



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA MULTIDISCIPLINAR DE DOUTORADO  
EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**



**MANUEL EDUARDO FERREIRA**

**MODELAGEM DA DINÂMICA DE  
PAISAGEM DO CERRADO**

Goiânia, 2009

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**MANUEL EDUARDO FERREIRA**

**MODELAGEM DA DINÂMICA DE  
PAISAGEM DO CERRADO**

Tese apresentada ao Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais (CIAMB) da Universidade Federal de Goiás, como pré-requisito para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

**Orientador:**  
Professor Dr. Fausto Miziara

Goiânia  
Janeiro de 2009

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**(GPT/BC/UFG)**

Ferreira, Manuel Eduardo.  
F383m Modelagem da dinâmica de paisagem do cerrado [manuscrito]  
/ Manuel Eduardo Ferreira. – 2009.  
115 f.: il., color., figs.

Orientador: Prof. Dr. Fausto Miziara.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais, 2009.

Bibliografia.  
Inclui lista de apêndices.

1. Ecologia da paisagem – Cerrado 2. Bioma Cerrado 3. Modelagem sócio-ambiental 3. Desmatamento 4. Paisagem – Proteção I. Miziara, Fausto II. Universidade Federal de Goiás. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. **Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais** III. Título.

CDU: 504.54(251.3)

## DEDICATÓRIA

**Àqueles que oraram por mim,  
dedico este trabalho...**

À minha esposa, Samantha.

Aos meus pais, Laerte e Libânia.

Aos meus irmãos, Laerte Júnior, Antônio José e João Eduardo.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Fausto Miziara, pela orientação e ensinamentos ao longo desta etapa acadêmica e profissional. Sua confiança e tranquilidade foram essenciais para a conclusão desta pesquisa.

Ao professor Dr. Laerte Guimarães Ferreira Júnior, irmão de sangue e companheiro, pelos *insights* e incentivos em minha ainda recém-formada carreira de pesquisador.

Aos professores avaliadores da tese, a Dra. Francis Lee Ribeiro, o Dr. Britaldo Silveira Soares Filho, o Dr. Edson Eyji Sano e o Dr. Nilson Clementino Ferreira, por aceitarem o convite de participação nesta banca de doutorado, contribuindo com o aperfeiçoamento do trabalho.

Ao Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) da Universidade Federal de Goiás (UFG), o meu agradecimento a toda a equipe, em nome do Coordenador geral, Dr. Laerte Guimarães Ferreira Júnior, pelo contínuo suporte técnico e acadêmico.

Ao Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), o meu agradecimento a toda a equipe, em nome do Coordenador geral, Dr. Britaldo S. Soares Filho, pelo apoio com a modelagem ambiental na plataforma DINAMICA-EGO.

À Universidade Federal de Goiás, no âmbito do Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais, o meu agradecimento ao corpo docente, discente e administrativo, pelo amadurecimento profissional e pessoal propiciado a mim durante esta trajetória.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro a esta pesquisa.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	06
ABSTRACT .....	07
ESTRUTURA DA TESE .....	08
Introdução, hipóteses e objetivos .....	09
Desenvolvimento da pesquisa .....	12
Conclusões .....	21
Referências bibliográficas .....	22
LISTA DE APÊNDICES .....	24
Apêndice A .....	25
Apêndice B .....	39
Apêndice C .....	67
Apêndice D .....	98

## RESUMO

Neste trabalho são apresentados e discutidos os estudos a respeito das variáveis relacionadas ao atual processo de ocupação antrópica do bioma Cerrado, com vistas à realização de uma modelagem socioambiental para a referida região. A motivação para esta pesquisa partiu da constatação do avançado estágio de conversão deste ecossistema (na ordem de 40%), o qual, desde a década de 1970, vem passando por uma intensa e contínua transformação em sua paisagem natural. Dentre as principais atividades modificadoras dessa paisagem, destacam-se as extensas áreas de pastagens (bovinocultura), predominantes na região, seguida pelas grandes monoculturas (ex. soja, milho e algodão). Assim como na Amazônia, as atividades madeireiras também atuam neste bioma, ainda que em menor escala, voltadas principalmente para a produção de carvão vegetal. Já nos últimos anos, com o ressurgimento do mercado de biocombustíveis (entre estes, o etanol da cana-de-açúcar), veio à tona a discussão sobre uma nova expansão da fronteira agrícola no Cerrado, com riscos à manutenção de sua biodiversidade e outros serviços ambientais (ex. recursos hídricos e absorção de CO<sub>2</sub>). Em geral, os resultados demonstram que as variáveis naturais, dentre estas a topografia, a geomorfologia, a fertilidade dos solos e o clima (precipitação), estão fortemente atreladas ao processo de conversão do Cerrado, seja em áreas de pastagem ou agricultura, ou em outras atividades (como a urbanização). Da mesma forma se apresentam as variáveis antrópicas, no que diz respeito à infraestrutura (ex. estradas) e a socioeconomia da região, ambas com influência no processo de antropização. A combinação de tais variáveis propiciou também a geração de alguns cenários probabilísticos para o Cerrado, os quais indicam uma expansão das áreas convertidas na ordem de 13,5%, até o ano de 2050 (sobretudo ao Norte e Nordeste do bioma), caso mantidos os atuais níveis de governança e desenvolvimento econômico. Por fim, tais cenários futuros podem servir como orientação aos tomadores de decisão quanto à expansão ora em curso da fronteira agrícola no Cerrado, bem como àquela possível de ocorrer a médio e longo prazo.

**Palavras-chave:** bioma Cerrado, modelagem socioambiental, mudanças no uso da terra, desmatamentos, cenários futuros.

## ABSTRACT

In this work, we investigated, through different studies, a set of variables related to the land cover change of the Cerrado biome, in order to propose a social-environmental modelling for the region. The motivation for this research came from observing the severe stage of conversion in this ecosystem (around 40%), which, from the early 70's on, has been subject to an intense and continuous transformation in its natural landscape, mainly due to cattle ranching and agriculture activities (e.g. soybean, maize and cotton). As in the Amazon, although to a smaller extent, logging, aiming at the production of charcoal, also contributes to the ongoing induced changes. In recent years, with the resurgence of the biofuel market (in particular, the sugarcane ethanol), the discussion also came to light on a new expansion of the agricultural frontier in the Cerrado, threatening both the maintenance of its biodiversity, as well as other environmental services (e.g. water resources and absorption of greenhouse gases, such as CO<sub>2</sub>). In general, the results show that the natural variables, mainly the topography, the geomorphology, soil fertility and climate (precipitation), are strongly associated to the process of conversion of the Cerrado, in both pasture and agriculture areas, or other activities (such as urbanization). Likewise, the human variables, such as infrastructure (e.g. roads) and the socioeconomics of the region, significantly influence human conversion. The combination of these variables allowed the generation of probabilistic scenarios for the Cerrado, which indicates an expansion of the converted areas in about 13,5% by the year 2050 (especially in the North and Northeast biome), if the current levels of governance and economic development are maintained. We expect these scenarios can subsidize the decision-makers regarding the current and near future expansion of the agriculture frontier in the Cerrado biome.

