

## Mapeamento da cobertura vegetal natural e antrópica do bioma Cerrado por meio de imagens Landsat ETM+

Edson Eyji Sano <sup>1</sup>, Roberto Rosa <sup>2</sup>, Jorge Luís Silva Brito <sup>2</sup>, Laerte Guimarães Ferreira <sup>3</sup>,  
Heleno da Silva Bezerra <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Cerrados  
BR-020 km 18 Cx. Postal 08223 CEP: 73301-970 – Planaltina – DF  
{sano, heleno}@cpac.embrapa.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Uberlândia - UFU  
Av. João Naves de Ávila, 2121 – Campus Santa Mônica CEP: 38400-920 – Uberlândia – MG  
{rosa, jbrito}@ufu.br

<sup>3</sup> Universidade Federal de Goiás - UFG  
Campus Samambaia Cx. Postal 131 CEP: 74001-970 – Goiânia - GO  
laerte@iesa.ufg.br

**Abstract.** The Cerrado biome occupies 204,7 million hectares in the central part of Brazil. Mapping its land cover from satellite remote sensing is challenging because of its geographic extension, marked seasonality, highly dynamic and intensive land occupation, and spectral confusion between some natural and anthropogenic classes (e.g., natural grasslands and cultivated pastures). The goal of this study was to produce 1:250,000 scale, land cover map of the Cerrado biome. A set of 121, dry season, georeferenced Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) images from the year of 2002 was acquired. The images were mosaicked using histogram equalization technique, resized according to the Brazilian's official 1:250,000 topographic sheets, and segmented in the SPRING 4.0 image processing software package. The segments were then converted into shapefile and mapped visually in the computer screens with support of field validation and ancillary data (Agricultural Census and digital elevation model). Results indicated that 60.5% of biome presented natural vegetation cover (areas with original vegetal cover, regardless of presence of land use). In the northern part of the biome, this percentage increased up to 90%. In the southern part of biome, it decreased down to 15%. Planted pasturelands were the dominant land use in the Cerrado (~ 54 million hectares), followed by croplands (~ 22 million hectares).

**Palavras-chave:** tropical savanna, land use, remote sensing, image processing, savana tropical, uso da terra, sensoriamento remoto, processamento de imagens.

### 1. Introdução

Sensoriamento remoto constitui-se na única alternativa viável para estudar o funcionamento de grandes biomas como o Cerrado e a Amazônia (Asner et al., 2005). Sistemas sensores com resoluções espaciais variando de 250 metros a 1.000 metros são capazes de cobrir biomas inteiros numa base diária ou semanal e permitem mapeamentos, por exemplo, na escala de 1:1.000.000. Este é o caso do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo das plataformas Terra e Aqua (Justice et al., 2002). Estudos mais detalhados, por exemplo, nas escalas de 1:250.000, 1:100.000 ou 1:50.000, podem ser obtidos por meio de sensores com resoluções espaciais decimétricas e com capacidade para recobrir biomas inteiros em cerca de três ou quatro meses no período da seca. Este são os casos dos sensores ETM+ do Landsat (Goward et al., 2001) ou do CCD do CBERS-2 (INPE, 2008).

Iniciativas anteriores de mapeamento da cobertura vegetal natural e antrópica do bioma Cerrado foram feitos com base na análise de imagens com resolução espacial de 1 km. No trabalho de Eva et al. (2004), o Bioma Cerrado aparece subdividido em três classes: campos, savanas e agricultura. Machado et al. (2004), baseado na análise de imagens do sensor Terra/MODIS, estimaram que cerca de 55% do Cerrado tinham sido desmatados até o ano de 2002 e ressaltaram ainda que essa porcentagem poderia estar subestimada em função da

resolução espacial relativamente grosseira do sensor MODIS. O objetivo deste estudo foi produzir o mapa de cobertura vegetal natural e antrópico do bioma Cerrado na escala de 1:250.000.

