

Monitoramento do desmatamento no Cerrado, porção oeste da Bacia do Rio São Francisco: uma análise dos produtos NDVI e Modelo de Mistura Espectral

Paulo Marcos Coutinho dos Santos
Maria Salete Alves
Divino Antônio da Silva
Celeno Lopes Carneiro
Maurício Marques Fernandes

Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA
Centro de Sensoriamento Remoto - CSR
SCEN, Trecho 2. Ed. Sede, Blocos E e F, 70818-900 - Brasília-DF
{paulo-marcos.santos, celeno.carneiro, divino.silva, maria-salete.alves, mauricio.fernandes}@ibama.gov.br

Abstract. *This paper presents a qualitative analysis about sintetic images NDVI and Spectral Mixing Model to application on monitoring Cerrado deforestation: west part of the Rio São Francisco watershed. It checked the applicability of the shadow fraction like an option of completion to NDVI on deflorested areas' increments detection, considering that one fraction gets to join every types of antropic vegetation in a only one kind of property spectral. The metodology uses subtraction among component of different period, to explain the most part of deflorestations happened in that region. That metodology will go a long way with the Cerrado monitoring, through agreement among MMA and UFG/LAPIG.*

Palavras-chave: remote sensing, sensoreamento remoto, linear spectral unmix, modelo linear de mistura espectral, NDVI.

1. Apresentação

O presente estudo faz parte de um dos objetivos do Projeto de Monitoramento da Cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco - MSFRAN. Tal projeto apresenta, em uma de suas propostas de trabalho, a determinação dos remanescentes do Cerrado, simultaneamente, sua supressão causada pelo homem. Nesta linha, sugeriu-se realizar a análise da sazonalidade da vegetação, utilizando dados meteorológicos (pluviometria e fluviometria) combinados às composições quinzenais de índice de vegetação (NDVI) do MODIS, inclusive, para a identificação de mudanças em vegetações decíduais a semidecíduais (Mesquita Júnior & Santos, 2007).

Entretanto, no decorrer do projeto supracitado, outras metodologias foram analisadas, pois havia a preocupação de se agilizar as tarefas do Centro de Sensoriamento Remoto do Ibama – CSR no apoio em geoprocessamento à fiscalização do Ibama.

Ademais, vindo ao encontro dessa preocupação, órgãos do estado da Bahia, em parceria com o Ibama daquela mesma jurisdição, resolveram implementar grandes ações de fiscalização integrada, em especial, no oeste baiano, onde vem ocorrendo avanços alarmantes do desmatamento do Cerrado.

Assim sendo, buscou-se procedimentos em sensoreamento remoto mais adequados aos objetivos do projeto MSFRAN, bem como da fiscalização do Ibama. Entretanto, o referido projeto visa, outrossim, implementar um sistema de monitoramento da BHSF com um todo, e que, em virtude da experiência adquirida, será possível um monitoramento razoável e em tempo real daquela bacia, conforme já efetuado na Amazônia pelo INPE, e, recentemente, no Cerrado, a partir do termo de cooperação técnica assinado entre a o Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás - LAPIG/ UFG e o Ministério do Meio Ambiente – MMA.

2. Métodos e procedimentos

Dentre as metodologias observadas para desenvolvimento do MSFRAN, entendeu-se por utilizar, para fins de segmentação e classificação de áreas antropizadas, o Modelo Linear de Mistura Espectral – MLME, o qual visa estimar a proporção de componentes solo, sombra e vegetação para cada pixel a partir da resposta espectral das bandas utilizadas (Shimabukuro & Smith, 1991). Assim, em virtude das demandas pontuais e objetivos específicos da fiscalização do Ibama, entendeu-se por utilizar imagens CBERS e Landsat para delimitação de áreas de pelo menos 5 a 10 ha (hectares).

No entanto, o objetivo principal do MSFRAN é o de dimensionamento do desflorestamento num período de 5 a 10 anos para toda Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – BHSF, o que veio demandar o uso de imagens MODIS, pois o período de 2 (dois) anos de execução do projeto, bem como a dimensão de área da BHSF, impossibilitaram um estudo de maior detalhamento.

