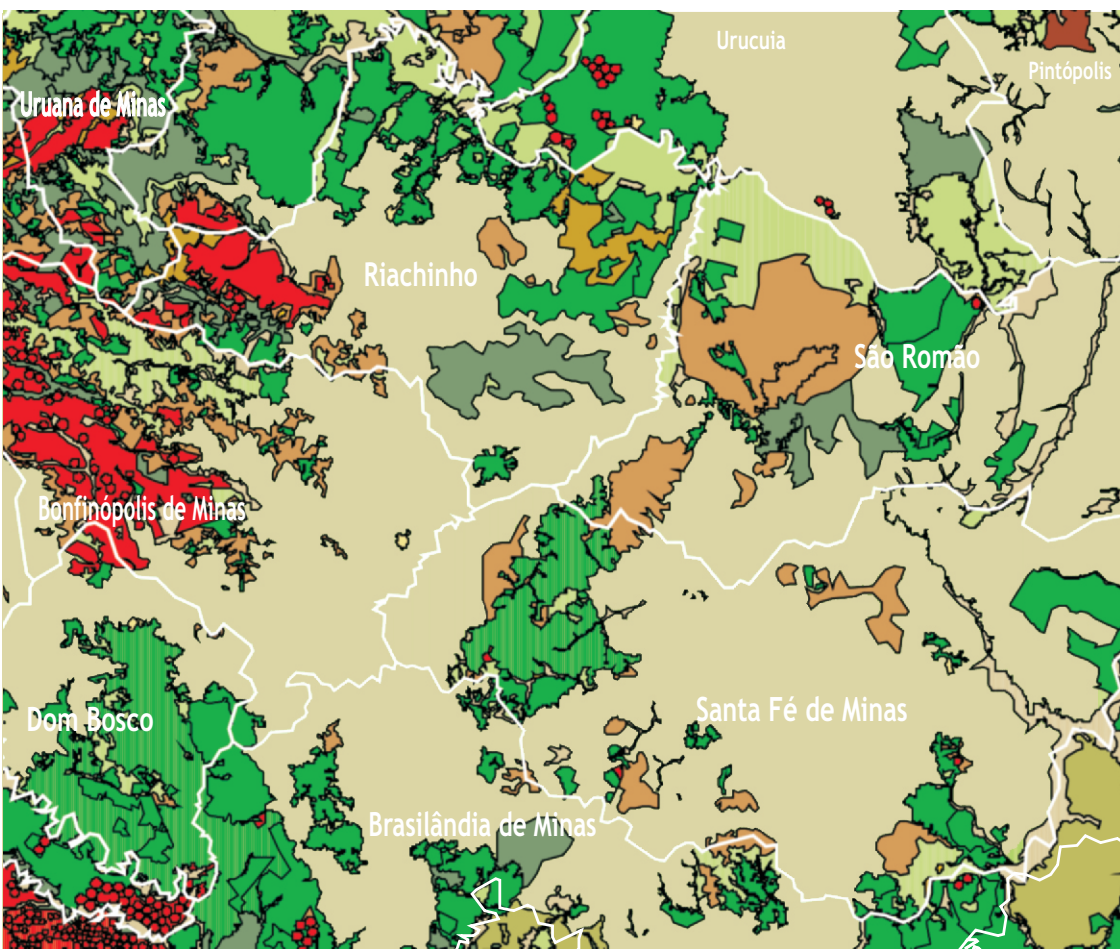


Mapeamento de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado: estratégias e resultados



ISSN 1517-5111

Novembro, 2007

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 190

Mapeamento de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado: estratégias e resultados

Edson Eyji Sano

Roberto Rosa

Jorge Luís Silva Brito

Laerte Guimarães Ferreira

Embrapa Cerrados

Planaltina, DF

2007

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina, DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *José de Ribamar N. dos Anjos*

Secretário-Executivo: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Fernanda Vidigal Cabral de Miranda*

Revisão de texto: *Francisca Elijani do Nascimento*

Normalização bibliográfica: *Rosângela Lacerda de Castro*

Editoração eletrônica: *Jussara Flores de Oliveira*

Capa: *Jussara Flores de Oliveira*

Impressão e acabamento: *Jaime Arbués Carneiro /*

Divino Batista de Sousa

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

1ª edição

1ª impressão (2007): tiragem 100 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Cerrados

M297 Mapeamento de cobertura vegetal do Bioma Cerrado: estratégias e resultados / Edson Eyji Sano ... [et al.]. Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2007.
33 p.— (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111; 190)

1. Geoprocessamento. 2. Sensoriamento remoto. 3. Cerrado.
I. Sano, Edson Eyji. II. Série.

621.3678 - CDD 21

© Embrapa 2007

Autores

Edson Eyji Sano

Geól., Ph.D.

Pesquisador, Embrapa Cerrados

sano@cpac.embrapa.br

Roberto Rosa

Geóg., D.Sc.

Professor, Universidade Federal de Uberlândia

Av. João Naves de Ávila, 2160, Santa Mônica

38400-902 - Uberlândia, MG

rrosa@ufu.br

Jorge Luís Silva Brito

Eng. Agrim., D.Sc.

Professor, Universidade Federal de Uberlândia

jbrito@ufu.br

Laerte Guimarães Ferreira

Geól., Ph.D.