**Keywords:** Cerrado biome, social-environmental modelling, land cover change, deforestation, future scenarios.

## ESTRUTURA DA TESE

A presente tese de doutorado, realizada no âmbito do Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais (CIAMB), da Universidade Federal de Goiás (UFG), segue o estilo *monográfico com artigos científicos*, organizada em quatro partes principais:

- 1) Introdução, seguida pelas hipóteses e objetivos;
- 2) Desenvolvimento da pesquisa, contemplando brevemente cada uma das questões científicas (problematização), bem como seus principais resultados, com menção aos apêndices da tese;
- 3) Conclusões;
- 4) Apêndices (A, B, C e D), contendo os textos integrais dos artigos apresentados na tese e do relatório técnico de validação de pesquisa em campo.

As revisões de literatura, procedimentos metodológicos, resultados e discussões são tratados em detalhe pelos respectivos artigos.

## INTRODUÇÃO

O ecossistema de savanas ocupa cerca de 15% da superfície terrestre (zona neotropical), com presença marcante na América do Sul, África e Oceania (Global Land Cover, 2003), num gradiente vegetacional dividido em estratos herbáceo, arbustivo e arbóreo. No Brasil, as savanas (ou bioma Cerrado) cobriam, originalmente, 22% do território, distribuídas de forma contínua por 10 Unidades da Federação, além do Distrito Federal (IBGE, 2004). O estado com a maior presença de Cerrado era Goiás (97% do território), seguido por Tocantins (92%) e o Maranhão (65%).

No entanto, nas últimas décadas, essa distribuição de Cerrado foi fortemente modificada. Levantamentos do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira - PROBIO (Sano et al., 2008), baseados em imagens de satélite Landsat TM (ano-base 2002), apontam para uma redução deste bioma na ordem de 40% (~ 800 mil km<sup>2</sup>), o equivalente, por exemplo, à soma da superfície de países como a França e a Itália, ou à de estados brasileiros como São Paulo e Minas Gerais (juntos).

Boa parte desta conversão antrópica se deve às políticas de expansão agropecuária, intensificadas a partir da década de 1970 (Miziara e Ferreira, 2008), quando a precária infraestrutura da região e a distância aos principais mercados consumidores passa a ser compensada por atrativos econômicos e tecnológicos, como incentivos fiscais, baixo preço de terras e o desenvolvimento de novos insumos e práticas agrícolas (variedades de sementes, adubos e maquinários), adaptados ao clima sazonal e ao relevo plano do Cerrado. Outro motivo foi o próprio estímulo à ocupação do território (Centro-Oeste e Norte do país), visto como estratégico para o governo militar à época.

Se, por um lado, com a antropização desse bioma, o país alcançou um respeitável patamar econômico, sobretudo pela elevada produção de grãos, carnes e derivados (*commodities* no mercado externo), por outro, hoje já se reconhece que uma significativa parcela de sua biodiversidade foi perdida (ou simplesmente não foi identificada a tempo), com o risco de extinção ainda presente (Myers et al., 2000).

Esse valor ecológico, difícil de ser mensurado, é representado não apenas pela reconhecida fauna e flora da região (Mendonça et al., 1998), mas por todos os serviços ambientais atrelados a elas, tais como a manutenção dos recursos hídricos,

solos, clima, cadeia trófica e o papel de sumidouro de gases de efeito estufa. Quanto aos recursos hídricos, nascentes de três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul (São Francisco, Araguaia/Tocantins e Paraná/Paraguai) são encontradas nos limites fisiográficos deste bioma (Eiten, 1994; Ratter et al., 1996), fato este que eleva a sua importância socioambiental.

Especificamente na bacia do rio Araguaia (alto e médio curso, à jusante de Luiz Alves), cenário de um dos maiores rios tropicais do mundo, vários estudos confirmam a transformação dessa paisagem, sobretudo pela perda da cobertura vegetal nativa, com sérias implicações nos sistemas hidrológicos, geomorfológicos e bioquímicos em seus canais (Costa et al. 2003; Latrubesse et al., 2005; Neill et al., 2006). Análises com imagens do sensor CBERS, obtidas entre os meses de agosto e setembro de 2006, indicam que 62% desta bacia (de um total de 120 mil km<sup>2</sup>) apresentam alguma forma de distúrbio ecológico. O mesmo ocorre com as áreas de preservação permanente ao longo dos rios, onde 45% já estão desprovidas de sua cobertura vegetal nativa (Ferreira et al., 2008). É presumível que as demais bacias de grande porte no Cerrado também estejam comprometidas nestes aspectos.

Com base no exposto, justifica-se um amplo e contínuo estudo sobre as variáveis fisiográficas e humanas que vêm conduzindo parte do processo de ocupação no Cerrado, como forma de orientação e planejamento às mudanças em curso ou futuras no referido bioma.

A principal **hipótese** dessa pesquisa é a de que o processo de conversão em andamento no bioma Cerrado pode ser explicado pela combinação dos elementos fisiográficos e de infraestrutura, bem como pela proximidade das áreas já convertidas. Por sua vez, o entendimento da dinâmica desses elementos na paisagem possibilita a elaboração de cenários futuros para este bioma.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo geral**

Apresentar uma modelagem socioambiental para o bioma Cerrado, amparada no pressuposto de que a ocupação desta região possa ser prevista em função da análise integrada de variáveis físicas e antrópicas.

### **Objetivos específicos**

(1) avaliar o papel das variáveis físicas, bióticas e socioeconômicas na ocupação do bioma Cerrado;

(2) desenvolver um modelo determinístico sobre a conversão do Cerrado em Goiás (área-teste);

(3) com base no entendimento e integração das variáveis supracitadas, elaborar um modelo dinâmico e probabilístico para todo o bioma Cerrado, visando a geração de cenários futuros até o ano de 2050.

## DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Para a verificação da principal hipótese da tese, a pesquisa foi desenvolvida em torno de três questões científicas, listadas abaixo, e contempladas pelos apêndices (artigos):

- 1) Como os aspectos físicos da paisagem condicionam a ocupação antrópica no bioma Cerrado?
- 2) Qual a influência do preço da terra sobre o atual estado de conservação deste bioma?
- 3) Com base nos desmatamentos em curso, quais seriam os cenários futuros de ocupação no Cerrado?

Na maior parte dos estudos descritos neste trabalho, o estado de Goiás foi empregado como área-teste, devido à sua localização central no Cerrado, com grande representatividade quanto aos aspectos naturais (solos, relevo e variedade fitofisionômica) e socioeconômicos. Numa etapa final, a pesquisa foi expandida para todo o bioma. A resposta para cada questão científica foi elaborada a partir da produção de três artigos científicos, além de um trabalho de campo para validação dos dados atuais de desmatamentos, apresentados nos apêndices desta tese de doutorado.

**1ª Questão científica** (Como os aspectos físicos da paisagem condicionam a ocupação antrópica no bioma Cerrado?): respondida no **Apêndice A**.

Sobre a intensa ocupação antrópica no Cerrado, a qual persiste até os dias atuais, alguns fatores foram essenciais, como a topografia suave (em grande parte, inferior a cinco graus de declividade), a infraestrutura (malha rodoviária e pólos de desenvolvimento ou consumo) e o valor da terra.

Especificamente sobre os aspectos físicos da paisagem, e a maneira como estes condicionam a ocupação do bioma Cerrado, esta etapa da pesquisa é discutida no apêndice A, através do artigo intitulado “**Current Land Use and Conversion Trends in the Savanna Environments of Central Brazil: a Preliminary Assessment from a Landscape Perspective**”.