## 2 Metodologia de Trabalho

A região de estudo correspondeu ao Bioma Cerrado, o qual ocupa uma área de 204,7 milhões de hectares na porção central do Brasil e engloba parte dos seguintes Estados (Figura 1): Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Piauí, São Paulo e Tocantins, além do Distrito Federal. O Cerrado se estende desde o litoral maranhense até os Estados de São Paulo e Paraná – uma variação em torno de 22,4 graus de latitude e de 1.800 metros de altitude. Ele apresenta ainda uma grande diversidade biológica e uma acentuada sazonalidade, com seis meses de seca (abril a setembro) e seis meses de chuva (outubro a março) (Oliveira Filho & Ratter, 2002; Cianciaruso et al., 2005). Este bioma consiste de uma mistura de extratos herbáceos, arbustivos e arbóreos, com ocorrência de Matas de Galeria ao longo das drenagens (Ribeiro & Walter, 1998; Ratter et al., 2006). Após a década de 1970, o Cerrado começou a ser ocupado de forma intensiva para produção de grãos para exportação, principalmente, soja, milho, feijão e, mais recentemente, café e algodão (Jepson 2005; Klink & Machado 2005). No entanto, a principal forma de ocupação do Cerrado são as pastagens cultivadas (Sano et al., 2001; Sano et al., 2008).

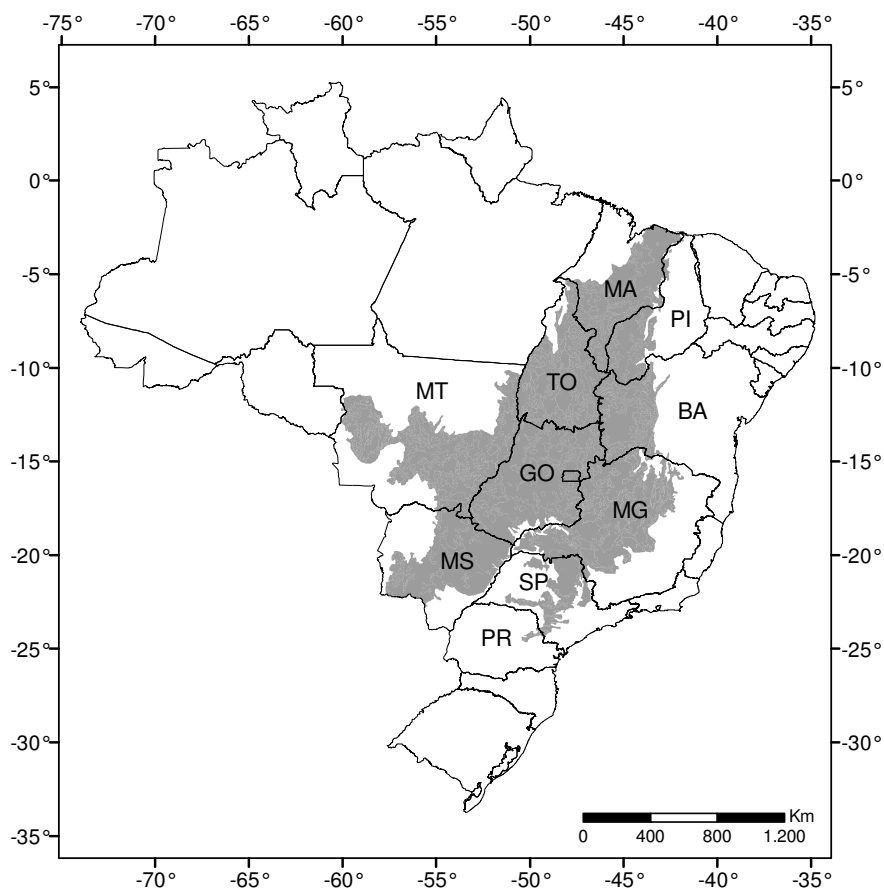


Figura 1. Localização do Bioma Cerrado no Brasil. BA = Bahia; GO = Goiás; MA = Maranhão; MT = Mato Grosso; MS = Mato Grosso do Sul; MG = Minas Gerais; PR = Paraná; PI = Piauí; SP = São Paulo; e TO = Tocantins. Fonte: IBGE (2004).