Assim sendo, optou-se por obter as bandas espectrais do produto MOD09Q1 e A1: bandas 1 e 2 do Q1, 6 e 7 do A1, estas reamostradas para 250m, a fim de se efetuar o MLME e compará-lo com a composição de 16 dias NDVI do produto MOD13Q1, de modo, outrossim, a se avaliar qual a melhor opção para se detectar novas áreas antropizadas e/ou de cobertura vegetal antrópica.

A opção do MOD09 ocorreu, em virtude das bandas, em especial das cenas Q1, encontrarem-se mais nítidas em relação as bandas espectrais azul, vermelho, IVP e IVM do MOD13.

As imagens MODIS, para elaboração deste trabalho, foram adquiridas pelo novo sistema WIST da NASA (<https://wist.echo.nasa.gov>), de sorte que, para execução da análise foram escolhidos os períodos apenas de época de estiagem, conforme Tabela 1 que segue:

Tabela 1. Imagens MODIS escolhidas para análise

Produto MODIS	2002	2007
MOD09Q1	A2002185.h13v10.005.2008246030208	A2007193.h13v10.005.2007209174252
MOD09A1	A2002185.h13v10.005.2008246030208	A2007193.h13v10.005.2007209174251
MOD13Q1	A2002177.h13v10.005.2008003154900	A2007193.h13v10.005.2007320084057

De posse das imagens, utilizou-se do software ITT/ENVI 4.5 para leitura do formato original HDF e sua transferência, para uso no Spring 5.0, exportando ao formato GEOTIFF, já convertida em Sistema de Referência Geográfica, DATUM SAD69/Brazil.

No Spring 5.0, efetuou-se o MLME a partir das bandas espectrais supracitadas do produto MOD09Q1 e A1. Assim, obteve-se os componentes solo, vegetação e sombra (Figura 1), as quais foram exportadas em formato GEOTIFF para manipulação no software ENVI 4.5. Cabe ressaltar que também é possível executar o MLME no ENVI 4.5 (menu e sub menus: “Spectral” - “Mapping Methods” - “Linear Spectral Unmixing”), porém o Spring 5.0 é mais “amigável” na execução de tal modelo.

Para execução do MLME é necessária a coleta de amostras que melhor representem os componentes determinados na região em estudo. No presente caso, buscou-se áreas de solo nu ou de areas; área de cobertura vegetal homogênea sem qualquer rugosidade; e por fim, áreas opacas que fossem sombras de relevo ou corpos d'água com pouquíssima influência de sedimentos em suspensão. A é de grande importância para que a continuidade do processo tenha um resultado coerente com a realidade do terreno. Caso contrário, todo processo deve ser refeito.

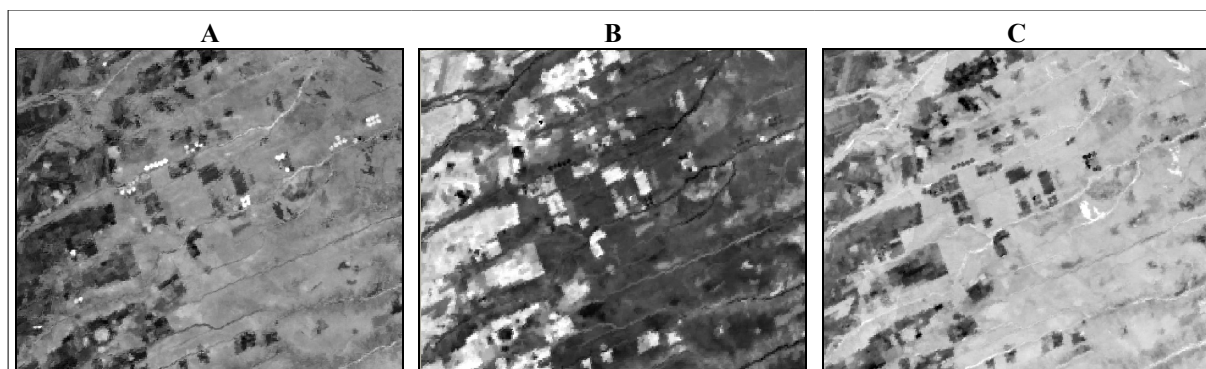


Figura 1. Produtos MLME de parte da cena de 2002, representando os componentes vegetação, solo e sombra: **A**, **B** e **C**, respectivamente.