Assumindo que as formas da superfície (i.e., a sua geomorfologia), juntamente com os respectivos parâmetros morfométricos da paisagem (como a declividade),

exercem uma forte influência no arranjo espacial de uma determinada região, este artigo objetivou, sob esta perspectiva, analisar a atual ocupação do solo no estado de Goiás (área-teste). Com base neste entendimento, foram realizados alguns cenários futuros (determinísticos) sobre o avanço da conversão antrópica no Cerrado Goiano.

A partir de uma primeira análise do relevo em Goiás, associada ao atual mapa de uso da terra, constatou-se que 79% do estado encontram-se em terrenos com declividade menor que cinco graus, enquanto 14% está situado entre 5 e 10 graus. Ou seja, praticamente 93% dos terrenos estão em até 10 graus, indicando, por exemplo, um excelente potencial de utilização agropecuário. Quanto ao uso da terra propriamente dito, 93% da agricultura ocorrem em terrenos com declividades de até 5°, enquanto outros 6% encontram-se em áreas entre 5 e 10 graus. Já as áreas de pastagem, estas apresentam uma menor dependência ao relevo plano e à fertilidade do solo. Ainda assim, 86% das pastagens em Goiás estão em áreas de até 5 graus, enquanto 12% aparecem em declividades moderadas, entre 5 e 10 graus.

Quanto à cobertura vegetal nativa, constatou-se que boa parte dos remanescentes (63%) encontra-se em áreas com baixa declividade (até 5 graus), enquanto 22% situam-se em terrenos entre 5 e 10 graus (ainda passíveis de conversão). O restante da cobertura de Cerrado, com maior grau de preservação, concentra-se no Nordeste goiano, área esta com maior presença de estruturas geológicas (rochas pré-cambrianas) e, por conseqüência, com um relevo mais movimentado (declividade de 45 graus ou superior).

Em relação às unidades geomorfológicas de Goiás (Latrubesse e Carvalho, 2006), é na Superfície de Aplainamento Regional (SAR) II, uma das mais antigas com predominância em Goiás, que se concentra grande parte da agricultura, ocupando 8% do território goiano, com uma redução gradativa desta atividade nas superfícies de aplainamento regional III (5% do estado) e IV (3% do estado), sendo as duas últimas geologicamente mais novas, isto é, com um relevo naturalmente mais escarpado (menos apropriado para a agricultura mecanizada, de larga escala). No sentido inverso está a atividade de pecuária, melhor ajustada a estas superfícies mais novas, com 17% (em relação à área estadual) na SAR IV, 10% (em relação à área estadual) na SAR III e apenas 5% (em relação à área estadual) na SAR II. A pecuária ainda predomina nas superfícies denominadas como “Estruturais” ou

“Morros e Colinas”, com aproximadamente 2% e 3% (em relação à área estadual), respectivamente, onde a instabilidade do terreno aumenta naturalmente.

Com respeito à vegetação nativa em Goiás, nas áreas com menor estabilidade em termos estruturais, com declividade normalmente maior (ex. Morros e Colinas), predominam um Cerrado com fisionomia mais arbórea, enquanto que fisionomias gramíneas e arbustivas tendem às superfícies mais estáveis (ex. SAR I e II), gradativamente.

Com base nos resultados apresentados, dois cenários determinísticos, quanto ao uso do solo em Goiás, se apresentam como os mais prováveis. No cenário 1, considerando os terrenos com até 5 graus de inclinação, estima-se que uma área de até 58 mil km<sup>2</sup> possa ser convertida para a agricultura nos próximos anos. No cenário 2 (menos conservador), considerando-se os terrenos de até 10 graus de inclinação, estima-se que uma área de até 80 mil km<sup>2</sup> possa ser ainda incorporada ao crescente mercado do agronegócio. Em ambos os cenários, foram excluídas das estimativas os ambientes ripários (faixa média de 100 m para cada margem dos rios detectados à escala de 1:250.000) e todas as unidades de conservação do estado, presumindo-se que tais áreas estão ou possam ainda ser preservadas.

Numa verificação dos alertas de desmatamentos ocorridos entre 2004 e 2005 para Goiás (empregando-se uma comparação de imagens do sensor MODIS / Índice de Vegetação, com base na metodologia do SIAD<sup>1</sup>), constatou-se que 76% destes alertas (de um total de 746 km<sup>2</sup>) ocorreram em terrenos com até 5 graus de inclinação.

Por fim, os dados confirmam a forte dependência das classes de uso do solo com os aspectos morfométricos da paisagem no Cerrado Goiano, corroborando a tendência de ocupação ora apresentada. Com o contínuo aumento do cultivo de cana-de-açúcar em Goiás, somado ao de outras culturas oleaginosas, torna-se mais difícil a manutenção da biodiversidade no estado, assim como em todo o bioma. Como forma de governança aos cenários apresentados, sugere-se a manutenção das áreas elencadas como prioritárias para a conservação da biodiversidade, poupando 23% dos remanescentes de Cerrado no estado de Goiás.

---

<sup>1</sup> Sistema Integrado de Alertas de Desmatamentos (SIAD) - Universidade Federal de Goiás/Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento.

**2ª Questão científica** (Qual a influência do preço da terra sobre o atual estado de conservação deste bioma?): respondida no **Apêndice B**.

Nos últimos anos, sobretudo com a ameaça de uma mudança climática em nível global e regional, vem ganhando importância na sociedade a idéia de preservação da cobertura vegetal nativa, não apenas para a Amazônia, mas para outros biomas, como o Cerrado. Em fato, este ativo ambiental está comprovadamente relacionado com diversos serviços, dentre estes a manutenção de nascentes, solos e biodiversidade.

Concomitantemente, é fortalecida a idéia no Brasil de que este recurso (i.e., a vegetação nativa) deva ser poupado para as futuras gerações, caracterizando-se como uma forma de desenvolvimento sustentável. Para a região de Cerrado, o ensejo de preservação não é diferente, ainda que a degradação deste bioma ocorra num ritmo intenso. Juntamente com esta consciência ambiental, cresce também a noção do custo (ou valor econômico) atrelado aos recursos naturais, visando a criação de um mercado de conservação (uma espécie de bolsa financeira para a negociação de fragmentos florestais conservados), ainda incipiente no país.

Nessa discussão se situa a segunda questão científica da tese, a qual trata da variação do preço da terra no estado de Goiás e sua relação com os remanescentes de Cerrado. Esta questão é abordada especificamente no apêndice B, através do artigo intitulado “**Ativos ambientais do bioma Cerrado: uma análise da cobertura vegetal nativa e sua relação com o preço da terra no Estado Goiás**”.

Como objetivo principal desta etapa da pesquisa, investigou-se uma possível dependência entre as categorias de preços de terras praticadas em Goiás (área-teste) com a presença (ou a ausência) da cobertura vegetal nativa no estado. Um segundo objetivo foi o de investigar como estas relações se processam com a variável intensidade de pobreza (um passivo socioambiental na região do Cerrado).

Quanto às categorias de preço, estas são basicamente três: Cerrado Agrícola (áreas de Cerrado, teoricamente negociáveis); Terra Agrícola (de alta ou baixa produtividade); e Pastagem Formada (de alta ou baixa produtividade), conforme descrito na metodologia no referido artigo.