Para cobrir todo o Cerrado, foram adquiridas, junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), cenas correspondentes a um total de 121 órbitas/pontos do Landsat ETM+. Em 33% dessas órbitas/pontos, foi necessária a utilização de combinação de duas ou mais imagens para minimizar o problema de presença de nuvens. A maioria das cenas foi adquirida em agosto, setembro e outubro, o que corresponde à estação seca no bioma. As imagens adquiridas estavam georreferenciadas para o sistema de coordenadas UTM (Universal Transverse de Mercator) e datum = SAD'69. Foi selecionado o sensor ETM+ por apresentar as seguintes características: resolução espacial de 30 metros, compatível com a escala de mapeamento (1:250.000); confiabilidade na aquisição de dados em termos de qualidade radiométrica e geométrica; e faixa de imageamento relativamente extensa de 185 km, o que evita a necessidade de aquisição de um número elevado de cenas. Toda a análise de imagens foi baseada na composição colorida RGB das bandas 3 (0,63 – 0,69  $\mu\text{m}$ ; faixa espectral do vermelho), 4 (0,76 – 0,90  $\mu\text{m}$ ; infravermelho próximo), e 5 (1,55 – 1,75  $\mu\text{m}$ ; infravermelho médio).

As cenas Landsat foram mosaicadas por meio de equalização de histogramas. A referida equalização agrupa duas ou mais imagens considerando-se uma delas como sendo a imagem referência. Essa técnica corresponde a um método estatístico baseado na função de distribuição cumulativa (Shimabukuro et al., 2002) e está disponível nos principais softwares de processamento digital de imagens como o ENVI™. Em seguida, foi feito o recorte de imagens com base na articulação das cartas planialtimétricas 1:250.000 do IBGE. Cada carta possui dimensão de 1° x 1,5°, o que equivale a uma área em torno de 1,8 milhões de hectares no terreno. Foram elaborados 172 recortes na escala de mapeamento de 1:250.000.

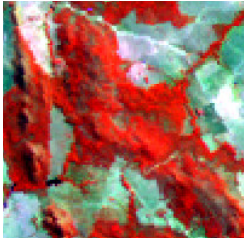
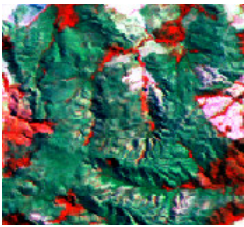
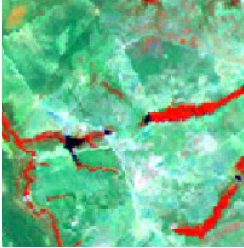
Todos os recortes foram processados através da técnica de segmentação de imagens por crescimento de regiões, disponível no aplicativo SPRING 4.0. O processo de segmentação de imagens consiste em dividir uma imagem em regiões ou segmentos compostos por conjuntos de pixels adjacentes espectralmente uniformes (Earthal et al., 1991). Inicialmente, a técnica de segmentação considera cada pixel de uma imagem como sendo uma região distinta. A seguir, divide-se a imagem em um conjunto de subimagens e, então, realiza-se a união entre elas, segundo um limiar de agregação preestabelecido. Para isso, são analisadas as médias de cada subimagem.

Os polígonos gerados pela segmentação de imagens foram convertidos para o formato shapefile e exportados para o aplicativo ArcView GIS 3.2. Nesse programa, cada segmento foi associado a uma determinada classe de cobertura vegetal natural ou antrópica. Esse mapeamento foi feito diretamente no monitor da tela de computador, através da sobreposição do recorte de imagem com o mapa vetorial de segmentação e utilizando-se uma escala de visualização de aproximadamente 1:50.000. Polígonos com dimensões inferiores a 40 hectares foram englobados na classe adjacente maior.

A legenda do mapeamento foi composta por dois grupos principais de cobertura vegetal, a natural e a antrópica. As seguintes classes compuseram o grupo de cobertura vegetal antrópica: cultura agrícola, pastagem cultivada, reflorestamento, área com influência urbana e área degradada por mineração. É importante destacar aqui o conceito que este estudo adota para o termo *cobertura vegetal natural*: são aquelas áreas que apresentam cobertura vegetal original, independentemente da existência ou não de algum tipo de uso antrópico. A legenda referente à cobertura vegetal natural foi baseada no Sistema Brasileiro de Classificação da Vegetação Brasileira (IBGE, 1992). Nesse sistema, o Cerrado propriamente dito foi subdividido em quatro subgrupos de formação: Savana Florestada; Savana Arborizada; Savana Parque; e Savana Gramíneo-Lenhosa. As florestas-de-galerias, pelas suas dimensões, não são separadas nesse sistema de classificação, sendo consideradas, portanto, como componentes do Cerrado.

