

## A reflectância acumulada como subsídio ao mapeamento da Floresta Estacional Decidual no Vão do Paranã, Goiás.

Potira Meirelles Hermuche<sup>1</sup>,  
Edson Eyji Sano<sup>1,2,3</sup>  
Helena da Silva Bezerra<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Goiás – UFG. Doutorado em Ciências Ambientais – CIAMB.  
potira@posgrad.ufg.br

<sup>2</sup> Embrapa Cerrados. Laboratório de Biofísica Ambiental.  
{sano, helena}@cpac.embrapa.br

<sup>3</sup> IBAMA. Centro de Sensoriamento Remoto – CSR.

**Abstract.** Nowadays, the areas of Dry Forest in the region of the Vão do Paranã, State of Goiás, Brazil, are very fragmented mainly due to uncontrolled land use activities such as the cattle ranching and selective logging. The objective of this work is to identify the possibility of discriminating the Dry Forest in the Vão do Paranã through the spectral analysis of multitemporal Landsat images. The images from April to July, 2001 (from late wet season to early dry season) were converted into surface apparent reflectances by using the MODTRAN4+ -based FLAASH algorithm and summed one-by-one (April+May, April+May+June, and April+May+June+July). The results showed that there was an increasing improvement in the Dry Forest identification as more multitemporal images were considered. Therefore, the technique of cumulative reflectance considered in this study is a promising alternative to obtain improved discrimination of dry forested areas in the Vão do Paranã region.

**Palavras-chave:** Multitemporal analysis, Atmospheric correction, Dry Forest, LANDSAT, Análise multitemporal, Correção atmosférica, Floresta Estacional Decidual, LANDSAT

### 1. INTRODUÇÃO

As Florestas Estacionais Deciduais (FED) correspondem a uma fisionomia florestal do Cerrado que se encontra bastante fragmentada devido às atividades antrópicas em seu entorno, notadamente aquelas relacionadas com substituição indiscriminada por pastagens cultivadas, coleta seletiva de madeira e fabricação de carvão vegetal com espécies nativas (SCARIOT e SEVILHA, 2005; FELFILI *et al.*, 2007). Estudos recentes têm demonstrado a sua riqueza de espécies (SILVA e SCARIOT, 2003; SALIS *et al.*, 2004; NASCIMENTO *et al.*, 2007; FELFILI e FAGG, 2007) e sua elevada capacidade de regeneração natural (VIEIRA e SCARIOT, 2006; SAMPAIO *et al.*, 2007), o que corrobora a importância ecológica dessas florestas.

Localizado na região nordeste do estado de Goiás, totalmente inserido no bioma Cerrado, encontra-se o Vão do Paranã, que possui um dos maiores adensamentos de fragmentos de FED no Brasil. Apesar da pressão antrópica sofrida, somente dois mil hectares dessa fitofisionomia no Vão do Paranã encontram-se especialmente protegidos, localizados na Floresta Nacional da Mata Grande, no município de São Domingos, Goiás.

Com o objetivo de auxiliar a manutenção da biodiversidade por meio da avaliação do comportamento e dinâmica da vegetação, análises da cobertura vegetal ganharam grande impulso com o advento do sensoriamento remoto (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009). Exemplos disso são os trabalhos de Araújo Filho *et al.* (2007), Liesenberg *et al.* (2007) e Sano *et al.* (2008), que abordaram metodologias de mapeamento da cobertura vegetal do Cerrado com o uso de sensores ópticos. No que diz respeito às florestas secas, Kalacska *et al.* (2007) trabalharam com dados hiperespectrais no Panamá e Costa Rica, e Sanchez-Azofeifa *et al.* (2001) fizeram uma análise quantitativa multitemporal das florestas secas da América Central com uso de imagens do sensor Landsat, sugerindo altos níveis de fragmentação da vegetação.

Apesar da disponibilidade atual de diversos dados de sensoriamento remoto, notadamente as imagens de satélites com diferentes resoluções espaciais, espectrais e temporais, não foi encontrado nenhum trabalho em escala de semidetalhe que tenha mapeado a distribuição atual da FED com resultado satisfatório. Esse fato deve-se à dificuldade de discriminação de fitofisionomias do Cerrado a partir de imagens de satélite monotemporais devido à sazonalidade de determinadas espécies (SANO *et al.*, 2008), especialmente quando essas apresentam proximidade e semelhança na resposta espectral, como observado entre a FED e outras fitofisionomias florestais do Cerrado.

