

## Discriminação de Cerrado Rupestre no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros: uso de imagens multitemporais do Landsat

Erika Regina Prado do Nascimento <sup>1a</sup>

Edson Eyji Sano <sup>1b</sup>

<sup>1</sup> Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA  
SCEN - Trecho 2 Ed. Sede do IBAMA, Brasília – DF, Brasil, CEP 70818-900

<sup>a</sup> Diretoria de Proteção Ambiental - DIPRO  
Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais - Prevfogo  
Núcleo de Pesquisa e Monitoramento - NPM  
erika.nascimento@ibama.gov.br

<sup>b</sup> Diretoria de Proteção Ambiental - DIPRO  
Centro de Sensoriamento Remoto - CSR  
edson.sano@ibama.gov.br

**Abstract.** The Rupestrian Cerrado (Cerrado Rupestre) corresponds to a shrub-like vegetation of the Brazilian tropical savanna biome, occurs mainly over hilly topography and rocky quartzite and sandstone outcrops, presents high biodiversity and several endemic species, and acts as barrier for agricultural expansion. In the State of Goiás, large occurrences of this type of vegetation are found in the Chapada dos Veadeiros National Park (PNCV – *Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros*). Rupestrian Cerrado mapping using remotely sensed data is difficult because of the spectral confusion with other phytophysionomies, especially with Dry Forest in dry season images and with Cerrado *strictu sensu* in wet season images. The goal of this study was to develop a new approach to discriminate Rupestrian Cerrado based on multitemporal Landsat satellite images. We found 24,451 hectares of Rupestrian Cerrado, which corresponds to 37% of total area of the park. The global accuracy of the mapping was 83,19%.

**Palavras-chave:** Acurácia global, fitofisionomias, discriminação, The global accuracy, phytophysionomies, discrimination.

### 1. Introdução

O Cerrado Rupestre corresponde a uma das fitofisionomias representativas do bioma Cerrado e é típico de ambientes rupestres, os quais englobam cerca de 7% da região de domínio do referido bioma (Reatto *et al.*, 2008). O Cerrado Rupestre apresenta grau relativamente elevado de conservação, pois ocorrem sob condições topográficas e edáficas peculiares, isto é, elevadas altitudes e em solos rasos e com elevado número de afloramentos de rochas de quartzito e arenito. Conseqüentemente, as suas áreas de ocorrência atuam como importantes barreiras para a expansão agrícola no Cerrado e para a conservação da vida silvestre do bioma. Além disso, esses ambientes são ricos em biodiversidade, apresentando alto grau de endemismo e várias espécies vegetais raras (Oliveira-Filho & Fluminhan-Filho 1999; Simon & Proença 2000).

Estudos anteriores têm mostrado certa dificuldade em discriminar fitofisionomias do Cerrado por meio de imagens ópticas. Por exemplo, Sano *et al.* (2005) analisaram o desempenho dos índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e realçado (EVI), derivados de imagens do satélite Landsat para discriminar classes de cobertura vegetal presentes no Parque Nacional de Brasília. Somente dois grupos de cobertura vegetal puderam ser separados: um, formado pela Mata de Galeria e o outro, formado pelas formações campestres e savânicas. Lima *et al.* (2009) também mencionaram confusão espectral entre Cerrado Rupestre, Cerrado sentido restrito, Mata Seca semidecídua e Mata Seca decídua em imagens do Landsat da Área de Proteção Ambiental Pouso Alto, Goiás. Tais dificuldades estão associadas com a elevada sazonalidade climática e com a transição gradual entre as

fitofisionomias do Cerrado. Alguns autores têm buscado alternativas para obter discriminação espectral de fitofisionomias do Cerrado com acurácia maior. Liesenberg *et al.* (2007) analisaram dados do MISR (*Multi-Angle Imaging SpectroRadiometer*), a bordo da plataforma Terra e com capacidade de imageamento em nove ângulos distintos de incidência, para discriminar cinco fitofisionomias presentes nos limites dos estados de Minas Gerais e da Bahia.