Professor, Universidade Federal de Goiás

Campus Samambaia – Samambaia

74001970 - Goiânia, GO, Caixa-Postal: 131

laerte@iesa.ufg.br

Colaboradores

Aline Batista Ferreira
Ana Carolina de Paula Silva
Anne Karoline Alves
Baltazar Casagrande
Beatriz Aparecida Bessa Florêncio
Carla Rodrigues Santos
Dayane Cavalcante de Abreu
Edwin Andrés Piscoya Rodríguez
Elaine Cristina de Oliveira
Elaine Marra Santana
Eristelma Teixeira de Jesus Barbosa Silva
Fernanda Massuda
Gisele Martins Amaral
Gustavo Bayma Siqueira da Silva
Gustavo Isac Monteiro de Oliveira
Heleno da Silva Bezerra
Manuel Eduardo Ferreira
Marcus Vinícius Coelho Vieira da Costa
Marina de Fátima Vilela
Miriam Rodrigues da Silva
Pedro da Costa Novaes
Mirna Karla Amorim da Silva
Raphael de Oliveira Borges
Rodrigo Carvalho
Sara Nunes Giffoni
Tatiana Diniz Prudente
Thaise Sussane de Souza Lopes
Valdir Aparecido Steinke

Agradecimentos

Ao PROBIO - Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira - do Ministério do Meio Ambiente e ao Banco Mundial, pela oportunidade para a realização deste estudo.

Ao IBGE, pelo apoio técnico e, em especial, ao Eng. Florestal Luís Alberto Dambrós, pelas valiosas sugestões e ensinamentos sobre sistemas de classificação da vegetação do Cerrado.

Ao CNPq, pelo apoio administrativo.

Apresentação

O Cerrado é o segundo bioma do Brasil em extensão e biodiversidade, é o principal em termos de produção de grãos e é um dos que possui a menor porcentagem de área legalmente protegida. Além disso, a sua cobertura vegetal natural e antrópica é uma das mais difíceis de ser mapeada em virtude da elevada sazonalidade da vegetação natural, da acentuada dinâmica espaço-temporal da ocupação agrícola e da sua grande extensão geográfica.

O uso de imagens de satélite é uma das únicas formas, senão a única, de se obter o referido mapeamento. Em caráter inédito, este estudo propôs mapear a cobertura vegetal natural e antrópica do Bioma Cerrado por meio de análise de imagens do satélite Landsat de 2002. Todo esse enorme esforço durou cerca de três anos. Várias instituições foram decisivas para o desenvolvimento deste estudo: Ministério do Meio Ambiente (MMA), PROBIO - Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira, Banco Mundial/GEF, CNPq e IBGE. A Embrapa Cerrados, a Universidade Federal de Uberlândia e a Universidade Federal de Goiás foram as instituições responsáveis pela execução técnica do projeto.

O estudo completo está disponível na rede mundial de computadores, onde se pode acessar o relatório final com suas quantificações e análises ou os mapas em formato digital para impressão ou em formato original em *shapefile*. Para isso, basta acessar o seguinte site do MMA:
<http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm>.

Roberto Teixeira Alves

Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

Sumário

Introdução	13
O Bioma Cerrado	14
Estratégias	17
Limite do Cerrado	17
Sistema de classificação	19
Processamento digital de imagens	23
Resultados	28
Referências	31
Abstract	33

Mapeamento de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado: estratégias e resultados

Edson Eyji Sano

Roberto Rosa

Jorge Luís Silva Brito

Laerte Guimarães Ferreira

Introdução

Em 2004, o governo brasileiro lançou um grande desafio para a comunidade técnico-científica do Brasil: mapear a cobertura vegetal natural e antrópica do Brasil num nível de detalhe compatível com a escala de 1:250.000. Para isso, foram abertos editais específicos para os seis biomas brasileiros (Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal). Todos deveriam mapear a referida cobertura utilizando a mesma legenda - Sistema Brasileiro de Classificação de Vegetação do Brasil - e base de imagens de satélite - Landsat ETM+ , ano-base: 2002. O lançamento desse desafio correspondeu a uma iniciativa da Secretaria de Biodiversidade e Florestas do Ministério de Meio Ambiente (MMA), implementada com recursos do PROBIO - Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira, o qual envolveu a formação de uma parceria entre o MMA, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e o Fundo para o Meio Ambiente Global (GEF) do Banco Mundial. Este documento apresenta os principais resultados obtidos pelo projeto intitulado Mapeamento de Remanescentes de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado durante o período de quase três anos de mapeamento.

O Bioma Cerrado

O Bioma Cerrado corresponde a um complexo vegetacional - grande biosistema subcontinental - que possui relações ecológicas e fisionômicas com outras savanas da América Tropical, África e Austrália ([RIBEIRO; WALTER, 1998](#)). É o segundo maior bioma brasileiro em extensão geográfica e possui uma dinâmica acentuada em termos de sazonalidade e antropismo.