As meso-regiões Sul e Sudeste de Goiás apresentam o maior déficit de cobertura vegetal nativa, ao mesmo tempo em que respondem por mais da metade do PIB estadual (liderado por Goiânia, Anápolis e Rio Verde, num total de 10

municípios). Dentre as categorias de preço de terra em Goiás, a categoria “Cerrado Agrícola” é a de maior oscilação (CV, Coeficiente de Variação = 0,6), indicando uma ocupação transitória no estado, seguida pela categoria Pastagem de baixa produtividade (CV = 0,5).

Numa análise de correlação entre as categorias de preço, verificou-se uma maior correlação entre a “Pastagem alta” e a “baixa” (0,84), seguida pela “Agricultura alta” e a “baixa” (0,83), como era esperado na formação dos preços de terras. Por outro lado, identificou-se uma forte correlação (0,74) entre as categorias “Agricultura baixa” e o Cerrado Agrícola, seguida pela “Agricultura alta” e o “Cerrado Agrícola” (0,62), confirmando o interesse do mercado de terras pelas áreas de Cerrado com localidade privilegiada, ou seja, próximas de áreas já incorporadas pela agricultura, estradas e mercados consumidores.

Quanto à interdependência entre o valor de terra e a presença de Cerrado preservado, nota-se que a categoria de preço que mais se beneficia com a cobertura vegetal nativa é a própria “Pastagem de Alto Suporte”, com  $r^2$  de 0,30, enquanto que para a “Agricultura de alta produtividade” foi obtido um  $r^2$  de 0,16. Presume-se, assim, que a agricultura comercial, de larga escala, é mais dependente dos aspectos físicos e socioeconômicos, tais como o relevo adequado e a presença de infraestrutura, respectivamente. A presença de Cerrado nestas áreas, ainda que se ofereça uma infinidade de serviços naturais (ex. proteção do solo e de mananciais hídricos) e até comerciais (extrativismo vegetal, possibilidade de mercado de carbono, etc.), acaba por gerar um custo extra para a preparação do solo (limpeza de terreno, nivelamento, adubação, etc.), além de inventários florestais para o uso legal das mesmas (i.e., nos termos das leis ambientais). O fato é que tais “custos” influenciam no preço deste tipo de terra (devoluta ou não).

No tocante à variável social *intensidade de pobreza* (em nível municipal, com 246 amostras), e sua relação com as categorias de preço de terras e remanescentes, as análises indicam que a intensidade de pobreza tende a aumentar com o aumento de remanescentes na unidade municipal ( $r^2 = 0,38$ ). Em Goiás, este cenário é confirmado com uma maior pobreza na região Nordeste do estado, não coincidentemente a região com maior índice de vegetação nativa (corredor ecológico Paranã-Pireneus).

Observamos também que nas regiões com terras na categoria “Agricultura de alta produtividade” (com os preços mais altos entre as categorias), a associação com

a pobreza é praticamente nula ( $r^2 = 0,06$ ). Assim, num gradiente variando das áreas com agricultura intensiva para as áreas com atividades de pecuária, a associação com a pobreza aumenta, alcançando um  $r^2 = 0,24$  para as áreas avaliadas como “Pastagem de alta produtividade”.

Com base no exposto, conclui-se que a formação do preço da terra em Goiás apresenta baixa dependência à presença de remanescentes de Cerrado, ao mesmo tempo em que este ativo ambiental é pouco valorizado, haja vista a categoria de preço “Cerrado Agrícola” apresentar os valores mais baixos dentre todas as categorias de preços de terras (i.e., sem a correta valoração dos serviços ambientais atrelados a esta região central do bioma). Apesar do Índice de Desenvolvimento Humano apresentar um baixo coeficiente de variação no estado (por ser composto), neste caso o índice de pobreza é maior nas localidades com menor valorização da terra (para todas as categorias de preço). Tais áreas estão, invariavelmente, relacionadas à falta de infraestrutura (no caso, rodovias federais e benfeitorias urbanas) ou à baixa aptidão agrícola.

Como forma de reversão desses passivos ambientais no Cerrado, sugere-se a adoção de um mercado ambiental, expresso na prática por uma bonificação aos proprietários rurais que mantiverem suas reservas legais intactas, bem como as áreas de preservação permanente, além de promover a redução da emissão de carbono e a re-incorporação ao sistema produtivo de áreas degradadas/abandonadas.

### ***Validação do Sistema Integrado de Alertas de Desmatamentos (SIAD) para o bioma Cerrado***

Especificamente sobre o Sistema Integrado de Alertas de Desmatamentos (SIAD), o mesmo foi empregue neste estudo para se calcular a taxa de mudança na paisagem entre o anos de 2003 e 2007, abrangendo toda área de estudo (i.e., o bioma Cerrado). A obtenção desta taxa foi essencial para o desenvolvimento dos cenários futuros de ocupação antrópica, tratados mais à frente pela terceira questão científica da tese (Apêndice C).

Sendo os dados atuais de desmatamentos um elemento fundamental para o desenvolvimento do referido estudo, uma validação de pesquisa em campo para o SIAD foi realizada, agora utilizado no monitoramento de áreas de savanas, com vistas à obtenção de uma taxa de acerto/precisão para o referido sistema (i.e.,

polígonos de mudança detectados de forma semi-automática a partir de comparação de imagens do sensor MODIS, obtidas em datas diferentes). O desenvolvimento metodológico e os resultados desta atividade são descritos pelo relatório técnico apresentado em sua forma original no **Apêndice D**.

Especificamente sobre esta atividade, a mesma foi conduzida em outubro de 2008 nos estados de Goiás (porção nordeste) e Bahia (porção oeste). Os períodos de desmatamentos analisados foram 2003-2004, 2004-2005, 2005-2006 e 2006-2007, atendendo a uma área mínima de 25 hectares e limiar de mudança na paisagem de 30%. No total, 44 amostras (polígonos) foram inspecionados ao longo da rodovia BR-020 (direção Formosa, Goiás - Luis Eduardo Magalhães, Bahia), abrangendo três classes de uso da terra: pastagem, agricultura/reflorestamento e áreas urbanas.

Os resultados indicam uma taxa de acerto para o SIAD de 79%, com a maioria dos alertas ocorrendo sobre áreas de Campo Sujo (11%) e Cerrado denso (88%). Em geral, estas áreas foram convertidas devido à expansão da agricultura (47%) e pastagem (29%), predominantemente na Bahia e em Goiás, respectivamente. Os demais 20% dos polígonos analisados foram considerados como erros de comissão, devido à sazonalidade do Cerrado e/ou à queimadas em áreas de vegetação remanescente. Este estudo também possibilitou um melhor entendimento sobre as paisagens naturais e antrópicas encontradas nas áreas de estudo, indicando o potencial do SIAD para o monitoramento sistemático deste bioma.

**3ª Questão científica** (Com base nos desmatamentos em curso, quais seriam os cenários futuros de ocupação no Cerrado?): respondida no **Apêndice C**.

Por fim, a terceira questão científica desta tese trata especificamente do desenvolvimento de um modelo dinâmico sobre os desmatamentos no bioma Cerrado, com base no entendimento e integração de variáveis explicativas à ocupação deste ambiente, algumas destas já abordadas pelos artigos anteriores (como a proximidade dos desmatamentos já em curso, a topografia e a infraestrutura). Esta questão é respondida no apêndice C, por meio do artigo intitulado “**Modelagem da dinâmica dos desmatamentos no bioma cerrado: cenários e perspectivas para a conservação**”.