Considerando-se a necessidade de se realizar pesquisas que se referem às técnicas de mapeamento de Cerrado Rupestre, novas abordagens metodológicas baseadas em imagens com resolução espacial decimétrica (família do Landsat ou similar) ainda precisam ser desenvolvidas e testadas no sentido de se obter discriminação melhorada de fitofisionomias do Cerrado. O estudo teve como objetivo principal apresentar uma nova abordagem metodológica para discriminar Cerrado Rupestre do PNCV com base em imagens multitemporais do satélite Landsat.

## 2. Metodologia de Trabalho

O PNCV, com uma extensão de 65.514 hectares, está localizado no segmento nordeste do estado de Goiás, entre as latitudes 13°51'S e 14°10'S e entre as longitudes 47°25' e 47°42'W. Abrange os municípios de Alto Paraíso de Goiás, Cavalcante e Terezina de Goiás (ao norte) e Colinas do Sul (a oeste) (Figura 1).

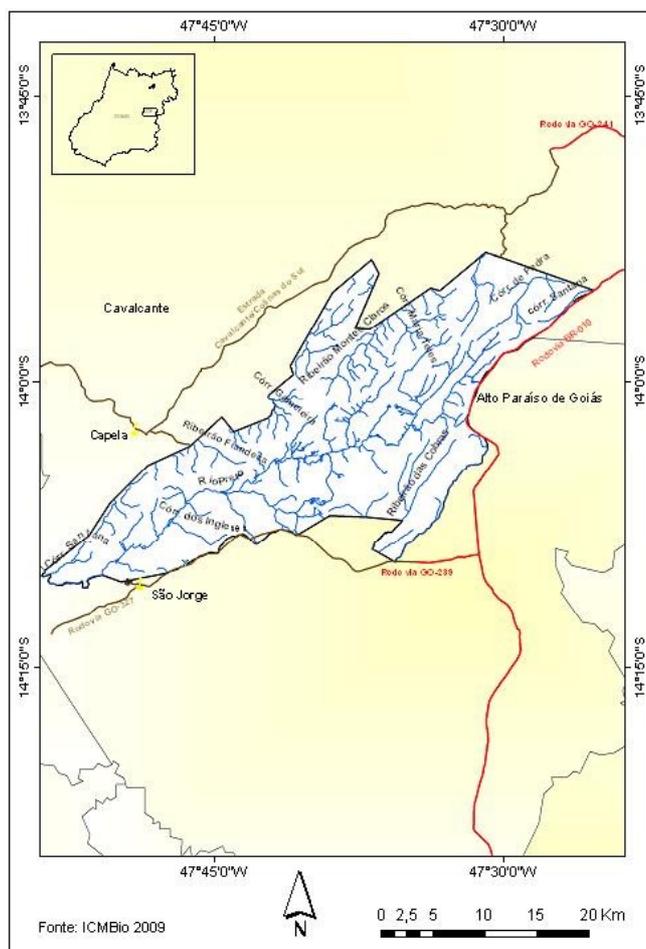


Figura 1. Localização da área de estudo no estado de Goiás.

Foram obtidas da página eletrônica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>), sete cenas do Landsat ETM+ de 2001 e 2002, correspondentes à órbita 221 e ponto 70 das datas de 02/06/01, 20/07/01, 06/09/02, 22/09/01,

05/06/02, 23/07/02 e 11/10/02 . As cenas foram adquiridas nos meses de junho, julho, setembro e outubro. De acordo com a série histórica (1984-2003) de dados Landsat do Cerrado, o período de maio a outubro é o que apresenta maior probabilidade – superior a 40% - de se obter imagens Landsat desse bioma com menos de 10% de cobertura de nuvens (Sano et al., 2007). Estimativas visuais de cobertura de nuvens indicaram uma porcentagem de cobertura de nuvens sobre a área de estudo de até 20% em duas cenas. Nesse estudo, preferiu-se não utilizar outras imagens do Landsat TM, disponíveis na área de estudo e sem cobertura de nuvens, por causa das dificuldades em convertê-los em reflectância de superfície. Testes detalhados que foram conduzidos em uma cena de 2008 não mostraram resultados satisfatórios, provavelmente por causa de valores de ganho e *off-set* que não estão mais confiáveis, de acordo com Vicente-Serrano et al. (2008).