Após geração de todas as frações do MLME para as cenas de 2002 e 2007, efetuou-se a análise visual das mudanças no terreno ocorridas naquele período de 5 anos, tais como, desflorestamentos (solo exposto) e áreas com cobertura vegetal antrópica (culturas/reflorestamentos).

A partir da análise visual, procedimento relevante para aplicabilidade da metodologia, verificou-se que o componente sombra foi o produto que melhor discriminou tais alvos, agregando todos os tipos de mudanças antrópicas num único padrão de resposta, onde seus respectivos *digital numbers* (DNs) apresentaram valores muito baixos.

Tal característica supracitada condicionou a se efetuar uma detecção de mudanças com as frações sombra dos anos de 2002 e 2007, neste caso, subtraindo-se [sombra 2002 – sombra 2007]. Desse modo, foi possível comparar o produto de mesmo procedimento matemático proveniente dos NDVIs de 2002 e 2007, conforme ilustrada na Figura 2.

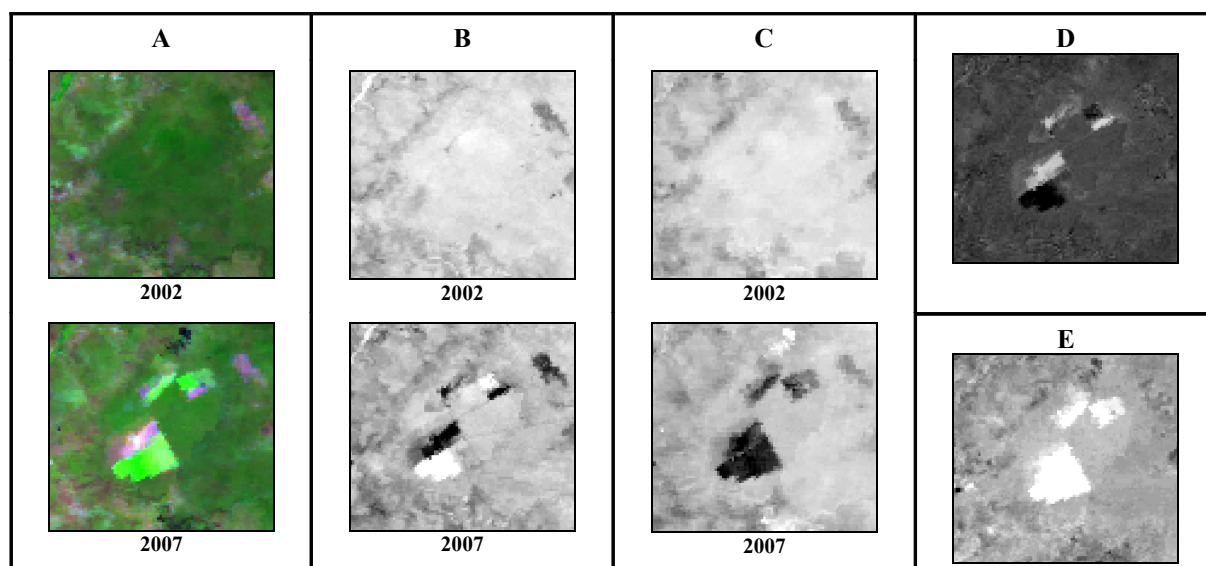


Figura 2. Amostras dos anos de 2002 e 2007 referentes a composição R6,G2,B1 (**A**), NDVI (**B**), MLME - fração sombra (**C**), bem como os produtos de detecção de mudanças aplicados aos NDVIs e as frações sombra, **D** e **E**, respectivamente.