O Bioma Cerrado possui uma área de 204,7 milhões de hectares ([IBGE, 2004](#)) e ocupa a porção central do Brasil, embora também se estenda até o litoral nordeste do Estado do Maranhão e norte do Estado do Paraná ([Fig. 1](#)). Engloba parte dos seguintes estados brasileiros: Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Piauí, São Paulo e Tocantins, além do Distrito Federal. O Cerrado caracteriza-se como uma formação do tipo savana tropical, com destacada sazonalidade ([EITEN, 1994](#); [RIBEIRO; WALTER, 1998](#)). Apenas 5,2 % de sua área é integralmente protegida na forma de alguma unidade de conservação ([JEPSON, 2005](#)) (por exemplo, Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e Parque Nacional das Emas no Estado de Goiás). Em termos de cultura agrícola, predominam os extensos plantios de soja, milho, feijão, algodão, café e cana-de-açúcar. Regiões como Luís Eduardo Magalhães na Bahia, Jataí e Rio Verde em Goiás e Lucas do Rio Verde e Sinop em Mato Grosso, conhecidas pela sua elevada produtividade e intensa mecanização, estão todas situadas nesse bioma.

O Bioma Cerrado é um complexo vegetacional composto por três formações vegetais: campestre, que engloba áreas com predomínio de espécies herbáceas e algumas arbustivas, mas sem a presença de árvores na paisagem; savânicas, com presença de áreas com árvores e arbustos espalhados sobre um estrato graminoso, sem a formação de dossel contínuo; e florestais, com formação de dossel contínuo ou descontínuo e predomínio de espécies arbóreas ([RIBEIRO; WALTER, 1998](#)).



Fig. 1. Localização do Bioma Cerrado no Brasil.

As iniciativas de mapeamento da cobertura vegetal natural e uso antrópico no bioma em questão podem ser divididas em três escalas: continental, regional e estadual. No âmbito continental, destaca-se o trabalho desenvolvido por [Eva et al. \(2004\)](#), os quais produziram um mapa de cobertura de solo da América do Sul utilizando sistemas sensores orbitais com resolução espacial de 1 km. O trabalho apresentou um mapa continental com nível de generalização 1, obtido com a integração de diferentes sistemas sensores. Nesse nível, a região do Cerrado aparece subdividida em três classes: campos, savanas e agricultura.

No âmbito regional, [Mantovani e Pereira \(1998\)](#), baseados na análise de imagens do Landsat, estimaram a integridade da cobertura vegetal do

Cerrado, relacionando-a com quatro graus distintos de antropização: não-cerrado, Cerrado não-antropizado, Cerrado antropizado e Cerrado fortemente antropizado. Esses autores não apresentaram nenhum resultado em forma de mapa temático. Em 2004, a Conservação Internacional lançou os resultados da análise de imagens do sensor Terra/MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*, resolução espacial de 250 metros) do Cerrado ([MACHADO et al., 2004](#)). Nesse estudo, os autores estimaram que cerca de 55 % do Cerrado tinha sido desmatado até o ano de 2002. Os autores ressaltaram ainda que essa porcentagem pode estar subestimada em virtude da resolução espacial relativamente grosseira do sensor MODIS. Até a presente data, os dados divulgados por Machado e colaboradores constituíam-se nos mais recentes relativos a antropização do Cerrado.

Em termos estaduais, destacam-se os trabalhos desenvolvidos pelas Secretarias Estaduais de Goiás e de São Paulo e pelo Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais/ Universidade Federal de Lavras. A Agência Ambiental (AGMA) e a Agência Goiana de Transportes e Obras (AGTOP) de Goiás concluíram recentemente o levantamento de cobertura vegetal do referido estado. Os dados estão disponíveis na página eletrônica correspondente ao Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás (<http://www.sieg.go.gov.br>).

O Instituto Florestal da Secretaria Estadual do Meio Ambiente de São Paulo produziu um diagnóstico da situação da cobertura vegetal do estado, com dados detalhados sobre a fragmentação que a cobertura vegetal original sofreu nos 500 anos de ocupação do território paulista. Os resultados estão disponíveis no atlas denominado de *Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo* ou no trabalho apresentado por [Kronka et al. \(2005\)](#) durante o *XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* em Goiânia, GO. Nesse estudo, foram mapeados cerca de 3,5 milhões de hectares de vegetação natural, o que corresponde a 14 % do estado. Em termos de fitofisionomias do Cerrado, foram encontrados 210.000 hectares, isto é, 0,85 % da superfície estadual.

A Universidade Federal de Lavras coordenou o trabalho intitulado *Mapeamento e Inventário da Flora Nativa e dos Reflorestamentos do Estado de Minas Gerais* (SCOLFORO; CARVALHO, 2006). Nesse estudo, foram encontrados, para o ano-base de 2003, cerca de 9.500 hectares de Floresta Estacional Semidecidual e mais de 117.000 hectares de encraves. Tais dados foram obtidos com base na análise de imagens do satélite Landsat de primavera, verão e inverno (CARVALHO, 2005).

Estratégias

Limite do Cerrado

A primeira definição a ser tomada no mapeamento da cobertura vegetal natural e antrópica do Cerrado é quanto ao limite do bioma. Existem duas propostas principais. A primeira é a da Embrapa Cerrados (ADÂMOLI et al., 1986), em que o contorno foi definido manualmente na escala de 1:5.000.000, com base em mapas analógicos e regionais de vegetação disponíveis naquela época. De acordo com essa proposta, o Cerrado totaliza uma área de 207,4 milhões de hectares. A segunda proposta é a do IBGE que, em 2004, lançou o mapa dos biomas brasileiros, também numa escala de 1:5.000.000 (IBGE, 2004). Nesse caso, o Cerrado ocupa uma área de 204.667.716 hectares.