Foi utilizado também um mosaico de imagens ortoretificadas do parque com equalização de histogramas e com 1 metro de resolução espacial, composto de 12 imagens Ikonos dos meses de junho e julho de 2003 e três imagens QuickBird de 11 de junho de 2003. Todos os processamentos efetuados para a geração desse mosaico foram conduzidos pela Geoambiente Sensoriamento Remoto™ (Geoambiente, 2005).

Cada imagem original do Landsat ETM+ foi inicialmente convertida em radiância no topo da atmosfera por meio do aplicativo ENVI 4.5. Os principais dados exigidos na etapa de conversão foram: data e horário da passagem do satélite; coordenadas centrais da cena; ângulo de elevação solar; altitude média do terreno; valores de ganho e offset; e condições da atmosfera no momento da passagem do satélite (visibilidade; concentração de gases e aerossóis). Nesse trabalho, esse procedimento foi feito banda a banda (total: seis bandas) para as sete cenas utilizadas no estudo. Os parâmetros de ganho e offset do satélite Landsat foram obtidos no seguinte endereço eletrônico: [http://landsat.usgs.gov/science\\_L7\\_cpf.php](http://landsat.usgs.gov/science_L7_cpf.php).

Em seguida, as imagens de radiância no topo da atmosfera foram convertidas para reflectância na superfície terrestre por meio do algoritmo denominado FLAASH disponível no ENVI 4.5. Por causa de especificidades em termos de unidades dos parâmetros de entrada do FLAASH (algoritmo de correção atmosférica disponível no ENVI), as unidades de radiância foram convertidas de  $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$  para  $\mu W/(cm^2 \cdot sr \cdot nm)$ . Em termos práticos, basta dividir o valor de radiância resultante de cada banda por 10. Para cada cena, foram inseridas as informações referentes à altitude nominal do sensor, data e hora do voo e coordenadas centrais de cada cena. A elevação média do terreno no parque foi assumida como sendo de 1,5 km. O modelo atmosférico usado foi o tropical e o modelo de aerossol foi o rural. O fator multiplicador da coluna d'água utilizado foi 1 e a visibilidade inicial adotada foi de 100 km.

Dados de reflectância das sete cenas foram somados uma a uma e em cada cena banda a banda por meio da opção *band math*, disponível no aplicativo ENVI. As imagens com reflectância acumulada das seis bandas do Landsat foram segmentadas pela técnica de crescimento de regiões. Após vários testes com diferentes valores, foram utilizados os seguintes limiares de similaridade e tamanho de área: 50 e 30, respectivamente. Os segmentos gerados foram exportados no formato *shape*. Foram gerados 4.046 polígonos, variando de 1,4 a 2.735 hectares.

Posteriormente, dados de reflectância de sete cenas foram somados uma a uma e banda a banda por meio da opção *math*, disponível no aplicativo ENVI, conforme mostrada na equação abaixo:

$$\rho_a = \sum_{i=1}^n \rho_i \quad (1)$$

onde  $\rho_a$  = reflectância acumulada de uma determinada banda;  $i = i$ -ésima cena de observação;  $n$  = número de cenas utilizadas para a obtenção da reflectância acumulada; e  $\rho_i$  = reflectância de uma determinada cena e determinada banda.

Com o objetivo de identificar um maior número possível de ocorrências de Cerrado Rupestre no parque para subsidiar a interpretação de imagens, um trabalho de campo foi conduzido no PNCV no período de 07 a 08 de maio de 2009. Com base nessa chave de interpretação, os segmentos correspondentes a Cerrado Rupestre foram identificados visualmente na tela de computador. Para isso, os segmentos no formato vetorial foram sobrepostos na composição colorida RGB/453. A escala de mapeamento na tela foi de 1:40.000.

Nesse estudo, o processo de validação foi feito gerando-se uma grade regular de pontos sobre o parque com espaçamento de 30 segundos (~ 925 metros), num total de 781 pontos. Por meio de inspeção visual do mosaico de imagens do Ikonos e QuickBird, cada ponto foi identificado como “Cerrado Rupestre” ou “Não-Rupestre”. Do total de 781 pontos, 79 pontos foram desconsiderados por apresentar grau de incerteza baixo na referida identificação. Validação refere-se a um processo de avaliação, por meio de um método independente, da qualidade de um produto gerado (Justice et al., 2000). Nesse contexto, mapas ou interpretações produzidos por sensores ETM<sup>+</sup> ou similares, com resolução espacial decimétrica, podem ser validados, por exemplo, por meio de campanhas de campo, fotografias aéreas ou imagens com resolução espacial mais fina (Morissette et al., 2003).