Com os produtos em mãos, processou-se, no Spring 5.0, a segmentação das imagens provenientes da detecção de mudanças. Tal algoritmo agrega os "pixels" com valores de proporções semelhantes, criando assim regiões homogêneas. Assim, os atributos espectrais foram agregados a partir dos parâmetros de similaridade = 5 e área = 5, e posterior classificação a partir do algoritmo não supervisionado Histograma - duas classes (incrementos

e não incrementos de desmatamento), de modo a se delimitar os alvos de interesse, para posterior vetorização no ArcGIS 9.1 e avaliação qualitativa de tais vetores, com base em imagens CBERS de mesmo período.

3. Análise dos resultados

Na execução do MLME, a fração vegetação foi gerada por meio de uma amostra com *endmember* próximo de 0,8 (Figura 3). Nesta figura observa-se, ainda, que o componente sombra, naquela mesma amostra, apresentou valor de *endmember* próximo de 0,2. Tal amostra refere-se a uma área de cultivo (pivô central), o qual detém DNs elevados na fração vegetação, intermediários na fração solo e baixos na fração sombra, tais aspectos podem ser observados na Figura 2.

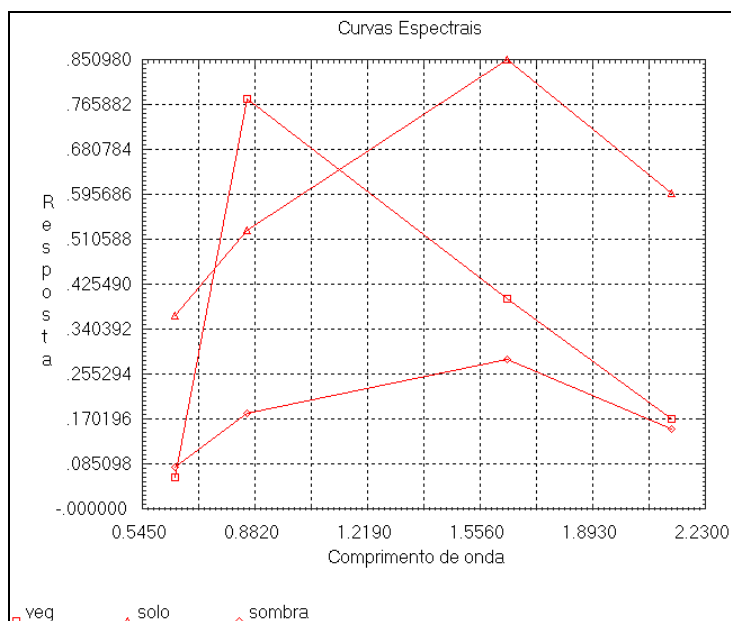


Figura 3. Gráfico contendo resposta espectral dos *endmembers*, referentes as alvos selecionados como dado de entrada para o MLME.

Tais *endmembers* garantem que a fração sombra agregue todos os tipos de mudanças antrópicas num único padrão de resposta espectral.

A Figura 4 que segue ilustra o resultado da classificação dos produtos de detecção de mudança da imagens NDVI e fração sombra, cujas concentrações e dimensões dos polígonos de incrementos de desmatamentos são consideravelmente discrepantes.