Quando os dois limites são comparados numa mesma projeção cartográfica, surgem importantes omissões e comissões de áreas (Fig. 2). A área delimitada na cor azul corresponde ao limite digital proposto pela Embrapa Cerrados. As novas regiões que foram incluídas no limite proposto pelo IBGE estão realçadas na cor vermelha, com destaque para a inclusão de áreas relativamente extensas na porção central do Estado de São Paulo, no oeste da Bahia e na porção oriental do Estado do Maranhão. Casos típicos de omissão são encontrados nos estados de Rondônia e Piauí. Praticamente toda a área de Cerrado delimitada pela proposta da Embrapa Cerrados no Estado de Rondônia foi excluída na proposta do IBGE. O mesmo ocorreu com a porção norte do Estado de Piauí. Essas diferenças espaciais são

particularmente importantes nos estudos sobre a evolução da ocupação do Cerrado. É importante que a análise de dados multitemporais considere sempre o mesmo limite do Cerrado. Os autores utilizaram o limite definido pelo [IBGE \(2004\)](#), por se tratar de uma proposta oficial do Brasil e chamam a atenção pelo fato de ainda não existir nenhum limite definido para uma escala de maior detalhe.

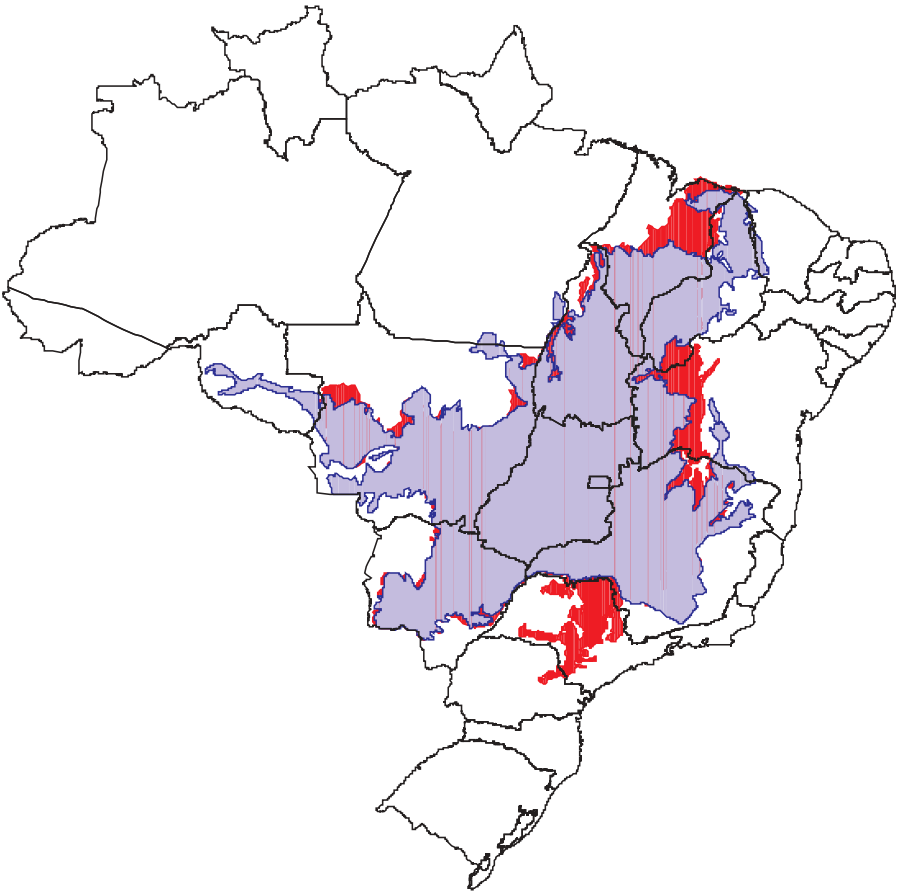


Fig. 2. Diferenças nos limites do Bioma Cerrado propostos pela Embrapa Cerrados na década de 1980 (cor azul, dado não publicado) e pelo IBGE em 2004 (cor vermelha).

Sistema de classificação

Existem, atualmente, dois sistemas de classificação de vegetação do Cerrado. O primeiro refere-se ao Sistema Brasileiro de Classificação da Vegetação Brasileira (IBGE, 1992), em que o Cerrado propriamente dito foi subdividido em quatro subgrupos de formação (Tabela 1): Savana Florestada (Sd); Savana Arborizada (Sa) (Fig. 3); Savana Parque (Sp) (Fig. 4); e Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg) (Fig. 5). As florestas de galerias, pelas suas dimensões, não são separadas nesse sistema de classificação, sendo consideradas, portanto, como componentes do Cerrado. A presença ou ausência delas, numa determinada área, define as subformações vegetais. Por exemplo, pode-se ter a Savana Arborizada sem floresta de galeria (Sas) ou a Savana Arborizada com floresta de galeria (Saf).