O objetivo do presente trabalho é identificar a possibilidade de discriminar as FED no Vão do Paranã a partir da análise espectral de imagens multitemporais do sensor Landsat ETM+. A hipótese assumida é de que o método de reflectância acumulada de imagens multitemporais possui capacidade maior do que cenas individuais para discriminação da FED, uma vez que permite a identificação da variação de perda de cobertura vegetal e alteração do dossel dentro do ciclo hidrológico.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo corresponde à microrregião do Vão do Paranã, localizada a nordeste do Estado de Goiás, entre as coordenadas 13,3° e 15,5° de latitude sul e entre 45,5° e 47,5° de longitude oeste. O Vão do Paranã está totalmente inserido na bacia hidrográfica do rio Paranã, sub-bacia do rio Tocantins, possui uma área de aproximadamente 17.000 km<sup>2</sup> e é composto por 12 municípios. A altitude na área varia entre 400 m e 1.000 m e, em termos geológicos, predominam as rochas calcárias do Grupo Bambuí (BRASIL, 1982). Dados de série histórica de precipitação referente ao período de 1969 a 2005 de quatro estações pertencentes à Agência Nacional de Águas – ANA (2008), localizadas nos municípios de São Domingos, Sítio d'Abadia e Posse, indicam uma precipitação anual média de 1.190 mm, sendo que no período de seca (principalmente junho, julho, agosto e setembro) a precipitação é próxima a zero.

Para a análise multitemporal da reflectância da FED, foram utilizadas imagens do sensor ETM+ do Landsat 7 de órbitas/ponto 220/69, 220/70 e 221/70, com datas entre abril (época de chuva) e julho (época de seca), uma por mês, todas do ano de 2001 (com exceção da imagem de órbita/ponto 221/70 do mês de abril que, por inexistência de imagens do ano de 2001, foi substituída por uma do ano de 2002). A correção atmosférica nas imagens foi feita a partir do módulo FLAASH, o qual é baseado no pacote computacional de correção atmosférica denominada de MODTRAN-4, disponível no ENVI 4.3<sup>TM</sup>, utilizando-se do modelo de atmosfera tropical, com visibilidade de 100 km, sem restauração de aerossol e modelo ISAACS de dispersão múltipla. Após a correção atmosférica, as imagens foram georreferenciadas no sistema de projeção UTM (Zona 23 Sul) e datum WGS 84, com base em imagens *geocover*. O erro quadrático médio (RMS) do registro de todas as cenas foi inferior a 0,5 pixels.

Em seguida, foi gerado um mosaico de imagens das três cenas de abril por meio de equalização de histogramas. Esses procedimentos foram repetidos para as cenas de maio, de junho e de julho. Os mosaicos de maio, junho e julho foram normalizados tendo como referência, o mosaico de abril. Os valores de reflectância dos quatro mosaicos confeccionados foram somados mês a mês e banda a banda. Por hipótese, a capacidade de discriminação de FED no mosaico com reflectância acumulada é maior do que qualquer outro mosaico individual. O mosaico final (abril+maio+junho+julho) com a reflectância acumulada e normalizada foi processado por meio da técnica de segmentação por crescimento de regiões, disponível no aplicativo SPRING 5.0. Nesse estudo, os valores de similaridade e área foram

iguais a 30. Os segmentos foram classificados pelo método do ISOSEG, convertidos para o formato *tif* (*tagged image file format*) e exportados para o aplicativo *ArcGis* 9.3.

No *ArcGis* 9.3, os segmentos correspondentes à FED foram mapeados na tela do monitor do computador por meio da análise visual das composições coloridas RGB das bandas 4, 5 e 7 do sensor ETM+, em uma escala de visualização correspondente a 1:100.000. O padrão espectral da referida fitofisionomia foi determinado a partir de um conjunto com 45 pontos de localização no campo de FED disponibilizados pelo projeto intitulado “Conservação das Florestas Estacionais Deciduais do Vale do Paranã”, coordenado pela Embrapa Recursos Genéticos (dados não publicados). Em seguida, o mapeamento preliminar foi refinado com base em uma campanha de campo conduzido nos dias 20 e 21 de outubro de 2008, em que foram visitados 67 pontos nos municípios de Alvorada do Norte, Divinópolis de Goiás, Flores de Goiás, Guarani de Goiás, Iaciara, Posse e São Domingos.