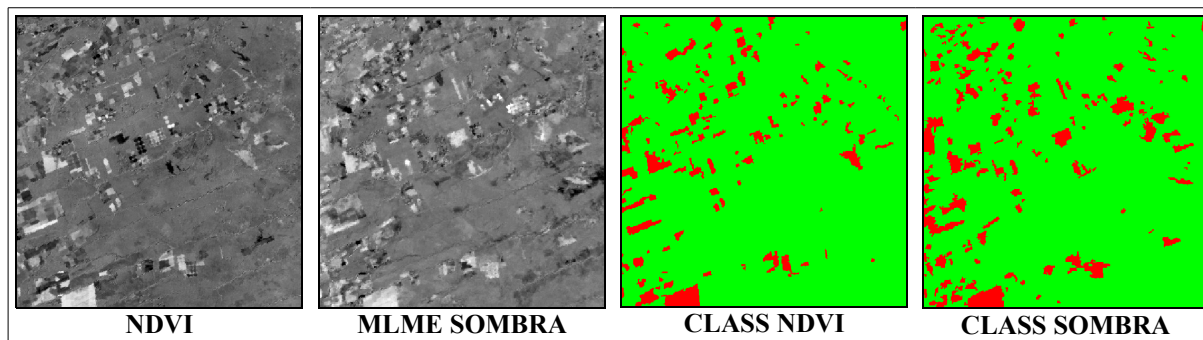


Figura 4. Produtos *change detection* entre NDVIs e frações sombra, e respectivas classificações automática preliminares de tais produtos.

No tocante ao resultado da classificação não supervisionada aplicada, é possível observar, na Figura 5, que as áreas de queimadas recentes não são delimitadas por meio do produto de detecção de mudança da fração sombra. Todavia, as queimadas ocorridas na imagem mais antiga são delimitadas pelo mesmo produto, mesmo que no período seguinte já tenha ocorrido um processo regenerativo da vegetação. Entretanto, caso se tenha evoluído a um processo de uso antrópico, a edição manual para este caso, obviamente, não se torna necessária, demonstrando que a metodologia aqui apresentada se adequa às necessidades de controle, monitoramento e prevenção do desmatamento por parte do Ibama, tendo em vista a necessidade de gerar indicativos de ações antrópicas a partir de processamentos rápidos e de considerável grau de confiabilidade à detecção em tempo real, inclusive.

Mesmo assim, como forma de melhor ilustrar todas as interferências ocorridas na vegetação, sugere-se, seguindo idéia similar, porém aplicada à classificação de tipos de vegetação por Anderson & Shimabokuru (2007), que sejam extraídos os polígonos de queimadas mais recentes das imagens produtos do *change detection* nas NDVI, por meio do aumento da quantidade de classes definidas pelo algoritmo Histograma, e, por fim, agregá-los aos indicativos de desmatamento gerados pelo MLME – fração sombra.