Em regiões de transição com outros biomas (Amazônia, Caatinga, Mata Atlântica e Pantanal), o mapeamento de cobertura vegetal do Cerrado precisa levar em consideração ainda, as seguintes unidades:

- a) Floresta Ombrófila Densa aluvial (Da), terras baixas (Db), submontana (Ds) e montana (Dm).
- b) Floresta Ombrófila Aberta aluvial (Aa), terras baixas (Ab) e submontana (As).
- c) Floresta Ombrófila Mista de montana (Mm) e alto montana (Ml).
- d) Floresta Estacional Semidecidual aluvial (Fa), terras baixas (Fb), submontana (Fs) e montana (Fm).
- e) Floresta Estacional Decidual de terras baixas (Cb), submontana (Cs) e montana (Cm).
- f) Savana Estépica florestada (Td); arborizada, sem floresta de galeria (Tas) ou com floresta de galeria (Taf); parque, sem floresta de galeria (Tps) ou com floresta de galeria (Tpf); e gramíneo-lenhosa, sem floresta de galeria (Tgs).
- g) Formações Pioneiras: com influência marinha (restinga) (Pm); com influência fluviomarina (Pf); ou com influência fluvial e/ou lacustre (Pa).

Tabela 1. Síntese da legenda do mapeamento de cobertura vegetal natural do Bioma Cerrado.

Região fitoecológica	Nível de formação	Nível de subformação	Símbolo
Floresta Ombrófila Densa (D)	Aluvial	-	Da
	Submontana	-	Ds
Floresta Ombrófila Aberta (A)	Aluvial	-	Aa
	Submontana	-	As
Floresta Ombrófila Mista	Montana	-	Mm
Floresta Estacional Semidecidual (F)	Aluvial	-	Fa
	Terras baixas	-	Fb
	Submontana	-	Fs
	Montana	-	Fm
Floresta Estacional Decidual (C)	Terras baixas	-	Cb
	Submontana	-	Cs
	Montana	-	Cm
Savana (S)	Florestada	-	Sd
	Arborizada	Sem floresta de galeria	Sas
		Com floresta de galeria	Saf
	Parque	Sem floresta de galeria	Sps
		Com floresta de galeria	Spf
	Gramíneo-lenhosa	Sem floresta de galeria	Sgs
Com floresta de galeria		Sgf	
Savana Estépica (T)	Florestada	-	Td
	Arborizada	Sem floresta de galeria	Tas
		Com floresta de galeria	Taf
	Parque	Sem floresta de galeria	Tps
		Com floresta de galeria	Tpf
	Gramíneo-lenhosa	Sem floresta de galeria	Tgs
Com floresta de galeria		Tgf	
Vegetação Secundária (Vs)	-	-	Vs
Refúgios	-	-	r
Vegetacionais			

Foto: Edson Sano.



Fig. 3. Exemplo de área ocupada com savana arborizada no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás (maio de 2005).

Foto: R. Rosa.



Fig. 4. Exemplo de área ocupada com Savana-parque no Município mineiro de Unaí (agosto de 2005).



Foto: R. Rosa.

Fig. 5. Exemplo de área ocupada com savana gramíneo-lenhosa no Município mineiro de Diamantina (novembro de 2005).

As outras classes de cobertura vegetal que completam a legenda do [IBGE \(1992\)](#) são a Vegetação Secundária (Vs), que ocorre próximo ao Bioma Amazônia, e as áreas de refúgios vegetacionais (r). O grupo de cobertura vegetal antrópica é formado pela cultura agrícola (Ac), pastagem plantada (Ap), reflorestamento (R), área com influência urbana (lu) e área degradada por mineração (Im).

O segundo sistema foi proposto por [Ribeiro e Walter \(1998\)](#). Nesse estudo, as formações florestais encontradas no Cerrado foram subdivididas em Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão; as formações savânicas, em Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda; e as formações campestres em Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre. Não há sugestão alguma quanto às classes de cobertura antrópica.

A classificação proposta por Ribeiro e Walter (1998), bastante utilizada em estudos que envolvem análise de imagens de satélite (por exemplo, [SANO et al., 2005](#); [FERREIRA et al., 2007](#)), é recomendada para estudos locais (por exemplo, escala de 1:100.000 ou superior). Para estudos regionais (por exemplo, escala de 1:250.000 ou inferior), recomenda-se o uso da

proposta do [IBGE \(1992\)](#). Esta última possui ainda a vantagem de poder ser extrapolada para outros biomas, facilitando, por exemplo, a construção de mapas no âmbito nacional. Este estudo utilizou a proposta do IBGE.

Processamento digital de imagens

Considerando-se a extensão do Bioma Cerrado e a elevada dinâmica em termos de sazonalidade e ocupação humana, o sistema sensor mais adequado para mapear a cobertura vegetal natural e antrópica desse bioma é o que opera com resolução espacial intermediária (da ordem de 20 a 30 metros) e uma resolução temporal em torno de 10 a 20 dias. Atualmente, o sistema que melhor se enquadra nesse perfil é o Landsat, que opera com uma resolução espacial de 30 metros, compatível com a escala de mapeamento proposto de 1:250.000. A faixa de imageamento é de 185 km, relativamente extensa, o que evita a necessidade de aquisição de um número elevado de cenas. O custo de aquisição também é relativamente baixo, em torno de R\$ 1.000,00/cena.

Para cobrir todo o Cerrado, é necessário um conjunto de 121 órbitas/pontos do satélite norte-americano Landsat ETM+ . Frequentemente, é necessário adquirir mais de uma cena para uma órbita/ponto específica em virtude de problemas de cobertura de nuvens. Neste estudo, mais de 30 % das órbitas/pontos exigiram a análise de duas ou mais cenas.