Nesse sentido, propôs-se nesta etapa da pesquisa a realização de uma modelagem, visando a elaboração de cenários futuros sobre os desmatamentos no bioma Cerrado. Outros objetivos envolveram a análise das áreas convertidas nestas simulações em função dos limites políticos (Unidades da Federação) e fisiográficos (bacias hidrográficas) contidos na área de estudo. Para tanto, foi adotada a plataforma DINAMICA-EGO (Soares-Filho et al., 2002), visando o desenvolvimento de um modelo de mudança na paisagem baseado no conceito de autômatos celulares.

Para a realização dessa modelagem, foram analisadas oito variáveis: 1) mapa de uso da terra, referente ao ano de 2002 (adotado como estado inicial da paisagem); 2) mapa de desmatamentos, referente ao período de 2003 a 2007 (adotando-se o ano de 2007 como o estado final da paisagem); 3) mapa de relevo (topografia); 4) mapa de fertilidade do solo; 5) mapa de hidrografia; 6) mapa de estradas; 7) mapa de precipitação (clima); 8) mapa de atratividade humana (Índice de Desenvolvimento Humano entre as principais sedes no Cerrado). Todos os mapas supracitados foram elaborados por esta pesquisa.

As referidas variáveis foram integradas, de forma não-linear, no DINAMICA-EGO, e correlacionadas com as mudanças na paisagem entre o estado inicial (2002) e o final (2007), com vistas à obtenção de uma taxa de conversão e à geração de mapas de probabilidade de mudanças para a área de estudo.

Mantidos os atuais níveis de governança, os cenários futuros obtidos por esta pesquisa indicam um acréscimo dos desmatamentos sobre as áreas de remanescentes no Cerrado na ordem de 13,5% até o ano de 2050 (ou o equivalente a 160 mil km<sup>2</sup>), em comparação ao levantamento do ano de 2002 (mapa-base, elaborado pelo MMA/PROBIO), com uma conversão média de 40.000 km<sup>2</sup> por década. Estas mudanças sinalizam para uma expansão da fronteira agrícola no Cerrado em direção às regiões Norte e Nordeste do país, sobretudo nos estados da Bahia, Piauí, Maranhão, Mato Grosso e Tocantins.

Dentre as conseqüências socioeconômicas e ambientais, é previsto um maior comprometimento das bacias hidrográficas de todo o bioma, com prejuízos diretos para os recursos hídricos, solos e biodiversidade da região. Em geral, é prevista uma redução das bacias com um grau de preservação ambiental mais elevado (i.e., com até 30% de área convertida), enquanto bacias com até 70% de conversão tendem a aumentar nesta paisagem do Cerrado.

Espera-se que tais projeções possam orientar os tomadores de decisão (governamentais ou não) com vistas à elaboração e/ou aperfeiçoamento de políticas públicas para a ocupação agrária e conservação ambiental do Cerrado. Faz-se necessário, por exemplo, (1) estimular o uso do solo em áreas já convertidas, como em pastagens menos produtivas, as quais neste bioma ocupam terrenos bastante nobres em termos de topografia e localização; (2) apoiar (em termos financeiros ou de legislação) a recuperação de áreas degradadas, principalmente aquelas com perdas de solo laminar/erosão, incluindo áreas de pastagens e de preservação permanente ao longo dos cursos hidrográficos; e (3) incentivar o pagamento por serviços ambientais aos proprietários rurais que preservam fragmentos de Cerrado com viabilidade de manejo (ex. corredores ecológicos) e áreas de nascentes.

## CONCLUSÕES

Os estudos desenvolvidos no âmbito da tese de doutorado demonstram que a distribuição das classes de uso da terra no bioma Cerrado está fortemente atrelada aos aspectos fisiográficos da paisagem, dentre estes o grau de declividade e a geomorfologia do terreno. As atividades de desmatamentos, ora em curso nesse bioma, têm ocorrido, preferencialmente, de acordo com essa orientação física.

Outros aspectos de ordem natural, como a precipitação climática e a fertilidade dos solos, também exerceram um papel importante para o atual estágio de conversão do Cerrado. Da mesma forma, porém com pesos diferentes, estiveram as variáveis de cunho antrópico, tais como a infraestrutura rodoviária, a proximidade de áreas convertidas, os preços de terras e a própria governança política e ambiental.

As análises aqui empreendidas ainda demonstram a possibilidade de se traçarem cenários futuros sobre essa ocupação, a partir da análise integrada das variáveis mencionadas. As projeções apontam para uma expansão dos desmatamentos no Cerrado como um todo, mas principalmente nas regiões marcadas pelo surgimento de uma nova fronteira agrícola, ao Norte e Nordeste deste bioma.

Estudos complementares, agregando novas variáveis e/ou metodologias, devem ser realizados, com vistas a se obter uma maior precisão quanto aos cenários apresentados, em termos de escala (regionalização) e taxas de conversão (variação ao longo do tempo), bem como de um maior entendimento sobre as finalidades da conversão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COSTA, M. H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J. A. Effects of large-scale change in land cover on the discharge of the Tocantins River, Amazonia. *Journal of Hydrology*, v. 283, n. 12 (206-217), 2003.

EITEN, G. Vegetação do Cerrado (pp. 17-73). In: M. N. Pinto (org.). *Cerrado: Caracterização, Ocupação e Perspectivas*. Editora Universidade de Brasília, Brasília, 1994.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; LATRUBESSE, E. M.; MIZIARA, F. High resolution remote sensing based quantification of the remnant vegetation cover in the Araguaia river basin, central Brazil (pp. 1-4). In: *Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium - IGARSS*. Boston: IEEE, 2008.

GLOBAL LAND COVER 2000 DATABASE. European Commission, Joint Research Centre, 2003. Acesso em jan. 2009. Disponível em < <http://www-gem.jrc.it/glc2000> >.

IBGE. Mapa de biomas do Brasil. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acesso: 10 fev. 2007.

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J.; SINHA, R. Tropical rivers. *Geomorphology*, v. 70, n. 3-4 (187-206), 2005.

LATRUBESSE, E.; CARVALHO, T. Geomorfologia de Goiás e Distrito Federal. Série Geologia e Mineração. Goiânia, Brasil: Superintendência de Geologia e Mineração, 2006.

MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E. Flora vascular do Cerrado (pp. 289-556). In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Eds.). *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1998.

MIZIARA, F.; FERREIRA, N. C. Expansão da fronteira agrícola e evolução da ocupação e uso do espaço no Estado de Goiás: subsídios à política ambiental. In: FERREIRA, L. G. (Org.). *A encruzilhada socioambiental – biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado* (pp. 107-125). Goiânia: UFG, 2008. 223p.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403 (853-858), 2000.

NEILL, C.; ELSENBEER H.; KRUSCHE, A. V.; LEHMANN, J.; MARKEWITZ, D.; FIGUEIREDO, R.O. Hydrological and biogeochemical processes in a changing Amazon: results from small watershed studies and the large-scale biosphere-atmosphere experiment. *Hydrological Processes*, 20 (2467-2476), 2006.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; ATKINSON, R.; RIBEIRO, J. F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation II: comparison of the woody vegetation of 98 areas. *Edinburgh Journal of Botany*, v. 53 (153-180), 1996.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO J. L.; FERREIRA JÚNIOR, L. G. Mapeamento semidetalhado (escala de 1:250.000) da cobertura vegetal antrópica do bioma Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 1 (153-156), 2008.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L. DINAMICA - a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, v. 154 (217-235), 2002.