O total de 781 pontos é aproximadamente 3,4 vezes superior ao número mínimo de pontos ( $N$ ), o qual pode ser determinado conforme a relação indicada por Jensen (1996):

$$N = \frac{4(p)(q)}{E^2} \quad (2)$$

onde  $p$  = percentual de exatidão esperado;  $q = 1 - p$ ; e  $E$  = erro permissível. Para um percentual de exatidão de 85% e um erro admissível de 5%, o número mínimo de pontos é igual a 204.

Esses pontos discriminados foram sobrepostos ao mapa de ocorrência de Cerrado Rupestre do PNCV para se calcular a matriz de confusão do mapeamento final. A matriz de confusão estima o erro global do mapeamento para cada categoria (Brites et al., 1996; Campbell, 2007).

### 3. Resultados e Discussão

As curvas espectrais acumuladas das reflectâncias das sete cenas para três coberturas de terras do parque indicam uma grande melhoria no potencial para discriminar fitofisionomias do Cerrado. Percebe-se uma clara dificuldade em discriminar as três classes espectrais em qualquer uma das cenas individuais analisadas no período de junho a outubro (estação seca). No entanto, quando as respostas espectrais são acumuladas, o poder de discriminação dos alvos tende a aumentar. Quanto maior o número de cenas, maior é a capacidade de discriminação. Essa capacidade maior de separabilidade foi mais clara para as bandas 4, 5 e 7 (Figura 2).