Uma chave de interpretação das composições coloridas foi construída para orientar a análise. Essa chave incluiu a definição das características tonais, texturais e geométricas das classes de mapeamento presentes no bioma. A Tabela 1 ilustra um modelo de chave de interpretação que foi utilizado nessa etapa do trabalho para mapear a cobertura vegetal natural. Trabalhos de campo foram conduzidos ainda para verificar e refinar a interpretação de imagens. Um total de 319 pontos foram visitados ainda por dois ecologistas que não participaram da equipe de analistas de imagens para verificar a precisão do mapeamento final.

Tabela 1. Exemplo de chave de interpretação utilizado para o mapeamento de cobertura vegetal natural do bioma Cerrado.

Classe de Cobertura Vegetal	Padrões Característicos de Interpretação	Exemplo numa Composição Colorida RGB/453
Savana arborizada	Padrão de cor: vermelho brilhante; textura: intermediária a rugosa; forma geométrica: irregular	
Savana parque	Padrão de cor: verde escuro; textura: intermediária a rugosa; forma geométrica: irregular	
Savana gramíneo-lenhosa	Padrão de cor: verde claro; textura: intermediária; forma geométrica: irregular	

### 3. Resultados e Discussão

A porcentagem de cobertura vegetal natural encontrada para o bioma Cerrado foi de **60,5%**, o que, em termos de extensão em área, corresponde a 123,7 milhões de hectares. No entanto, dependendo da localização geográfica, esse valor pode ser significativamente diferente (Figura 2). Áreas mais extensas de cobertura natural são encontradas na porção norte do bioma, enquanto a maior parte da região sul apresenta um domínio da cobertura antrópica, com destaque para o Estado de São Paulo. Esse retrato é fruto do próprio histórico de ocupação das terras do Brasil. A ocupação do Cerrado iniciou-se na década de 1920, quando a indústria de café estava em plena atividade, principalmente no Estado de São Paulo. Mais

tarde, com o esgotamento de terras férteis do sul e sudeste do Brasil e com o crescimento populacional, o governo de Getúlio Vargas (1930-1945) promoveu um incentivo à ocupação do sul do estado de Goiás, através de fornecimento de subsídios e assistência técnica aos pecuaristas interessados (Klink e Machado, 2005). A porção norte encontra-se relativamente preservada por causa das dificuldades de acesso e pela distância aos grandes centros urbanos e consumidores.