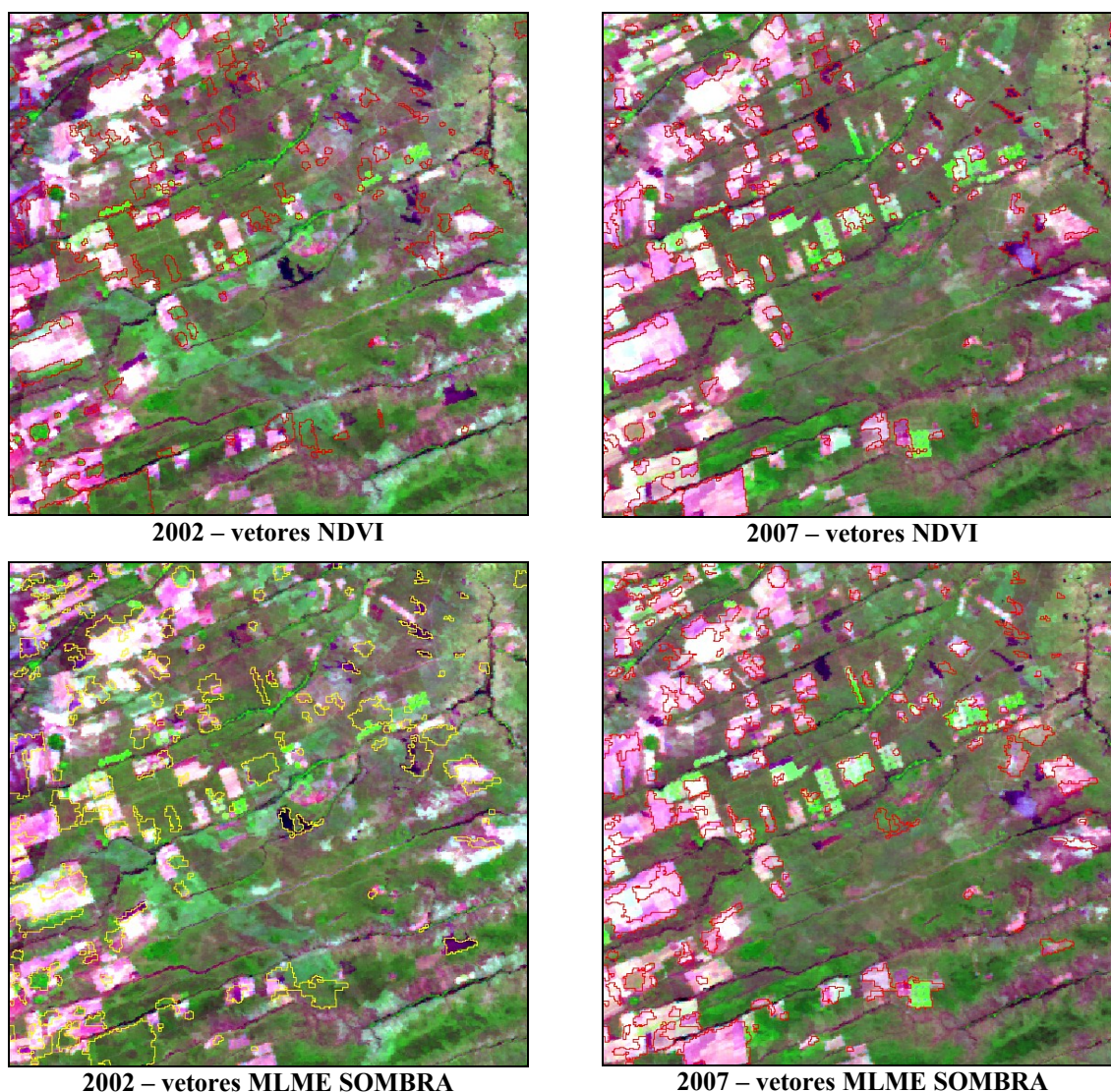


Figura 5. Composições coloridas MODIS 2002 e 2007 – R6, G2, B1, constando de vetores de incrementos de desmatamento gerados a partir do *change detection* dos produtos NDVI e MLME - fração sombra.

Por outro lado, é possível diminuir as influências dos alvos de queimadas nas imagens de 2002, efetuando-se uma operação aritmética entre as frações sombra e solo, conforme a Equação 1. O produto da referida operação matemática pode alterar a real área dos alvos antrópicos de interesse (Figura 6). No entanto, recorda-se que o presente estudo é uma avaliação entre imagens de 5 anos de diferença. No caso de imagens de 15, 30 ou 60 dias, é possível um resultado satisfatório, principalmente, em regiões de dimensões reduzidas, tais como sub-bacias hidrográficas.

$$ImgP = A * (ImgSmb/ImgSol) + B \quad (1)$$

onde, *ImgP* – fração sombra sintética; *ImgSmb* - fração sombra; *ImgSol* - fração solo; **A** - valor de ganho; e **B** - valor de *offset*.