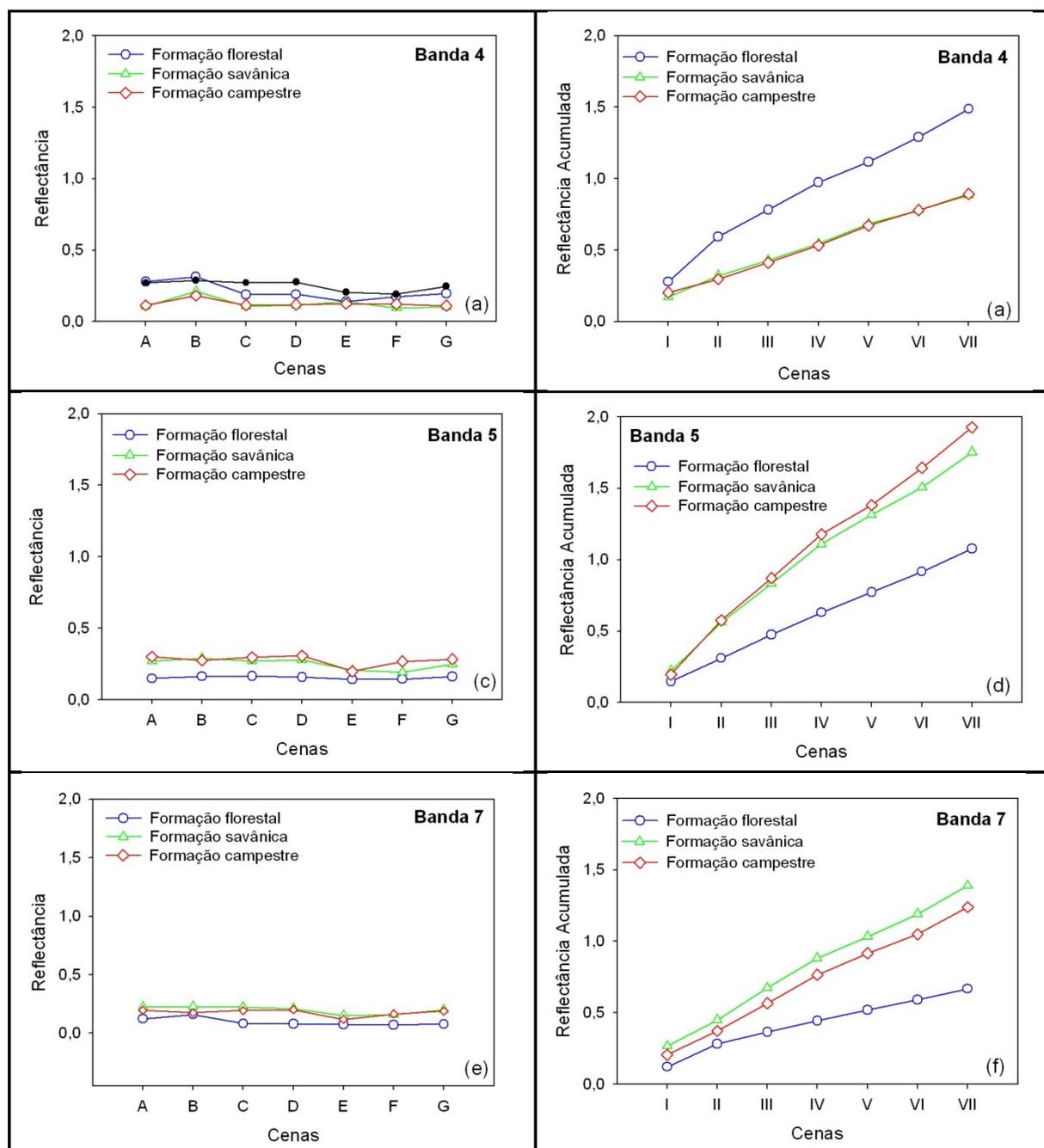


Figura 2. Reflectâncias individual e acumulada das bandas 4, 5 e 7 do Landsat ETM+ para sete cenas e três classes de cobertura de terras do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e adjacências. Datas de passagem: A = 02/06/2001; B = 20/07/2001; C = 06/09/2001; D = 22/09/2001; E = 05/06/2002; F = 23/07/2002; e G = 11/10/2002. I = A; II = A+B; III = A+B+C; IV = A+B+C+D; V = A+B+C+D+E; VI = A+B+C+D+E+F; e VII = A+B+C+D+E+F+G.

Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Ratana et al. (2005) que analisaram índices de vegetação (NDVI, índice de vegetação normalizada pela diferença e EVI, índice de vegetação realçado) derivados do sensor MODIS e acumulados para o período de janeiro a dezembro. De acordo com esses autores, as formações campestres e savânicas do Cerrado tendem a apresentar um perfil sigmoidal devido à elevada sensibilidade dessas formações à sazonalidade climática. As formações florestais tendem a apresentar curvas mais retilíneas e com índices de vegetação mais altos.

A partir da análise visual da composição colorida RGB/457 da imagem de reflectância acumulada do Landsat, segmentada pela técnica de segmentação por crescimento de regiões, foram identificados 24.451 hectares de Cerrado Rupestre no PNCV, o que corresponde a 37% da área do parque (Figura 3). Tais áreas encontram-se distribuídas ao longo de toda a área de estudo, notadamente ao longo de um eixo longitudinal NE-SW que passa aproximadamente pelo centro do parque.