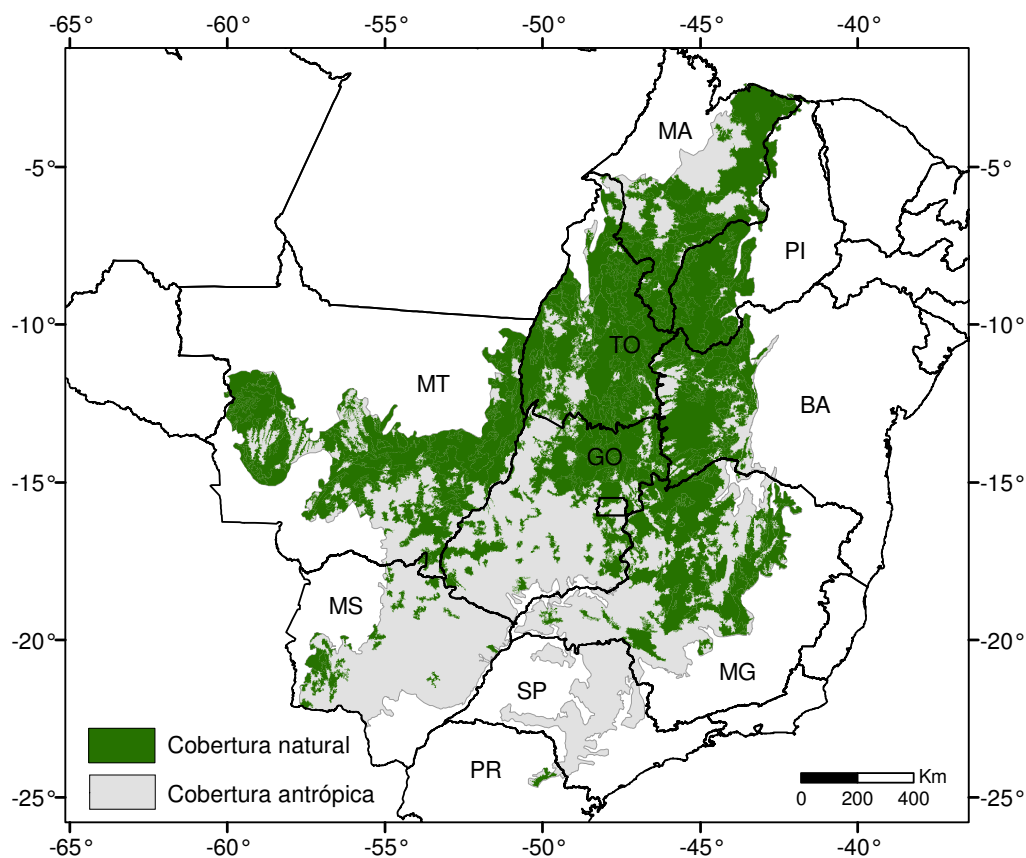


Figura 2. Distribuição espacial de áreas com cobertura vegetal natural e cobertura vegetal antrópica no bioma Cerrado.

Em geral, culturas agrícolas (Figura 3) foram encontradas principalmente nos Estados de Mato Grosso (~ 6 milhões de hectares), Goiás (~ 5 milhões de hectares) e São Paulo (~ 4 milhões de hectares) Conforme mostrada na Tabela 2, cerca de 61% de áreas naturais do Cerrado correspondem à fisionomia savânica, vindo a seguir, as fisionomias florestal e campestre, com 32 e 7%, respectivamente. Infelizmente, não há, na literatura, informações precisas sobre a área originalmente coberta por cada uma das formações analisadas, apenas citações isoladas sobre algumas fitofisionomias, por exemplo: Cerrado sentido restrito = 65% (Marimon Junior & Haridasan, 2005); Florestas Estacionais sentido amplo = 15% (Felfili, 2003); e Cerradão = 1% (Marimon Junior & Haridasan, 2005).

Pastagens cultivadas (Figura 4) foram encontradas principalmente no Estado de Goiás (~13 milhões de hectares), Minas Gerais (~12 milhões de hectares) e Mato Grosso do Sul (~ 11 milhões de hectares).

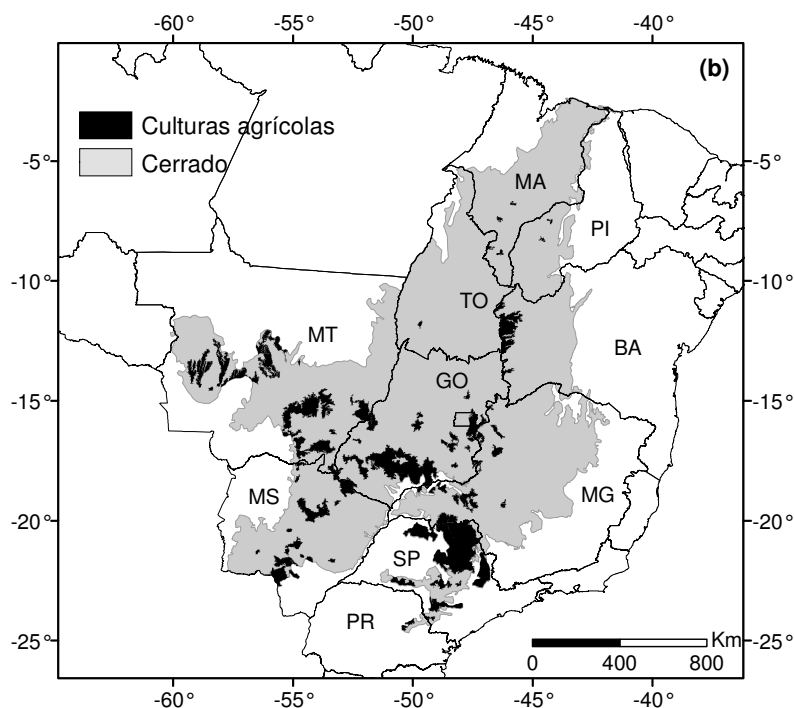


Figura 3. Distribuição espacial das culturas agrícolas no Bioma Cerrado.