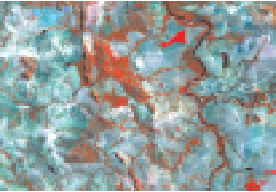
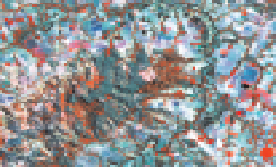
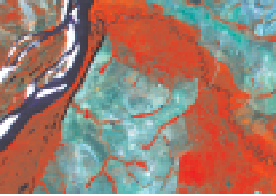
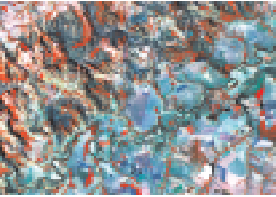
Quanto ao processamento de imagens, pode ser conduzido de forma totalmente manual, totalmente automatizada ou semi-automatizada. A primeira opção, que consiste em interpretar visualmente as cenas de satélite na tela do computador, isto é, os diferentes polígonos são traçados manualmente por meio de um *mouse* de computador e com o suporte de um software ([ROSA, 2007](#)), não é recomendada por causa do tempo excessivo de análise de imagens e por causa da incorporação da subjetividade dos analistas no resultado final. O procedimento totalmente automatizado, que envolve a classificação supervisionada ou não-supervisionada de imagens ([SCHOWENGERDT, 1997](#)), também não é recomendado por causa da falta de controle do usuário no resultado final do mapeamento. Este estudo utilizou a técnica semi-automatizada que envolve a segmentação de imagens, seguida de mapeamento visual dos segmentos.

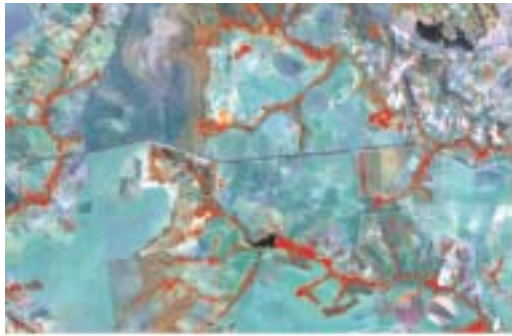
O processo de segmentação de imagens consiste em dividir uma imagem em regiões ou segmentos compostos por conjuntos de pixels adjacentes espectralmente uniformes ([EARTHAL et al., 1991](#)). Inicialmente, essa técnica considera cada pixel de uma imagem como sendo uma região distinta. A seguir, divide-se 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.

A associação visual dos segmentos às diferentes classes de mapeamento é feita após a definição de uma chave de interpretação ([Tabela 2](#)). Essa chave é construída com base nas características espectrais (cor), texturais e geométricas das classes de mapeamento. A [Fig. 6](#) mostra exemplos de como alguns alvos agrícolas representativos do Cerrado aparecem nas composições coloridas RGB. Nessa composição, alvos com cobertura vegetal pouco densa, como são os casos de pastagens cultivadas ([Fig. 6a](#)), apresentam coloração esverdeada. Áreas agrícolas com predomínio de solo exposto ou palhada seca ([Fig. 6b](#)) apresentam padrões róseo ou esbranquiçado, enquanto áreas com cobertura vegetal densa, como são as áreas de reflorestamento ([Fig. 6c](#)), aparecem com coloração vermelho-escura, fruto da alta reflectância das folhas verdes na faixa espectral do infravermelho próximo.

A textura corresponde ao padrão de arranjo espacial dos elementos texturais (menor feição contínua e homogênea distinguível em uma imagem de satélite e passível de repetição). A textura pode variar de lisa a rugosa e depende não só das características dos alvos, mas também da resolução do sistema sensor e da escala de trabalho. A [Fig. 7](#) mostra exemplos de imagens de satélite com texturas lisa e rugosa. Em termos de forma geométrica, as feições naturais geralmente tendem a apresentar formas irregulares, enquanto as feições antrópicas frequentemente apresentam padrões geométricos regulares. Um exemplo clássico de feição regular são as áreas irrigadas por sistema de irrigação por pivô-central ([Fig. 8](#)). Todos os elementos de fotointerpretação mencionados aqui, isto é, a tonalidade, a textura e as formas geométricas dos alvos, são conceitos visuais interrelacionados que auxiliam a percepção e o reconhecimento de objetos e feições no terreno ([ROSA, 2007](#)).

Tabela 2. Exemplo de chave de interpretação utilizada para o mapeamento de cobertura vegetal do Bioma Cerrado.

Classe de cobertura vegetal	Padrões característicos de interpretação	Exemplo numa composição colorida RGB/453
Savana arborizada(Sa)	Padrão de cor: vermelho brilhante; textura: intermediária a rugosa; forma geométrica: irregular	
Savana parque (Sp)	Padrão de cor: verde escuro; textura: intermediária a rugosa; forma geométrica: irregular	
Savana gramíneo-lenhosa (Sg)	Padrão de cor: verde claro; textura: intermediária; forma geométrica: irregular	
Pastagem cultivada (Ap)	Padrão de cor: verde azulado; textura: intermediária a lisa; forma geométrica: regular	



(a)



(b)



(c)

Fig. 6. Exemplos de composições coloridas RGB/453 do satélite Landsat ETM+ sobre algumas áreas agrícolas do Bioma Cerrado. (a) Pastagem cultivada; (b) Cultura agrícola; e (c) Reflorestamento.