## LISTA DE APÊNDICES

### **Apêndice A** (p. 25)

FERREIRA, Manuel Eduardo; FERREIRA JÚNIOR, L. G., LATRUBESSE, E. M.; MIZIARA, F. Current Land Use and Conversion Trends in the Savanna Environments of Central Brazil: a Preliminary Assessment from a Landscape Perspective.

### **Apêndice B** (p. 39)

FERREIRA, Manuel Eduardo; MIZIARA, F.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; RIBEIRO, F. L.; FERREIRA, N. C. Ativos ambientais do bioma Cerrado: uma análise da cobertura vegetal nativa e sua relação com o preço da terra no Estado Goiás.

### **Apêndice C** (p. 67)

FERREIRA, Manuel Eduardo; MIZIARA, F.; SOARES-FILHO, B. S.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; Modelagem da dinâmica dos desmatamentos no bioma cerrado: cenários e perspectivas para a conservação.

### **Apêndice D** (p. 98)

FERREIRA, Manuel Eduardo; GARCIA, F. N.; ROCHA, G. F. Validação do Sistema Integrado de Alerta de Desmatamentos para a região de savanas no Brasil. (Relatório técnico).

## APÊNDICE A

### **CURRENT LAND USE AND CONVERSION TRENDS IN THE SAVANNA ENVIRONMENTS OF CENTRAL BRAZIL: A PRELIMINARY ASSESSMENT FROM A LANDSCAPE PERSPECTIVE\***

Manuel Eduardo Ferreira<sup>1</sup>, Laerte Guimarães Ferreira Júnior<sup>1</sup>,  
Edgardo Manuel Latrubesse<sup>2</sup>, Fausto Miziara<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Goiás  
Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais  
Cx. Postal 131, 74001-970, Goiânia - GO, Brasil  
E-mail: manuel@iesa.ufg.br; fausto@fchf.ufg.br; laerte@iesa.ufg.br

<sup>2</sup>Universidad Nacional de La Plata  
Instituto de Geomorfología y Suelos, Calle 3 N 584 1900, La Plata, Argentina.  
E-mail: latrubesse@igs.edu.ar

#### **Abstract**

Assuming landscape physiographic characteristics strongly determine the occurrence of land cover types, in this study we assessed the distribution patterns of natural and converted classes in relation to the major landforms and associated slope ranges encountered in the largest area of continuous savanna formations in Brazil. Our results showed that 93% of the agriculture activities are concentrated at slopes of less than 5°, mostly associated to old regional planation surfaces. Considering the amount of remnant vegetation and the occupation trends, we estimated that between 58,497 to 80,183 km<sup>2</sup> of conversions may occur in the near future.

**Keywords:** Brazilian savanna, Conversion trends, Landscape analysis.

#### **Introduction**

The Brazilian savannas, locally known as Cerrado, are the country's central and second largest biome. Encompassing an area of 2,039,387 km<sup>2</sup> and distributed over 11 states, included the capital Brasília (IBGE, 2006), the Cerrado shelters the headwaters and the largest part of three of the greatest South American watersheds: Paraguai-Paraná, Araguaia-Tocantins and São Francisco (Fig. 1).

Soil, water availability, weather, and local and regional topographic variations create a significant variety of inner ecosystems and subtypes of savanna within the Cerrado. In terms of landscape, these can be essentially divided into grasslands, shrublands, woodlands and dry forests (Ribeiro & Walter, 1998). The Cerrado soils are acidic (pH between 4.0 to 5.5) with a high aluminum content, essentially as a result of intensively weathered and well drained terrains (Motta et al., 2002). As in

---

\* Manuscrito submetido para o *Environmental Research Letters* (jan./2009).

many other tropical savannas, the Cerrado is marked by a pronounced seasonality, with two well-defined seasons: a rainy summer from October to April, with approximately 80% of the annual rainfall, and a dry winter from May to September (Castro et al., 1994).

Such hydric and nutritional limitations, responsible for elaborated adaptive mechanisms, besides the existence of transition or ecotonal areas to all the other major Brazilian biomes, have made the Cerrado the richest savanna ecosystem in the world (Ratter et al., 1996; Scariot et al., 2005). In fact, the Cerrado has been considered one of the world's biodiversity hotspots (Myers et al., 2000), for both its natural value, as well as its endangerment level.

The gentle topography, relatively low land prices, and the construction of Brasilia (Federal District) in 1960 have transformed the Cerrado into the country's most important state for cattle ranching and intensive commodity crops (Klink & Machado, 2005). In the mid-1990s, nearly 40% of all the Brazilian cattle production was in the Cerrado (Sano et al, 2001), as well as 25% of soybean yield, 16% of maize, 13% of rice and 8% of beans.

In consequence of this intensive and aggressive occupation process, the Cerrado is today the most severely threatened biome in Brazil. Recent assessments, based on moderate resolution satellite imagery, estimate that approximately 50% of the biome area has been already converted (Eva et al., 2004; Machado et al., 2004), while the ongoing deforestation is around 16,000 km<sup>2</sup> a year (Ferreira et al., 2007a).

In relation to Goiás, the only state thoroughly within the Cerrado, land conversion has been equally intense, with only 35% of the state area (about 122,805 km<sup>2</sup>) still covered with remnant savanna and forest formations (Ferreira et al., 2006). One of the many negative consequences of this massive land conversion concerns the water resources. In fact, if the state is divided into watersheds of areas greater than 500 km<sup>2</sup>, 69% of them will show less than 50% of remnant vegetation. Likewise, 46% of these watershed are not compliant with the Brazilian Forest Code which determines, for the State of Goiás, that each property leave untouched about 30% of its area (as a legal reserve and permanent protected area) (Bonnet et al., 2006). On the other hand, protected areas of integral protection and sustainable use correspond to only 0.9% and 6.3% of the state area respectively (Novaes et al., 2003).