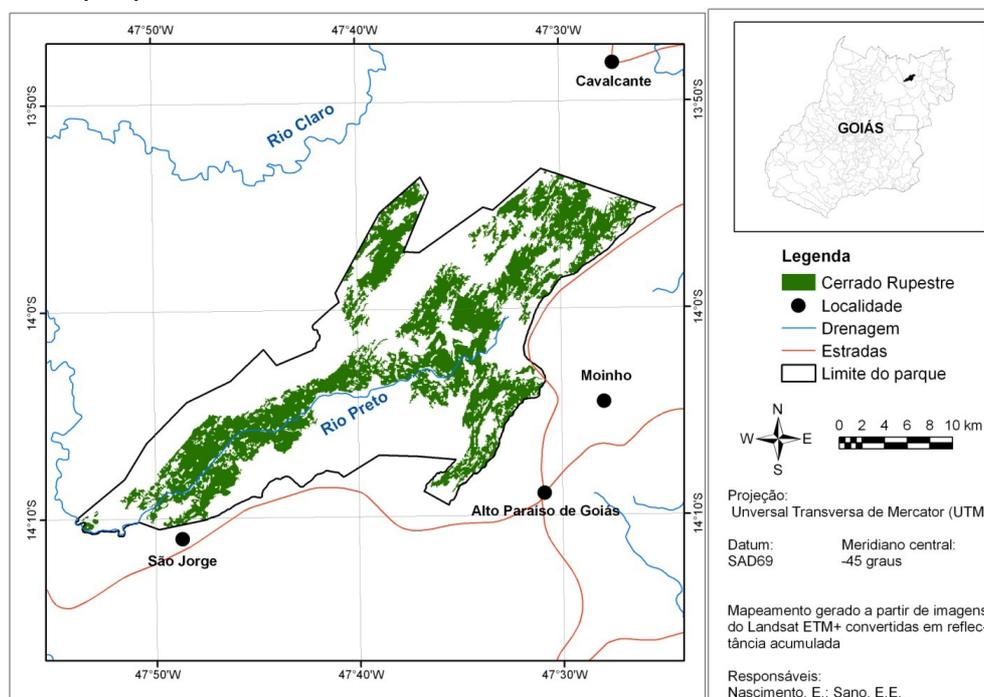


Figura 3. Mapa de ocorrência de Cerrado Rupestre no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, elaborado a partir de interpretação visual de imagens do Landsat ETM+ convertida em reflectância acumulada.

O índice de exatidão global do mapeamento das áreas de Cerrado Rupestre no PNCV foi de 83% (Tabela 1). De um total de 702 pontos identificados no mosaico do Ikonos e QuickBird, 584 pontos foram mapeados corretamente. Os erros de omissão e de comissão foram de 11% e 27%, respectivamente. São considerados erros de omissão, aqueles pontos que realmente correspondem a Cerrado Rupestre e que foram mapeados como “Não-Rupestre”. São considerados erros de comissão, aqueles pontos que não correspondem a Cerrado Rupestre e que foram mapeados como tal.

Tabela 1. Análise da exatidão global e erros de omissão e comissão do mapa de ocorrência de Cerrado Rupestre no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. A verdade terrestre foi obtida a partir da análise visual de mosaico de imagens do Ikonos e QuickBird.

|                                 |                      | Verdade Terrestre |                      |          |
|---------------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|----------|
|                                 |                      | Cerrado Rupestre  | Cerrado Não-Rupestre | SUBTOTAL |
| Interpretação de Imagem Landsat | Cerrado Rupestre     | 277               | 33                   | 310      |
|                                 | Cerrado Não-Rupestre | 85                | 307                  | 392      |
|                                 | SUBTOTAL             | 362               | 340                  | 702      |

De acordo com Lima (2008), em termos espectrais, Cerrado Rupestre confunde principalmente com a Mata Seca e o Cerrado sentido restrito. Outro fator que contribui para a diminuição da exatidão global é a transição gradual e complexa do Cerrado Rupestre para as fisionomias adjacentes (Oliveira-Filho & Fluminhan-Filho, 1999). De acordo com Ribeiro & Walter (2008), o Cerrado Rupestre ocorre em ilhas mescladas às outras fitofisionomias de formação savânica. Numa toposequência, é comum encontrarem Cerrado Rupestre nas porções mais elevadas e Mata Seca ou Cerrado sentido restrito nas porções mais intermediárias e baixas, dificultando a discriminação de Cerrado Rupestre nas imagens Landsat (Lima, 2008).

#### 4. Conclusões

A técnica de correção atmosférica pelo FLAASH mostrou ser eficiente na conversão de valores de radiância do topo da atmosfera das imagens do Landsat ETM+ para reflectância na superfície terrestre, produzindo séries temporais relativamente homogêneas do Landsat, em termos de interferência atmosférica. No entanto, a referida conversão não funcionou a contento para imagens do Landsat TM a partir do ano de 2005 até o ano de 2008. Os dois principais fatores negativos que podem ter prejudicado um melhor desempenho do mapeamento final foi a impossibilidade de inclusão de imagens do sensor TM e a indisponibilidade de imagens ETM+ sem cobertura de nuvens da estação chuvosa na área de estudo.

Considerando ainda que o Cerrado Rupestre ocorre em áreas de relevo movimentado, formado por solos classificados em Neossolos Litólicos é interessante utilizar em trabalhos futuros informações topográficas que corroborem na delimitação de áreas de Cerrado Rupestre. Assim que um mapa confiável de cobertura vegetal do parque for disponibilizado, o desempenho da técnica de reflectância acumulada pode ser avaliado com melhor precisão com base em amostragens de pixels sobre ocorrências de Cerrado Rupestre, Cerrado Típico e Cerrado Denso.