De posse do mapa de FED baseado nas imagens do ano de 2001, o limite dos fragmentos foi atualizado com imagens do ano de 2007. As imagens foram utilizadas apenas para avaliação da alteração ocorrida nos fragmentos mapeados, principalmente no seu entorno. Para isso, foi sobreposto o arquivo de FED do ano de 2001 com imagens do satélite LANDSAT TM+ 5 do ano de 2007, possibilitando a redefinição dos limites por meio de análise visual na escala 1:100.000 no programa *ArcGis* 9.3. Esta etapa permitiu a elaboração de um mapa do estado atual da FED no Vão do Paranã, aqui denominado “Mapa de ocorrência de FED no Vão do Paranã do ano de 2007 na escala 1:100.000”.

A validação do mapa de ocorrência atual foi feita com base no método de exatidão global (ESPÍRITO SANTO e SHIMABUKURO, 2005), com duas classes de interesse: FED e NÃO FED. Foi considerado um percentual de exatidão de 85% com erro de 5%, o que implica, segundo Jensen (1996), em um número mínimo de 204 pontos amostrais.

Os pontos foram selecionados a partir da conversão da poligonal do Vão do Paranã em uma grade regular com 1907 pixels de 3 km x 3 km. De posse dos pontos centróides de cada pixel, foram sorteados aleatoriamente 270 pontos, os quais foram exportados para o programa *Google Earth*® em formato *kml* para verificação de uso e cobertura (SIMARD *et al.*, 2008; MONTESANO *et al.*, 2009), especialmente no que diz respeito às classes de pastagem, mata galeria e formações campestres. Os pontos não discriminados nas imagens de satélite de alta resolução (essencialmente as formações florestais) foram visitados em campo, conduzido nos dias 30 de agosto a 02 de setembro de 2010. As imagens do programa *Google Earth*® utilizadas na validação possuem resolução de 2,5 e 10 metros, são provenientes do sensor Spot e possuem data de passagem entre 12/03/2009 e 21/02/2010.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 é mostrado o potencial da reflectância acumulada no mapeamento de FED do Vão do Paranã. Os pontos do gráfico correspondem à média das reflectâncias de quatro pontos de FED e mais quatro pontos de Cerrado Típico, selecionados aleatoriamente da campanha de campo realizada em outubro de 2008.

