Plano de Desenvolvimento do Assentamento que propõe a implantação de um menor número de famílias e áreas de exploração florestal individual e comunitária visando a manutenção da sustentabilidade da área.

Neste estudo, a operação matemática que apresentou melhores resultados foi a subtração em pares de datas feitas para os anos de 2009/2001, 2001/1997 e 2009/1997 (**Figura 12**). As mudanças estão presentes nos pixels com valores mais altos e baixos enquanto as áreas sem mudanças apresentam valores próximos de zero.

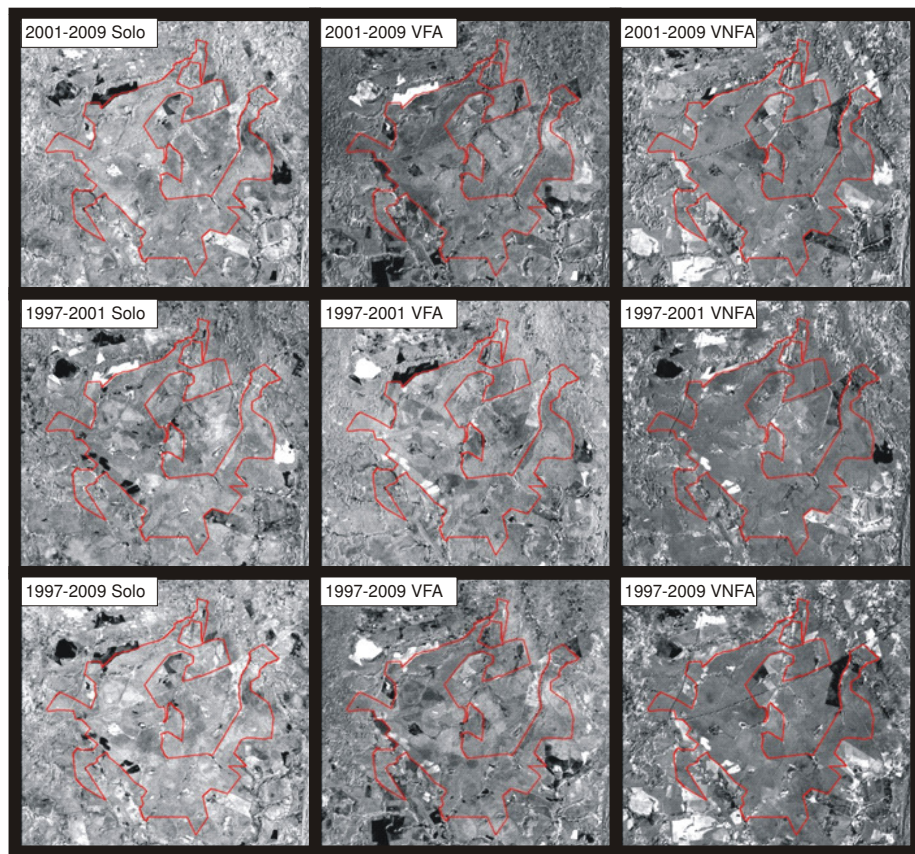


Figura 12 – Subtração das imagens-fração do solo, VFA e VNFA dos anos em estudo na área do PA Americana.

No período de 2001/2009 observou-se uma leve mudança na fração-solo em algumas áreas circunscritas ao PA, principalmente naquelas onde as atividades agrícolas são realizadas, próximas a algumas redes de drenagem. Essa mudança é mais realçada de 2001/2009 do que 1997/2009, provavelmente em função da implantação do assentamento. De 1997 para 2001 as mudanças na fração-solo foram menores, representadas pelos tons acinzentados. Com relação à

VFA e VNFA foram poucas as mudanças entre os anos de 1997 a 2009, permanecendo praticamente inalteradas. No entanto, algumas áreas fora do PA apresentam alterações mais pronunciadas para VNFA nos anos de 1997 e 2001, provavelmente devido à maior facilidade de exploração de áreas com fitofisionomias mais abertas (Cerrado ralo).