#### Agradecimentos

Ao Instituto Brasileiro dos Recursos Naturais Renováveis - Ibama, ao Instituto Chico Mendes de Biodiversidade - ICMBio, à Universidade de Brasília - UnB, e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa.

#### Referências Bibliográficas

Brites, R.S.; Soares, V.P.; Ribeiro, C.A.A.S. Verificação da exatidão em classificações de uma imagem orbital mediante a utilização de três Índices. *Árvore*, v. 20, p. 415-424, 1996.

Campbell, J.B. **Introduction to Remote Sensing**. Nova Iorque: The Guilford Press, 4ª ed., 2007, 625 p.

Geoambiente. Projeto JICA (Corredor ecológico do Cerrado Paranã-Pirineus). **Metodologia empregada no processamento das imagens QuickBird, Ikonos e Aster**. São José dos Campos, 2005, 16 p. (relatório técnico não publicado).

Jensen, J.R. **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2ª ed., 318 p., 1996.

Justice, C.; Belward, A.; Morisette, J.; Lewis, P.; Privette, J.; Baret, F. Developments in the 'validation' of satellite sensor products for the study of land surface. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 21, p. 3383– 3390, 2000.

Lima, C.A. O Cerrado Rupestre no Estado de Goiás com base em imagens LANDSAT ETM+. 2008, 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

Lima, C.A.; Sano, E.E.; Pinto, J.R.R.; Bezerra, H.S. Uso de imagens Landsat para a discriminação de Cerrado Rupestre na Área de Proteção Ambiental Pouso Alto e no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 2785-2792. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7 Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.18.06.41/doc/2785-2792.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2009.

Morisette, J.T.; Nickeson, J.E.; Davis, P.; Wang, Y.; Tian, Y.; Woodcock, C.E.; Shabanov, N.; Hansen, M.; Cohen, W.B.; Oetter, D.R.; Kennedy, R.E. High spatial resolution satellite observations for validation of MODIS land products: IKONOS observations acquired under the NASA scientific data purchase. **Remote Sensing of Environment**, vol. 88, p. 100-110, 2003.

Oliveira-Filho, A.T.; Fluminhan-Filho, M.. Ecologia da vegetação do Parque Florestal Queda do Rio Bonito. **Cerne**, vol. 5, p. 51-64, 1999.

Ratana, P.; Huete, A.; Ferreira, L.G. Analysis of Cerrado physiognomies and conversion in the MODIS seasonal-temporal domain. **Earth Interactions**, v. 9, p. 1-22, 2005.

Reatto, A.; Correia, J.R.; Spera, S.T.; Martins, E.S. Solos do bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: Sano, S.M.; Almeida, S.P.; Ribeiro, J.F. (Org.), **Cerrado. Ecologia e Flora**. Planaltina, Embrapa Cerrados, v. 1, Cap. 5, p. 107-134.

Ribeiro, J.F.; Walter, B.M.T. 2008. As principais fitofisionomias do Cerrado. In: Sano, S.M.; Almeida, S.P.; Ribeiro, J.F. (Org.), **Cerrado. Ecologia e Flora**. Planaltina, Embrapa Cerrados, v. 1, Cap. 6, p. 151-199, 2008.

Sano, E.E.; Ferreira, L.G.; Huete, A.R. Synthetic aperture radar (L-band) and optical vegetation indices for discriminating the Brazilian savanna physiognomies: a comparative analysis. **Earth Interactions**, vol. 9, Paper n. 15, p. 1-15, 2005.

Sano, E.E.; Ferreira, L.G.; Asner, G.P.; Steinke, E.T. Spatial and temporal probabilities of obtaining cloud-free Landsat images over the Brazilian tropical savanna. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 28, n. 12, p. 2739-2752, 2007.

Schroeder, T.A.; Cohen, W.B.; Song, C.; Canty, M.J.; Yang, Z. Radiometric correction of multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon. **Remote Sensing of Environment**, vol. 103, p.16-26, 2006.

Vicente-serrano S.M.; Perez-cabello F.; Lasanta T. Assessment of radiometric correction techniques in analyzing vegetation variability and change using time series of Landsat images. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.3916-3934, 2008.