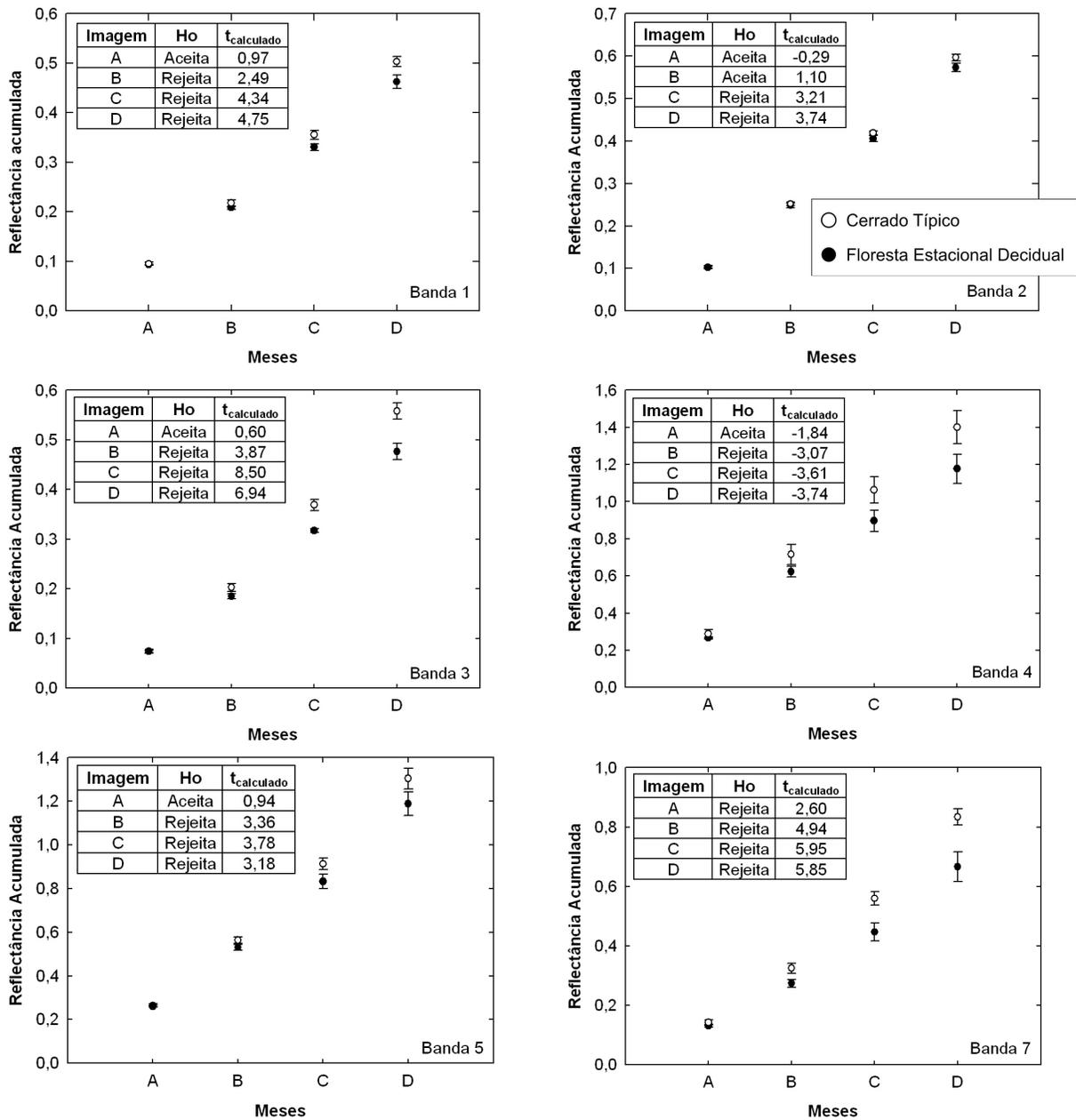


Figura 1 – Média (círculos) e desvio padrão (barras horizontais) da reflectância acumulada da FED e do Cerrado Típico nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do satélite LANDSAT ETM+, no período de abril a julho. A = abril; B = abril + maio; C = abril + maio + junho; D = abril + maio + junho + julho; Ho = teste de hipótese (valores médios das reflectâncias da FED e do Cerrado Típico são iguais), considerando-se grau de liberdade = 6 e t<sub>crítico</sub> = 2,45.

A reflectância acumulada ao longo do período considerado (abril a julho) foi maior para o Cerrado Típico, em comparação com a FED, em todas as bandas do LANDSAT analisadas. Provavelmente este fato foi decorrente da exposição maior do substrato rochoso (rochas calcárias escuras) e ausência de vegetação verde nas áreas com FED, durante a estação seca, onde há uma perda significativa de folhas (~90%; RIBEIRO e WALTER, 2008). Além disso, as FED tendem a apresentar maior rapidez nas mudanças de índices de área foliar no início da estação seca, em comparação com as de outras fitofisionomias (LIESENBERG *et al.*, 2007).

A capacidade melhorada de discriminação de alvos foi comprovada por meio da aplicação do teste  $t$  de *Student*, que consiste em uma análise estatística que testa a igualdade entre duas médias. O nível de significância utilizado foi igual a 5%.

O teste  $t$  indicou que não é possível discriminar as duas fitofisionomias em uma única imagem de abril nas bandas 1 a 5. No entanto, à medida que as reflectâncias médias de abril, maio, junho e julho são acumuladas progressivamente, a capacidade de separação espectral melhorou sensivelmente. O Cerrado Típico apresentou valores acumulados de reflectância mais altos em relação aos da FED, o que já era esperado. Para as imagens individuais de maio, junho e julho, as estatísticas do teste  $t$  indicaram que essas imagens possuem capacidade de discriminar as duas fitofisionomias analisadas, provavelmente pelo fato das diferenças fenológicas entre as duas fitofisionomias analisadas na época da seca, mas a resposta dos alvos apresenta-se bastante próxima.