(a)



(b)

Fig. 7. Exemplos de composições coloridas RGB/453 do satélite Landsat ETM+ da região de Barreiras, Bahia, mostrando áreas com textura lisa (a) e rugosa (b).

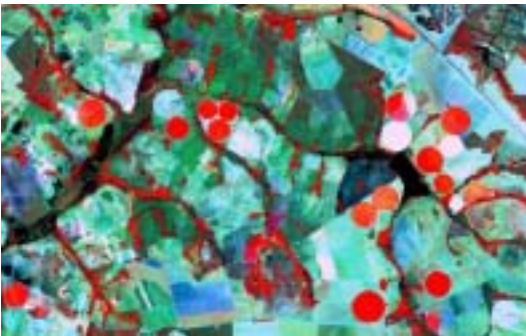


Fig. 8. Exemplo de composição colorida RGB/453 do satélite Landsat ETM+ da região de Cristalina, MG, mostrando áreas circulares no recorte de imagem, associado a sistema de irrigação por pivô-central.

Resultados

A porcentagem de cobertura vegetal natural encontrada para o Bioma Cerrado foi de 60,5 %. Essa porcentagem é maior que, por exemplo, os 45 % de remanescentes que foram encontrados pela Conservação Internacional ([MACHADO et al., 2004](#)). A diferença nos dois valores pode ser explicada pelas diferenças no conceito sobre cobertura vegetal natural. Um exemplo típico são os casos de pastagens nativas, consideradas como áreas antrópicas por Machado et al. (2004), em razão da presença de criação de gado bovino e como áreas naturais pelo MMA, pois a vegetação original continua preservada. Outro parâmetro que pode ter contribuído para essa diferença foram as resoluções espaciais distintas dos dois sistemas sensores envolvidos (MODIS e ETM+). Os resultados da Conservação Internacional foram baseados na análise de imagens de satélite com uma resolução espacial de 1 km, mais grosseira que os 30 metros do satélite Landsat. Diferenças nos limites do bioma também podem ter contribuído para a presença dessa diferença. Dos 123,7 milhões de hectares de cobertura vegetal natural encontrados no Bioma Cerrado, 61 % correspondem à formação savânica, vindo em seguida as formações florestal e campestre, com 32 % e 7 %, respectivamente ([Tabela 3](#)).

Um outro aspecto importante que deve ser ressaltado desse estudo é a distribuição espacial bastante heterogênea da cobertura vegetal natural no bioma em questão ([Fig. 9](#)). As áreas mais extensas são encontradas na porção norte da região de estudo, enquanto a maior parte da região sul apresenta um domínio da cobertura vegetal antrópica, com destaque para a intensa antropização na parte do Estado de São Paulo coberta pelo Cerrado. 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, por meio de fornecimento de subsídios e assistência técnica aos pecuaristas interessados ([KLINK; MOREIRA, 2002](#)). A porção norte encontra-se relativamente preservada por causa das dificuldades de acesso e pela distância aos grandes centros urbanos e consumidores.

Na [Tabela 4](#), são mostradas as porcentagens de remanescentes por unidade federativa. São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul foram os estados que apresentaram os menores índices de cobertura vegetal natural: 15 %, 32 % e

32 %, respectivamente. Contudo, os três estados da região norte do Cerrado, isto é, Piauí, Maranhão e Tocantins, foram os estados que apresentaram os maiores índices de preservação: 92 %, 89 % e 79%, respectivamente.

Tabela 3. Cálculo de áreas ocupadas pelas formações 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

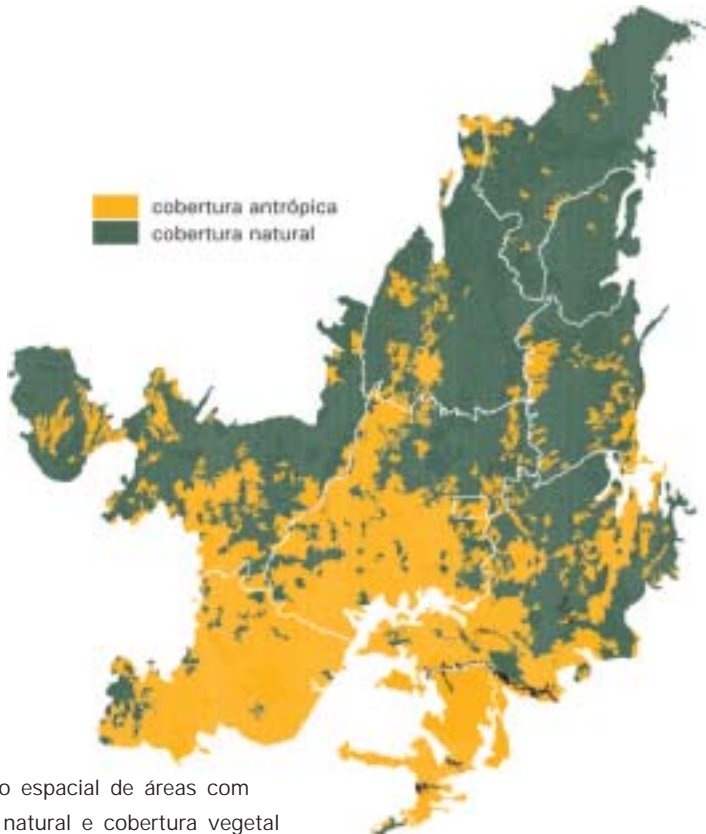


Fig. 9. Distribuição espacial de áreas com cobertura vegetal natural e cobertura vegetal antrópica no Bioma Cerrado.