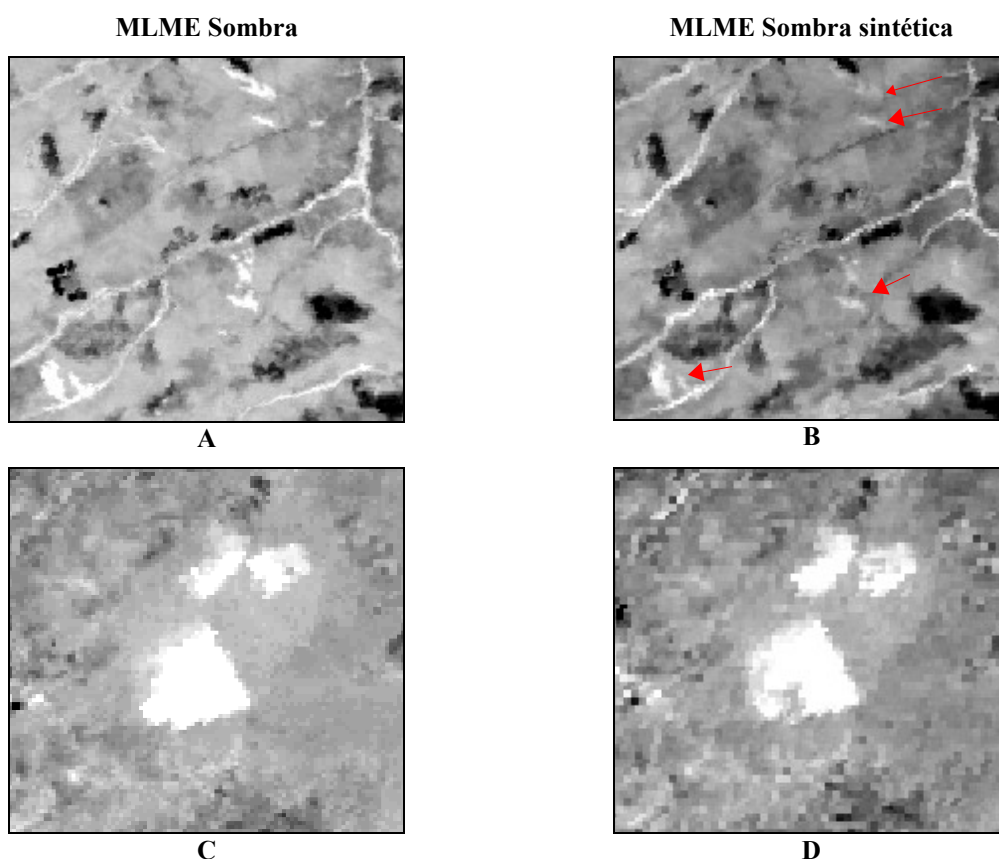


Figura 6. Amostra de fração sombra proveniente do MLME (A) e da divisão entre as frações sombra e solo (B), apresentando atenuação dos alvos de queimadas (setas vermelhas), ambas referentes a 2002. E amostras provenientes da subtração entre as frações sombra de 2002 e 2007 (C) e entre as frações sombra sintética de 2002 e 2007 (D).

4. Conclusões

O emprego do Modelo Linear de Mistura Espectral na região de estudo, a partir da subtração entre as frações sombra de 2002 e 2007, proporcionou um resultado de classificação automática mais eficiente, quando comparado aos resultados da mesma classificação aplicada aos produtos de subtração entre as imagens NDVI.

A eficiência da presente metodologia está atrelada às especificidades das regiões de estudo, tais como, aspectos sócio-econômicos e ambientais. Desse modo, sugerimos que o monitoramento do Cerrado seja efetuado de uma forma estratégica, no tocante ao padrão

sócio-ambiental das macro e micro-regiões, em especial, das bacias hidrográficas contidas naquele bioma.

A metodologia apresentada vem contribuindo com os objetivos do Projeto de Monitoramento da Cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, conforme previsto por Mesquita Júnior & Santos (2007), de sorte que será possível contribuir, outrossim, com o monitoramento do Cerrado, projeto acordado entre o LAPIG/UFG e o MMA, onde o CSR/Ibama validará os dados em campo e contribuirá no desenvolvimento da metodologia, a fim de que os futuros dados de alerta de desmatamentos apresentem-se mais refinados e qualificados.

5. Referências bibliográficas

Mesquita Júnior, H. N. & Santos, P. M. C. **Projeto de Monitoramento da Cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – Cemam/Ibama/MMA**. IN: **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, 2007, INPE, p. 4053-4055.

Shimabukuro, Y.E., Smith, J.A. The least-squares mixing models to generate fractio images derived from remote sensing multispectral data, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n 1, p. 16-20. 1991

Anderson L.O. & Shimbukuro, Y.E. In: Rudorff, B. F. T.; Shimabukuro, Y. E.; Ceballos, J. C. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações no Brasil**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007. cap. 12, p.159-171.