O resultado do teste  $t$  na banda 7 mostrou que é possível diferenciar as duas fitofisionomias em uma única imagem de abril. Esse fato deve-se, provavelmente, à sensibilidade nessa faixa espectral (2,08 – 2,4  $\mu\text{m}$ ) à resposta de minerais e rochas, fazendo com que haja grande absorção da radiação eletromagnética (REM) pelo calcário exposto nas áreas de FED, diminuindo sua reflectância e fazendo com que exista contraste em relação às áreas de Cerrado Típico. Já na banda 3 (0,63 - 0,69  $\mu\text{m}$ ), a resposta espectral da FED e do Cerrado Típico apresentou comportamento oposto ao esperado, uma vez que a vegetação do Cerrado Típico (verde, densa e uniforme), deveria apresentar-se escura devido à grande absorção da REM, resultando em baixa reflectância em relação à FED, que possui pequena quantidade de clorofila devido à deciduidade acentuada. Esse comportamento, provavelmente, também se deve à presença de calcário exposto em áreas de FED, fazendo com que essa apresente menor reflectância devido à grande absorção da REM pelas rochas.

Por problemas de cobertura de nuvens, não foi possível incluir as imagens dos meses de agosto e setembro, nas quais, teoricamente, as diferenças espectrais entre os dois alvos analisados seriam ainda mais acentuadas devido ao auge da estação seca na região do Cerrado. Uma projeção com base nos dados de abril a julho, feita a partir de regressão linear, confirmou esse aumento na capacidade de discriminação das duas classes.

O mapa de ocorrência de FED no Vão do Paranã do ano de 2007 na escala 1:100.000, elaborado com base na metodologia de reflectância acumulada, pontos de controle de campo e observação em imagem de satélite, mostrou que, atualmente, existem na região aproximadamente 190.000 hectares dessa fitofisionomia, distribuídos essencialmente na região centro-norte do Vão do Paranã de forma fragmentada (Figura 2).

Em campo foram observadas ocorrências na porção sudeste do Vão do Paranã, sobre calcários, mas os fragmentos encontrados apresentam-se bastante espaçados, pouco densos (provavelmente queimados em várias situações e com coleta seletiva) e com tamanho reduzido a pequenas manchas. Essas características ocorrem principalmente em função da área ser bastante plana e com intensa atividade pecuária, o que proporcionou intenso desmatamento.

Dessa forma, apesar da ocorrência de FED comprovada pela presença de fragmentos testemunhos, o mapa de distribuição do ano de 2007 elaborado na escala 1:100.000 não incluiu essas áreas.

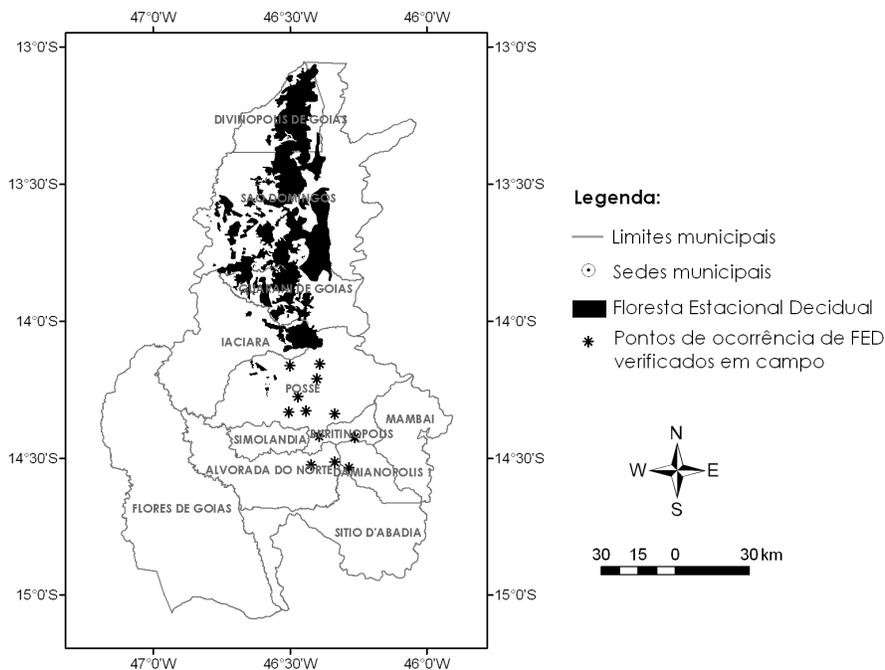


Figura 2 – Localização da FED no Vão do Paranã no bioma Cerrado. Elaboração própria.