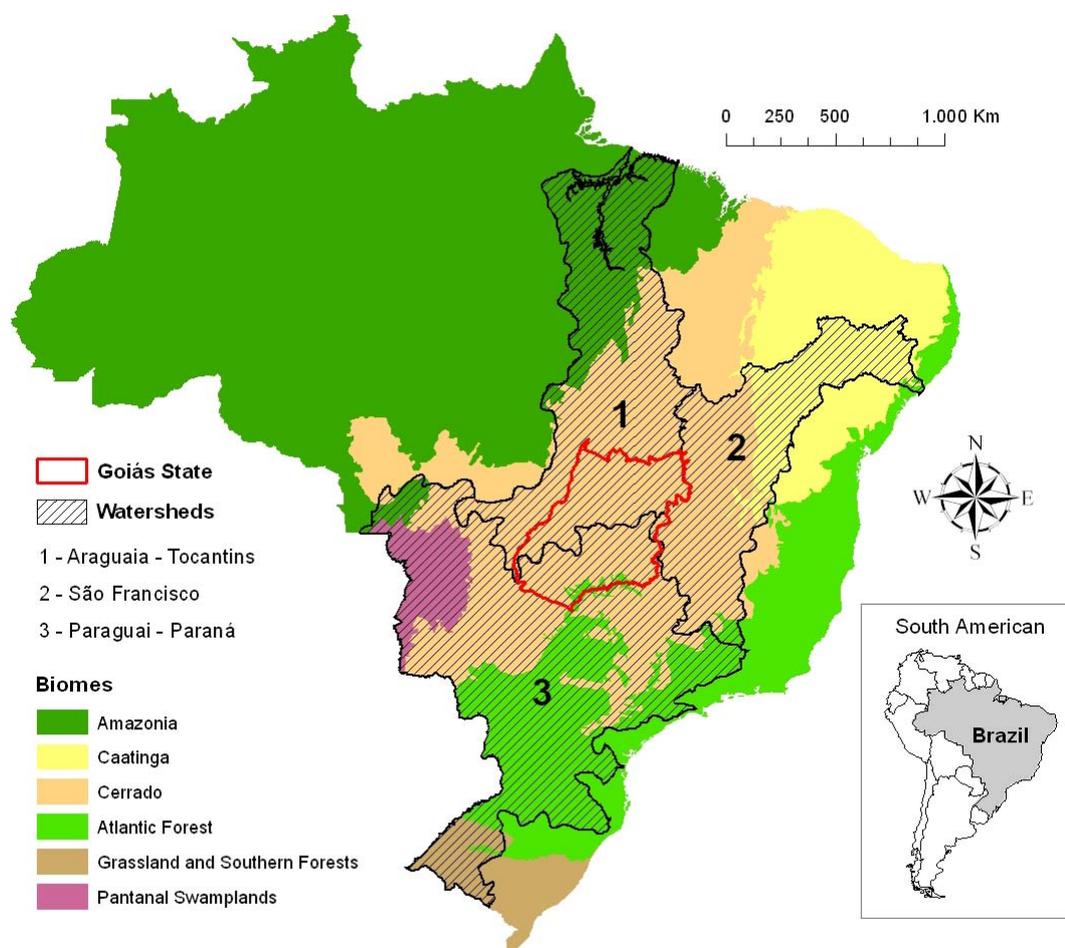


Figure 1. Distribution of Brazilian biomes and location of the three Cerrado watersheds (the State of Goiás is highlighted in the core Cerrado region).

Assuming that landforms and associated morphometric parameters (e.g. slope) are the major driving forces behind the distribution of land cover types and landscape transformations, this paper pursues a detailed understanding of such relations in the State of Goiás and their role as determining current and possible near future occupation scenarios.

## Methods

In this study we considered both the State of Goiás and the Federal District (Brasília), which corresponds to a total area of 345,831.09 km<sup>2</sup>. Currently, Goiás has available an extensive digital spatial database, which has been assembled as part of a collaborative effort involving, among others, the state government, through its Geographic and Statistical Information System (<http://www.sieg.go.gov.br>), and researchers from the Federal University of Goiás, particularly from the Image

Processing and GIS Lab and the Geology and Physical Geography Lab. Such database, of instrumental importance for the understanding of the environmental system and for the ordainment of the territory, regarding its land use and occupation, includes the recent mapping, at the 1:250,000 scale, of the land cover classes (Ferreira et al., 2006) and geomorphologic units (Latrubesse & Carvalho, 2006), the identification of 40 priority areas for biodiversity conservation (Metzger & Casatti, 2006), as well as the annual deforestation estimations provided by the State of Goiás Warning Deforestation System (<http://www.ufg.br/lapig>) (Ferreira et al., 2006, 2007b).

In addition to these four datasets integrated in a Geographic Information System (GIS) environment, we also utilized a terrain topographical modeling elaborated from 72 SRTM imagery (Shuttle Radar Topography Mission), with spatial resolution of 90 meters, and obtained (as 1 degree tiles) from the United States National Geological Survey (<http://srtm.usgs.gov>).

In regards to the State of Goiás land cover map, which comprises both a wide range of Cerrado physiognomies and converted areas, it was produced based on unsupervised classification and visual interpretation of 2001 - 2002 Landsat imagery, ancillary landscape information from the former RadamBrasil project (Allevato, 1979), and ground truth. As continued validation initiatives have demonstrated, this map represents the most detailed knowledge of the State's remaining vegetation and human induced changes currently available (Ferreira et al., 2005). For this study, the following broad remnant and land use categories were considered: 1) Savanna Grassland, 2) Wooded / Woodland Savanna, 3) Pioneer Forest, 4) Seasonal Forest, 5) Agriculture, 6) Pasture, 7) Urban areas, and 8) Water bodies (Fig. 2).

Concerning the state geomorphologic map, another key component in our study, this was based on a classification scheme that allowed both the identification of the morphological and morphometric aspects of the landforms, as well as their dominant genetic and both, past and ongoing processes (i.e. aggradation and denudation). Denudation (erosive) landforms prevail in about 98% of the state area, while aggradation landforms and associated sediment accumulation, exclusively related to the fluvial system (i.e. alluvial plains and lake environments), are found in approximately 1.7% of the area.

Concerning the denudation forms, these have been identified and classified into the following categories: Regional Planation Surfaces, Receding Erosion Zones, Mounts and Hills (with or without structural control), and a set of structurally

controlled landforms such as Hogbacks (steep forms generated by regional folding processes), Braquianticlines (related to intrusive plutonism), Domes (related to faulted blocks), Pseudo-Domes (related to complex tectonic structures over pre-Cambrian rocks), Tabular Landforms (associated to horizontal and sub-horizontal sedimentary rocks and eventually related to the Regional Planation Surfaces), and Karstic Relief (grouped into the category of “structural” landforms).