Tabela 2. Cálculo de áreas ocupadas pelas fisionomias florestais, savânicas e campestres no bioma Cerrado.

Fisionomia	Área (hectares)	Porcentagem (%)
Florestal	40.229.098	32
Savânica	75.655.044	61
Campestre	8.061.576	7
TOTAL	123.677.075	100

#### 4. Conclusões

A técnica semi-automatizada de análise de imagens do satélite Landsat ETM+, isto é, a segmentação de imagens seguida de análise visual permitiu a produção do mapa inédito de cobertura vegetal natural e antrópica do bioma Cerrado na escala de semidetalhe. Este estudo teve a duração de aproximadamente três anos e envolveu quase 30 técnicos com razoável experiência em processamento de imagens e vivência no Cerrado.

Um dos principais desafios desse estudo foi a separação de áreas com pastagens plantadas e áreas com pastagens nativas (savana gramíneo-lenhosa). Duas abordagens foram essenciais na solução dessa dificuldade: a análise visual de imagens, onde o aspecto geométrico é um fator importante na discriminação desses dois tipos de pastagens. Pastagens cultivadas apresentam um padrão geométrico mais regular. A outra abordagem importante foi o uso de dados municipais do Censo Agropecuário do IBGE e de dados de elevação do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

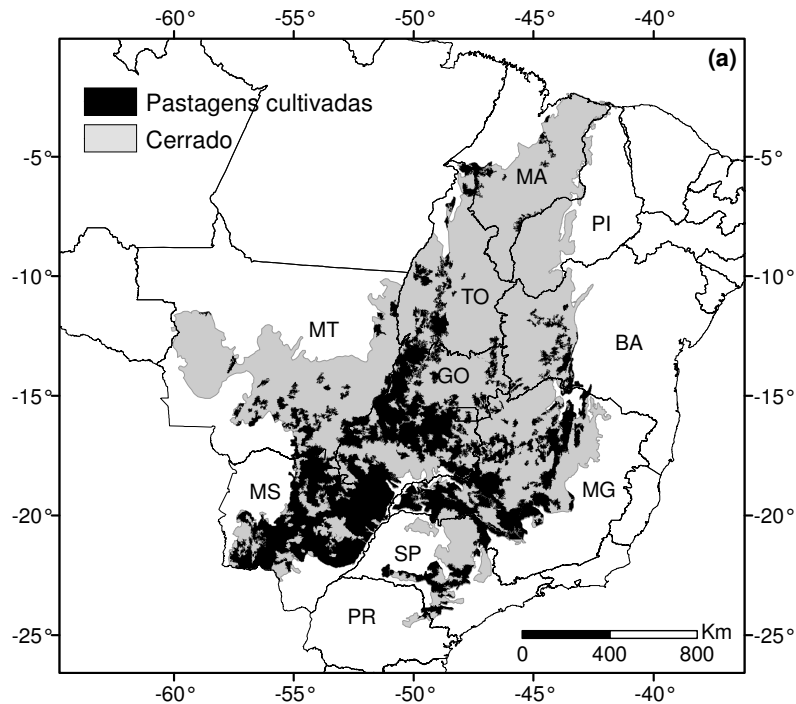


Figura 4. Distribuição espacial das pastagens cultivadas no Bioma Cerrado.

### Agradecimentos

Este estudo foi desenvolvido no âmbito do PROBIO (Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira) do Ministério do Meio Ambiente e teve suporte técnico e administrativo do IBGE e do CNPq. Os autores dedicam um agradecimento especial ao cientista Luiz Alberto Dambrós do IBGE/Goiânia pelos inúmeros ensinamentos sobre o sistema de classificação de vegetação do IBGE e a todos os bolsistas e técnicos que não mediram esforços em analisar dezenas de imagens de satélite.

### Referências Bibliográficas

Asner, G. P.; Knapp, D. E.; Cooper, A. N.; Bustamante, M. C.; Orlander, L. P. Ecosystem structure throughout the Brazilian Amazon from Landsat observations and automated spectral unmixing. **Earth Interactions**, v. 9, Paper 7, 2005. 31 p.