Dos 274 pontos sorteados aleatoriamente para avaliar a acurácia do mapeamento a partir do método de exatidão global, cinco foram excluídos por falta de informação nas imagens de alta resolução ou pela impossibilidade de acesso em campo, 251 foram classificados a partir de análise visual das imagens de satélite de alta resolução provenientes do *Google Earth*® (classes: pastagem, mata de galeria, agricultura, campo sujo e campo limpo) e 18 foram verificados em campo ao longo de toda a área de estudo. Dos 269 pontos válidos, 244 foram mapeados corretamente, fazendo com que a exatidão global do mapeamento seja de 90,7%, como observado na matriz de confusão (Tabela 1).

Tabela 1 – Matriz de Confusão

Mapeamento	Dados de campo		
	FED	Não FED	Total
FED	13	9	22
Não FED	16	231	247
Total	29	240	244

A concentração de ocorrências de FED no Vão do Paranã na porção centro-norte e o alinhamento preferencial na direção norte-sul fornecem indícios de que há um acentuado controle geoambiental dessas ocorrências. Nesse mapeamento, foram incluídas as FED localizadas tanto em áreas planas como em afloramentos rochosos, em todos os estágios de sucessão ecológica (inicial, intermediário e tardio), uma vez que a diferenciação desses estágios é difícil de ser analisada em imagens orbitais, como comprovado no trabalho de Amaral *et al.* (2009).

#### 4. CONCLUSÕES

Tomando-se como base o conhecimento de campo e a estrutura e características das áreas ocorrência, é possível identificar a FED com imagens monotemporais do LANDSAT. No entanto, há confusão espectral na época de chuva com algumas fitofisionomias florestais, como o Cerrado Típico, principalmente para ocorrências de FED em áreas planas.

A diferenciação entre a FED e fisionomias florestais a partir do método de reflectância acumulada mostrou-se eficiente, uma vez que considera o comportamento da vegetação ao longo do ciclo hidrológico. Os resultados obtidos indicam que, caso haja disponibilidade de imagens dos meses de agosto e setembro, essa capacidade de diferenciação será ainda maior, uma vez que nos referidos meses a FED apresenta maior estresse hídrico e, por consequência, maior deciduidade.

Estudos mais aprofundados a respeito da resposta espectral dos parâmetros biofísicos da FED devem ser feitos para maior compreensão do comportamento espectral dessa fitofisionomia nas bandas 3 e 7. Por hipótese, assume-se que a alta reflectância da FED nessas bandas deve-se à presença de calcário exposto influenciando na resposta da vegetação.

O mapa final de localização da Mata Seca no Vão do Paranã mostrou que as áreas remanescentes representadas por grandes fragmentos (maiores que 1.000 ha) estão localizadas principalmente sobre os afloramentos rochosos, fato justificado pela dificuldade de extração da vegetação sobre o subsolo rochoso. Apesar disso, foi observado em campo que grande parte dessas áreas sofreu coleta seletiva de espécies com alto valor econômico e, atualmente, encontram-se em diferentes níveis de degradação.

A metodologia adotada apresentou deficiências no mapeamento da FED em função da escala adotada (1:100.000), que inviabilizou o mapeamento de áreas com FED distribuídas de forma esparsa. Dessa forma, a densidade da floresta foi fator determinante para o mapeamento na escala utilizada.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, M. V. F.; SOUZA, A. L.; SOARES, V. P.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; MARTINS, S. V.; FERNANDES FILHO, E. I.; LANA, J. M. Avaliação e comparação de métodos de classificação de imagens de satélites para o mapeamento de estádios de sucessão florestal. **Revista Árvore**, v.33, n.3, p.575-582, 2009.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Hidroweb – Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>. Acesso em: 10 out. 2008.