As imagens-erro mostraram que pequenas áreas, geralmente onde se localizam corpos de água, apresentaram os maiores erros nas composições das imagens obtidas após a subtração das bandas nas diferentes datas.

De maneira geral, ao longo dos doze anos (1997 a 2009) a subtração das imagens permitiu perceber pequenas mudanças no projeto de assentamento Americana.

CONCLUSÕES

As principais conclusões do trabalho são:

- As operações de pré-processamento permitiram uma preparação das imagens para uma análise mais precisa da variabilidade espectral, permitindo uma melhor classificação espectro-temporal.
- A Análise de Mistura Espectral permitiu analisar a variação espectral dos diferentes alvos que compõem a cena a fim de identificar os espectros puros para emprego do modelo de mistura e geração das imagens-fração.
- As imagens-erro mostraram que os *pixels* de áreas de corpos de água e sombra foram considerados membros finais inadequados, necessitando seleção manual.

- A Análise Multitemporal permitiu perceber as pequenas mudanças ocorridas desde antes da desapropriação do imóvel rural até a data atual, mostrando que durante o período analisado, o PA Americana apresentou pequeno aumento em relação à abertura de novas áreas, levemente maior após a instalação das famílias, condizente com o numero de famílias e exploração florestal individual e comunitária.
- As análises feitas neste estudo devem ser complementadas com a verificação em campo das conclusões obtidas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio dos técnicos do INCRA e ao CNPq pela bolsa de produtividade do professor Osmar Abílio de Carvalho Júnior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, J. B. & GILLESPIE A. R. (2006). Remote sensing of landscapes with spectral images. A physical modeling approach. New York, Cambridge University Press. 362 pp.
- ADAMS, J. B., SABOL, D., KAPO, V., FILHO, R. A., ROBERTS, D. A., SMITH, M. O., & GILLESPIE, A. R. (1995). Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: application to land-cover change in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing of Environment*, 52, 137–154.
- AGUIAR, A. P. D.; SHIMABUKURO, Y. E.; MASCARENHAS, N. D. A. (1999). Use of synthetic bands derived from mixing models in the multispectral classification of remote sensing images. *International Journal of Remote Sensing*, 20: 647-657.
- BENTZ, C. M. (1990). Avaliação da transformação radiométrica dos dados TM Landsat-5. 1990. 142p. Dissertação (Mestrado) - INPE, São José dos Campos, São Paulo.

- BOARDMAN, J.W.; KRUSE, F.A. (1994). Automated spectral analysis: A geologic example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains, Nevada. In: ERIM – X Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI. Proceedings, v.1, p. 407–418.
- BOARDMAN, J.W.; KRUSE, F.A.; GREEN, R.O. (1995). Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data. In: V Annual JPL Airborne Geoscience Workshop, Pasadena, CA. Summaries, JPL Publication. v.95, n.1, p.23-26.
- CARVALHO JÚNIOR O.A., CARVALHO A.P.F., ARAÚJO, A.H. (1997). Utilização de geoprocessamento para subsidiar as ações de desapropriação de imóveis rurais. Estudo de caso: Fazenda Dona Helana, município João Pinheiro. II Simpósio Ed usuários IDRISI, 18 a 20 agosto 1997, Campinas SP. Caderno de Resumos p.119-122.
- CARVALHO JÚNIOR O.A.; CARVALHO A.P.F., GUIMARÃES R.F., MENESES P.R. & SHIMABUKURO, Y. (2003). Mistura espectral: (III) Métodos para estimativa de abundância. Espaço e Geografia (UnB), Brasília, 6(1): 199-222.
- CARVALHO JÚNIOR O.A.; GUIMARÃES R.F.; MARTINS, E.F.; CARVALHO A.P.F.; GOMES, R.A.T. (2005). Análise comparativa do processo de identificação automatizada de membros finais a partir de imagens com diferentes resoluções espectrais para a região de Niquelândia (AVIRIS, ETM+ e ASTER). Revista Brasileira de Geofísica. V.23. n.1. p.39-50.
- CARVALHO JÚNIOR, O.A.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO, A. P. F.; SILVA, N. C. (2006). Normalization of multi-temporal images using a new change detection method based on the spectral classifier. In: IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium, 2006, Denver, Colorado. Proceedings of the IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium. Piscataway, NJ : IEEE, p. 771-774
- CARVALHO JÚNIOR, O.A.; CARVALHO, A.P.F., GUIMARÃES, R.F., MENESES, P.R. &