Cianciaruso, M. V.; Batalha, M. A.; Silva, I. G. A. Seasonal variation of a hyperseasonal cerrado in Emas National Park, central Brazil. **Flora**, v. 200, p. 345-353, 2005.

Earthal, J. G.; Fonseca, L. M.; Bins, L. S.; Velasco, F. R.; Monteiro, A. M. **Um sistema de segmentação e classificação de imagens de satélite**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1991. (INPE-5291-PRE/1696).

Eva, H. D.; Belward, A. S.; Miranda, E. E.; Di Bella, C. M.; Gond, V.; Huber, O.; Jones, S.; Sgrenzaroli, M.; Fritz, S. A land cover map of South America. **Global Change Biology**, vol. 10, p. 731-744, 2004.

Felfili, J. M. Fragmentos de Florestas Estacionais do Brasil Central: diagnóstico e proposta de corredores ecológicos. In: COSTA, R. B. (org.). **Fragmentação Florestal e Alternativas de Desenvolvimento Rural na Região Centro-Oeste**. Campo Grande: UCDB, p. 139-160, 2003.

Goward, S. N.; Masek, J. G.; Williams, D. L.; Irons, J. R.; Thompson, R. J. The Landsat 7 mission. Terrestrial research and applications for the 21<sup>st</sup> century. **Remote Sensing of Environment**, v. 78, p. 3-12, 2001.

- IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1992. (Série Manuais Técnicos em Geociências, n. 1).
- IBGE. **Mapa de biomas do Brasil**. Escala 1:5.000.000. 2004. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acesso em: 11 nov. 2008.
- INPE. **Satélite sino-brasileiro de recursos terrestres**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <[http://www.cbbers.inpe.br/pt/index\\_pt.htm](http://www.cbbers.inpe.br/pt/index_pt.htm)>. Acesso em: 11 nov. 2008.
- Jepson, W. A disappearing biome? Reconsidering land cover change in the Brazilian savanna. **Geographical Journal**, vol. 17, p. 99–111, 2005.
- Justice, C. O.; Townshend, J. R. G.; Vermote, E.; Masuoka, E.; Wolfe, R.; Saleous, N.; Roy, D.; Morisette, J. An overview of MODIS land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, vol. 83, p. 3 – 15, 2002.
- Klink, C. A.; Machado, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, vol. 19, p. 707-713, 2005.
- Machado, R. B.; Ramos Neto, M. B.; Pereira, P. G. P.; Caldas, E. F.; Gonçalves, D. A.; Santos, N. S.; Tabor, K.; Steininger, M. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Brasília/DF, 2004, 23 p.
- Marimon Junior, B. H.; Haridasan, M. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerrado e um cerrado sensu stricto em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, vol. 19, n. 4, p. 913-926, 2005.
- Oliveira-Filho, A. T.; Ratter, J. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. In: Oliveira, P. S.; Marquis, T. J. (eds.), **The Cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna**. New York: Columbia University Press, 2002, p. 91-120.
- Ratter, J. A.; Bridgewater, S.; Ribeiro, J. F. Biodiversity patterns of the woody vegetation of the Brazilian Cerrados. In: Pennington, T.; Ratter, J. A. (org.), **Neotropical Savannas and Seasonally Dry Forests**. Florida: Boca Raton, Cap. 2, 2006, p. 31-66.
- Ribeiro, J. F.; Walter, B. M. T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: Sano, S. M.; ALMEIDA, S. P. (eds.). **Cerrado: Ambiente e Flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, Cap. 3, 1998, p. 87-166.
- Sano, E. E.; Jesus, E. T.; Bezerra, H. S. Mapeamento e quantificação de áreas remanescentes do Cerrado através de um Sistema de Informações Geográficas. **Sociedade e Natureza**, vol. 13, n. 25, p. 47-62, 2001.
- Sano, E. E.; Rosa, R.; Brito, J. L. S.; Ferreira, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 43, n. 1, p. 153-156, 2008.
- Shimabukuro, Y. E.; Novo, E. M.; Mertes, L. K. Amazon river mainstream floodplain Landsat TM digital mosaic. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 23, n. 1, p. 57-69, 2002.