ARAÚJO FILHO, M. C.; MENESES, P. R.; SANO, E. E. Sistema de classificação de uso e cobertura da terra com base na análise de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, p. 171-179, 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SD.23 Brasília; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 660p., 5 mapas (Levantamento de Recursos Naturais, 29). 1982.

ESPÍRITO-SANTO, F. D. B.; SHIMABUKURO, Y. E. Validação do mapeamento de uma área de floresta tropical com o uso de imagens de videografia aérea e dados de levantamento de campo. **Revista Árvore**, v.29, n.2, p.227-239, 2005.

FELFILI, J. M.; FAGG, C. W. Floristic composition, diversity and structure of the Cerrado sensu stricto on rocky soils in northern Goiás and southern Tocantins, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.30, n.3, p.375-385, 2007.

FELFILI, J. M.; CARVALHO, F. A.; FAGG, C. W. **Recuperação de matas secas e vegetações associadas no Vale do Paranã, Goiás**. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, 32p. 2007.

- JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. 2<sup>nd</sup> Edition. NJ: Prentice-Hall. 1996.
- KALACSKA, M.; BOHLMAN, S.; SANCHEZ-AZOFEIFA, G. A.; CASTRO-ESAU, K.; CAELLI, T. Hyperspectral discrimination of tropical dry forest lianas and trees: Comparative data reduction approaches at the leaf and canopy levels. **Remote Sensing of Environment**, v.109, n.4, p.406-415, 2007.
- LIESENBERG, V.; GALVÃO, L. S.; PONZONI, F. J. Variations in reflectance with seasonality and viewing geometry: Implications for classification of Brazilian savanna physiognomies with MISR/Terra data. **Remote Sensing of Environment**, v.107, n.1-2, p.276-286, 2007.
- MONTESANO, P. M.; NELSON, R.; SUN, G.; MARGOLIS, H.; KERBER, A.; RANSON, K. J. MODIS tree cover validation for the circumpolar taiga-tundra transition zone. **Remote Sensing of Environment**, v.113, p. 2130-2141, 2009.
- NASCIMENTO, A. R. T.; FAGG, J. M. F.; FAGG, C. W. Canopy openness and LAI estimates in two seasonally deciduous forests on limestone outcrops in central Brazil using hemispherical photographs. **Revista Árvore**, v.31, n.1, p.167-176, 2007.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Ed. Parêntese, 130p. 2009.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: Ecologia e Flora**. Planaltina: Embrapa Cerrados; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, v.1., 2008.
- SALIS, S. M.; SILVA, M. P.; MATTOS, P. P.; SILVA, J. S. V.; POTT, V. J.; POTT, A. Fitossociologia de remanescentes de floresta estacional decidual em Corumbá, Estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.27, n.4, p.671-684, 2004.
- SAMPAIO, A. B.; SCARIOT, A.; HOLL, K. Regeneration of seasonal deciduous forest tree species in long-used pastures in Central Brazil. **Biotropica**, v. 39, p. 655-659, 2007.
- SANCHEZ-AZOFEIFA, G. A.; HARRISS, R. C.; SKOLE, D. L. Deforestation in Costa Rica: a quantitative analysis using remote sensing imagery. **Biotropica**, v.33, n.3, p.378-384, 2001.
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.153-156, 2008.
- SCARIOT, A.; SEVILHA, A. C. Biodiversidade, estrutura e conservação de Florestas Estacionais Deciduais no Cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUZA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (Eds.). **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2005.
- SILVA, L. A.; SCARIOT, A. Composição florística e estrutura da comunidade arbórea em uma floresta estacional decidual em afloramento calcário (Fazenda São José, São Domingos, GO, bacia do rio Paranã). **Acta Botânica Brasileira**, v.17, n.2, p.305-313, 2003.
- SIMARD, M.; RIVERA-MONROY, V. H.; MANCERA-PINEDA, J. E.; CASTAÑEDA-MOYA, E.; TWILLEY, R.R. A systematic method for 3D mapping of mangrove forests based on Shuttle Radar Topography Mission elevation data, ICESat/GLAS waveforms and field data: Application to Ciénaga Grande de Santa Marta, Colômbia. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.2131-2144, 2008.
- VIEIRA, D. M.; SCARIOT, A. Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration. **Restoration Ecology**, v.14, n.1, p.11-20, 2006.