- SHIMABUKURO, Y. (2003b). Mistura espectral: (II) Classificadores espectrais para identificação. Espaço e Geografia (UnB), Brasília, 6(1): 175-198.
- CARVALHO JÚNIOR, O.A.; CARVALHO, A.P.F.; GUIMARÃES, R.F.; MENESES P.R. & SHIMABUKURO, Y. (2003a). Mistura espectral: (I) detecção dos membros finais utilizando a geometria do Simplex. Espaço e Geografia, 6(1): 147-173.
- CARVALHO, A. P. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; MARTINS, E. S.; ROCHA, V. M. S. & CÉSAR, C. S. (2002). Análise multitemporal de imagens ndvi em ações de reforma agrária. Espaço & Geografia, 5(1): 139:152.
- COSTA, C.M.R.; HERMAN, G.; MARTINS, C.S.; LINS, L.V.; LAMAS, I.R. (1998). Biodiversidade em Minas Gerais – Um atlas para sua conservação. Belo Horizonte, Fundação Biodiversitas. 77p.
- DU, Y.; CIHLAR, J.; BEAUBIEN, J.; LATIFOVIC, R. (2001). Radiometric normalization, composition, and quality control for satellite high resolution image mosaics over large areas. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing v.39, p.623-634.
- ENVI (2000). The Environment for Visualizing Images User's guide, 4 ed., Research Systems Inc., Boulder, CO, 930p.
- FURBY, S. L.; CAMPBELL, N. A. (2001). Calibrating images from different dates to like-value digital counts. Remote Sensing of Environment v. 77, p. 186-196.
- GREEN, A. A.; BERMAN, M; SWITZER, P.; CRAIG, M.D.A. (1998). Transformation for ordering multispectral data in terms of images quality with implications for noise removal. In: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 26 n.1, p. 65-74.
- GÜRTLER S.; LUIZA J. B.; EPIPHANIO, J. C. N. (2003). Uniformização de imagens Landsat para previsão de safras agrícolas. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, Minas Gerais. Anais XI SBSR. São José dos Campos: INPE, p.109-116.

- HALL, F. G.; STREBEL, D. E.; NICKESON, J. E.; GOETZ, S.J. (1991). Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multirate, multisensor images. *Remote Sensing of Environment* v.35, p.11-27.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2009). Contagem da População 2007. População recenseada e estimada, segundo os municípios de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/default.shtm>. Acesso em 8 nov. 2009.
- INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (1989). Projeto Piloto do Noroeste de Minas Gerais. Brasília. 24p.
- INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. (1993). Relatório Técnico: Análise temporal do uso da terra do imóvel Timboré, Estado de São Paulo. São Paulo. 34p.
- INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. (1997a). Relatório de Análise da Capacidade de Uso da Terra do Projeto de Assentamento Cigano, Município de Água Fria, Goiás. Brasília. 23p.
- INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. (1997b). Relatório da Capacidade de Uso da Terra do PA ESUSA – Alto Paraíso, GO. Superintendência Regional do Distrito Federal e Entorno Brasília. 17p.
- INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. (1998a). Estudo Físico da Área do Projeto de Assentamento Santo Antônio, município de Presidente Olegário, MG Brasília. 35p.
- INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. (1998b). Laudo de Vistoria Preliminar. Superintendência Regional do Estado de Minas Gerais. Montes Claros. 1998b. 19p.
- INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. (1995). Normas Técnicas para mapeamento de recursos naturais através de sensoriamento remoto - Manual

de Orientação. Brasília. 1995. 56p.

INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. (2006). Manual de Obtenção de Terras e Perícia Judicial. Brasília. 2006. 137p.

INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Sistema de Informações de Projetos de Reforma Agrária. (2009). Disponível em: <http://incranet.incra.gov.br/sipraconsulta/>. Intranet. Acesso em: 23 out. 2009.

IPPOLITI, G.A.; EPIPHANIO, J.C.N.; SHIMABUKURO, Y.E. (1998). Utilização de sensoriamento remoto na previsão de área a ser plantada com culturas de verão em três municípios do Estado de São Paulo. In: CD-Rom do IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, SP.

LOEBMANN, D.G.; GUIMARÃES, R.F.; BETTIOL, G.M.; FREITAS, L.F.; REDIVO, A.L.; CARVALHO JUNIOR, O.A. (2005). Mistura espectral de imagens Landsat para análise multitemporal de uso da terra nas diferentes unidades pedológicas da bacia do Rio Jardim, DF. In: Simposio Brasileiro de Sensoriamento remoto, 12, 2005, Goiânia. Anais... Goiânia: INPE, p.557-564.

NELSON, R. F. (1985). Reducing Landsat MSS scene variability. *Photogrammetric Engineering of Remote Sensing*, 51(5): 583-593.

PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. (2009). Atlas de Desenvolvimento Humano, 2009. Disponível em: <http://www.pnud.org.br/atlas>. Acesso: 10 set. 2009.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. (2007). Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. Ed. Parêntese. São José dos Campos, São Paulo. 127p.

RADELOFF, V. C., MLADENOFF, D. J., & BOYCE, M. S. (1999). Detecting jack pine budworm defoliation using spectral mixture analysis: separating effects from determinants. *Remote Sensing of Environment*, 69, 156–169.

ROBERTS, D. A., BATISTA, G. T., PEREIRA, J. L. G., WALLER, E. K., & NELSON, B. W.,

- (1998). Change identification using multitemporal spectral mixture analysis: applications in eastern Amazônia. In *Remote Sensing Change Detection: Environmental Monitoring Methods and Applications*, edited by R. S. Lunetta and C. D. Elvidge (Chelsea, MI: Ann Arbor Press), pp. 137–161.
- ROCHA, V.M.S.; CARVALHO, R.A.; SCHWARZ, C.O.; FERREIRA, A.P.M. (1998). Mapeamento da Cobertura Vegetal e Uso da Terra visando a caracterização da situação legal da vegetação no projeto de assentamento de um imóvel rural no município de Presidente Olegário, MG. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto*, 9, 1998, Santos. Anais... Santos: INPE, p. 1505-1515.
- ROGAN, J., FRANKLIN, J., & ROBERTS, D. A. (2002). A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using Thematic Mapper imagery. *Remote Sensing of Environment*, 80, 143–156.
- UFMG & CAANM. Universidade Federal de Minas Gerais e Centro de Agricultura Alternativa do Norte de Minas Gerais (2002). *Plano de Desenvolvimento do Projeto de Assentamento Americana*. Montes Claros. 110p.
- UFMG & CAANM. Universidade Federal de Minas Gerais e Centro de Agricultura Alternativa do Norte de Minas Gerais. (2003). *Projeto Básico de Desenvolvimento do Assentamento Americana*. Montes Claros. 39p.
- USTIN, S. L., ROBERTS, D. A., & HART, Q. J., (1998). Seasonal vegetation patterns in a California coastal savanna derived from Advanced Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) data. In *Remote Sensing Change Detection: Environmental Monitoring Methods and Applications*, edited by R. S. Lunetta and C. D. Elvidge (Chelsea, MI: Ann Arbor Press), pp. 163–180.