Tabela 4. Cálculo de área ocupada por cobertura vegetal natural e antrópica em cada unidade federativa coberta pelo Bioma Cerrado.

Estado	Porcentagem do bioma no estado (%)	Cobertura vegetal natural (ha)	Cobertura vegetal antrópica (ha)	Formação florestal (ha)	Formação savânica (%)	Formação campestre	Cobertura vegetal natural
SP	33	1.078.716	6.934.203	833.387	210.441	34.888	13
PR	2	118.692	255.565	20.558	14.048	84.085	32
MS	61	6.935.404	14.722.762	2.867.267	3.599.826	468.311	32
DF	100	213.527	362.138	44.645	162.718	6.164	37
GO	97	14.706.696	18.180.482	2.929.033	11.090.161	687.502	44
MG	57	17.794.873	15.418.690	3.279.762	11.322.147	3.192.964	53
MT	40	23.740.333	12.148.095	7.717.102	15.868.080	155.151	66
BA	27	11.209.896	3.963.095	3.333.902	7.357.605	518.389	74
TO	92	20.251.786	4.838.460	4.639.932	13.362.688	2.249.165	79
MA	65	18.753.706	2.318.028	12.337.965	6.032.951	382.790	89
PI	37	8.590.582	758.423	2.319.035	6.210.085	61.462	91

Referências

- ADÂMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L. G.; MADEIRA NETTO, J. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W. (Ed.). **Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC; São Paulo: Nobel, 1986. cap. 2, p. 33-74.
- CARVALHO, L. M. T. Mapeamento da flora nativa e das florestas de produção do estado de Minas Gerais: procedimentos metodológicos e resultados parciais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia, GO. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4029-4036.
- 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: INPE, 1991. (INPE-5291-PRE/1696).
- EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: PINTO, M. N. (Org.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. 2. ed. rev. ampl. Brasília: Universidade de Brasília, 1994. cap. 1, p. 17-73.
- 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**, v. 10, p. 731-744, 2004.
- FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.; SANO, E. E.; SHIMABUKURO, Y. E. Spectral linear mixture modelling approaches for land cover mapping of tropical savanna areas in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 2, p. 413-429, 2007.
- IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. (Manuais Técnicos em Geociências, 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: 14 set. 2007.
- JEPSON, W. A disappearing biome?: reconsidering land-cover change in the Brazilian savanna. **The Geographical Journal**, v. 171, n. 2, p. 99-111, 2005.
- KLINK, C. A.; MOREIRA, A. G. Past and current human occupation, and land use. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Ed.). **The Cerrados of Brazil**. Nova Iorque: Columbia University Press, 2002. cap. 5, p. 69-88.

KRONKA, F. J. N.; NALON, M. A.; MATSUKUMA, C. K.; YWANE, M. S. S.; LIMA, L. M. P. R.; GUILLAUMON, J. R.; BARRADAS, A. M. F.; PAVÃO, M.; MANETTI, L. A.; BORGIO, S. C. Monitoramento da vegetação natural e do reflorestamento no estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., Goiânia, GO. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1569-1576.

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**. Brasília: [s.n.], 2004. 23 p. Relatório técnico.

MANTOVANI, J. E.; PEREIRA, A. Estimativa da integridade da cobertura vegetal de Cerrado através de dados TM/Landsat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos, SP. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1998. 1 CD-ROM.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1998. cap. 3, p. 87-166.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 6. ed. Uberlândia: EDFU, 2007. 248 p.

SANO, E. E.; FERREIRA, L. G.; HUETE, A. R. Synthetic aperture radar (L-band) and optical vegetation indices por discriminating the Brazilian savanna physiognomies: a comparative analysis. **Earth Interactions**, v. 9, n. 15, p. 1-15, 2005.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote sensing, models and methods for image processing**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1997. cap. 9, p. 389-474.

SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T. **Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais**. Lavras: UFLA, 2006. 288 p.

Mapping the Vegetation Cover of the Cerrado Biome: strategies and results

Abstract

Mapping Cerrado's vegetation cover is difficult because of its geographical extent (~ 204,7 million hectares), high seasonality, and high spatial and temporal dynamics of its land use activities. The objective of this study was to map the vegetation cover of the Cerrado biome in the 1:250,000 scale using Landsat satellite imageries from the year of 2002. The following classes of land use were considered: croplands, planted pasturelands, reforestations, urban settlements and mining areas. For natural vegetation classes, we used the Brazilian System of Vegetation Classification, developed by the IBGE – Brazilian Institute for Geography and Statistics. The methodological approach involved segmentation of the Landsat imagery, followed by the visual association of the resultant segments with thematic mapping classes of the study area. Based on such semi-automatic approach, we estimated a 61.5 % of natural vegetation cover in the Cerrado. This percentage varied greatly depending upon the region in this biome; from less than 10 % in the south to higher than 90 % in the north of Cerrado.

Index terms: Cerrado, land cover mapping, remote sensing, Landsat.