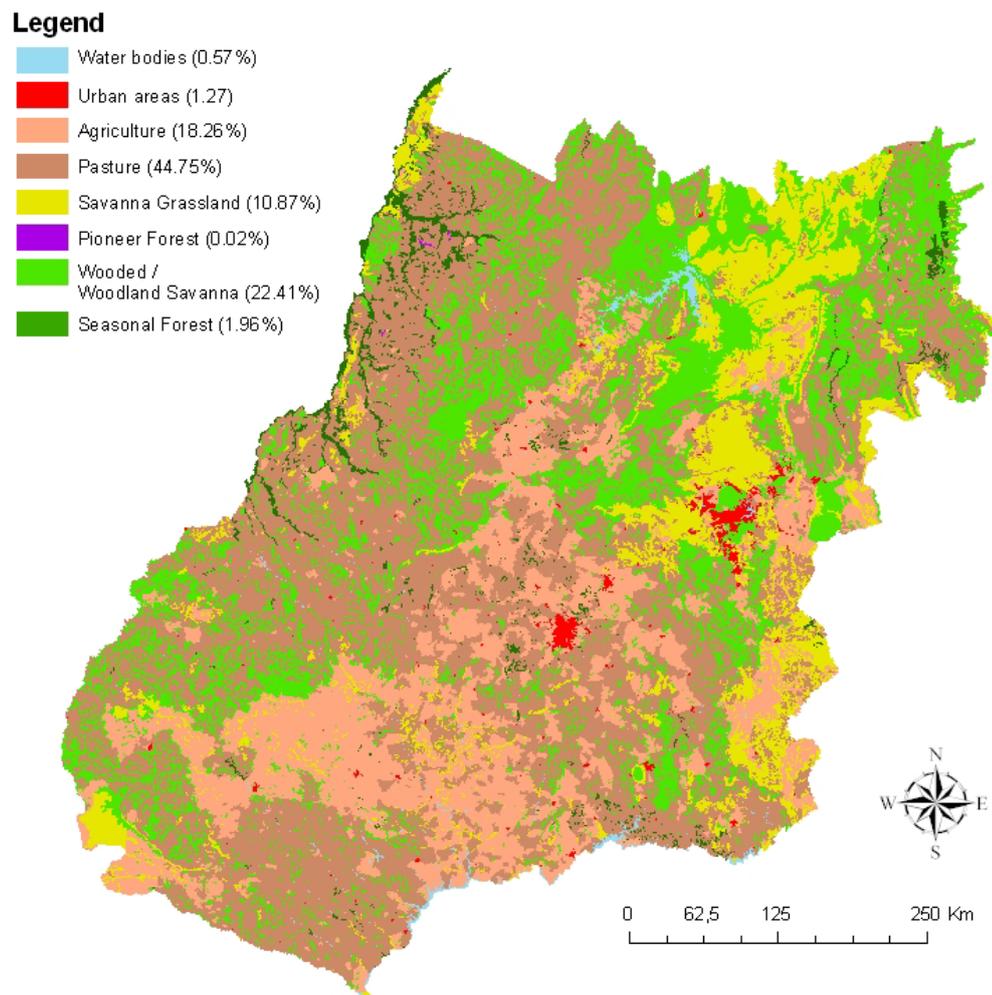


Figure 2. Goiás land cover map depicting the major remnant vegetation and land use classes (and respective % State coverage).

For this study, the landforms were grouped into eight units of analysis: Regional Planation Surfaces (RPS), from I (oldest) through VI (youngest), Receding Erosion Zone (REZ), Mounts and Hills (MH), Structural, and Aggradation (Fig. 3).

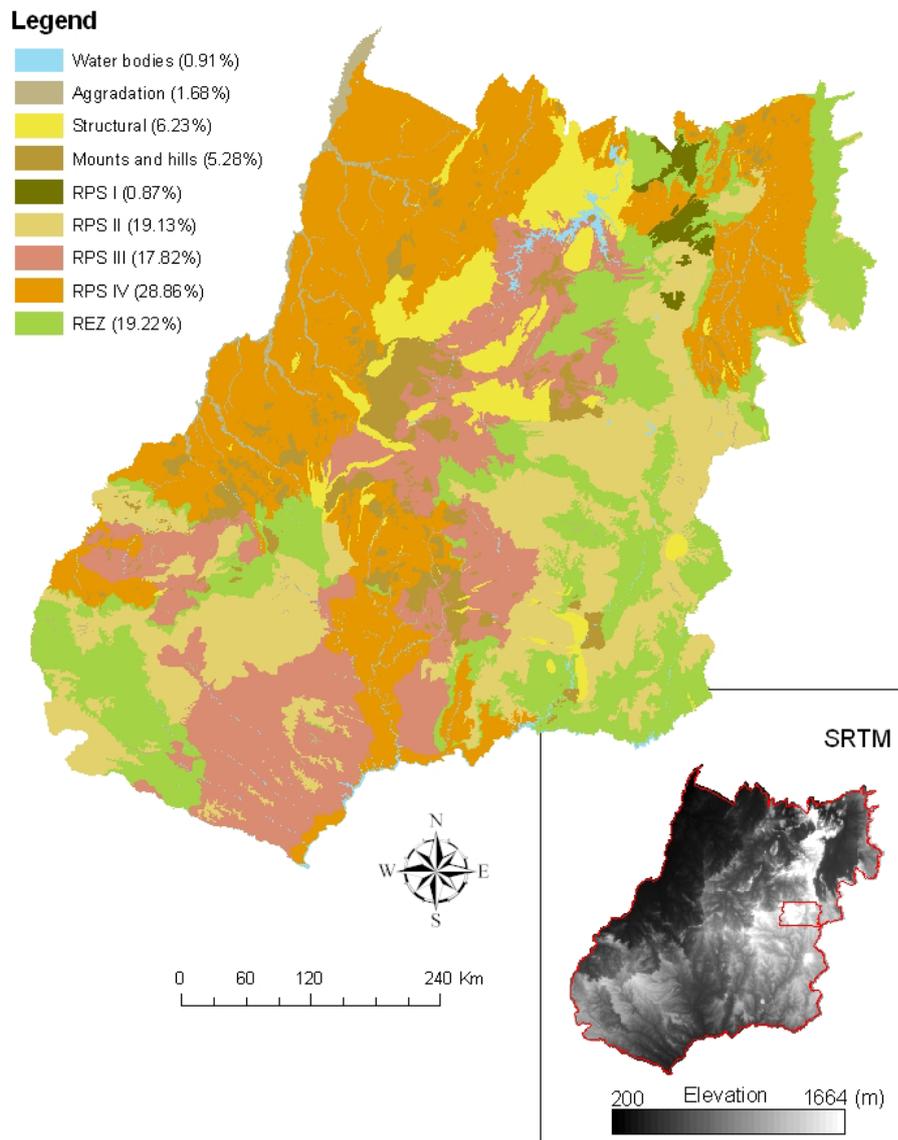


Figure 3. Goiás geomorphological map showing the major landforms units (i.e. broad categories) and their respective area extension (%) in the state. In the detail, the SRTM mosaick highlights both the State hypsometry and drainage pattern.

## Results and Discussions

### Major Land Cover Distribution Patterns

The State of Goiás is marked by gentle topography, with about 79% of its lands distributed over slopes of less than 5° and 14% situated between 5 and 10° slopes. Accentuated hilly terrains, with slopes greater than 10°, are mostly found in the central northern portion of the state, as a consequence of regional folding of Precambrian belts, while weak (5 to 10°) to moderate slopes (10 to 20°) tend to be dominant in the southern part of the State, due to the Receding Erosion Zones

bordering the RPS II and, to a minor extent, to disseminated alkaline intrusive volcanism (Fig. 4a).

As in other Cerrado states, large scale agriculture activity in Goiás occurs preferentially in flat areas (known as “Chapadões”), without intense ongoing natural erosion processes or relevant dissection, situated at altitudes between 700 and 1200 meters, where appropriate conditions, such as regular precipitation, mild temperatures, and well weathered and drained soils prevail. In fact, 93% of agriculture areas occur in slopes up to  $5^{\circ}$ , while 6% are associated with slopes between 5 and  $10^{\circ}$  (Fig. 4b).

On the other hand, cultivated or native pastures, less dependent on soil fertility or mechanization, tend to occur over a wider variety of topographic gradients. Thus, although 86% of the pasture land in the state is found at slopes up to  $5^{\circ}$ , weak slopes (between 5 and  $10^{\circ}$ ) bear about 12% of the total state pasture area. Concerning the remnant vegetation, although it also tends to be predominantly distributed over flat areas (about 63% are found at slopes up to  $5^{\circ}$ ), a significant amount (about 22%) occurs in slopes between 5 and  $10^{\circ}$  (Fig. 4a & 4b).

The spatial patterns concerning the converted areas are corroborated by figures 5 and 6, which depict the distribution of the land use classes according to the main geomorphologic units. As seen in figure 5, 8.1%, 5.2%, and 3.1% of the state are occupied with agricultural areas located over the Regional Planation Surfaces II, III, and IV, respectively. Interestingly, an opposite trend is observed regarding the pasture areas, progressively located over younger surfaces. In fact, for the Regional Planation Surfaces II through IV, the area converted to pastures corresponds to 4.8%, 9.8%, and 17.4% of the state. On the other hand, 28% of the total pasture areas are located at the steeper and more complex Structural, Mounts and Hills, and Receding Erosion Zones domains, corresponding to 1.8%, 2.6%, and 8% of the state, respectively.

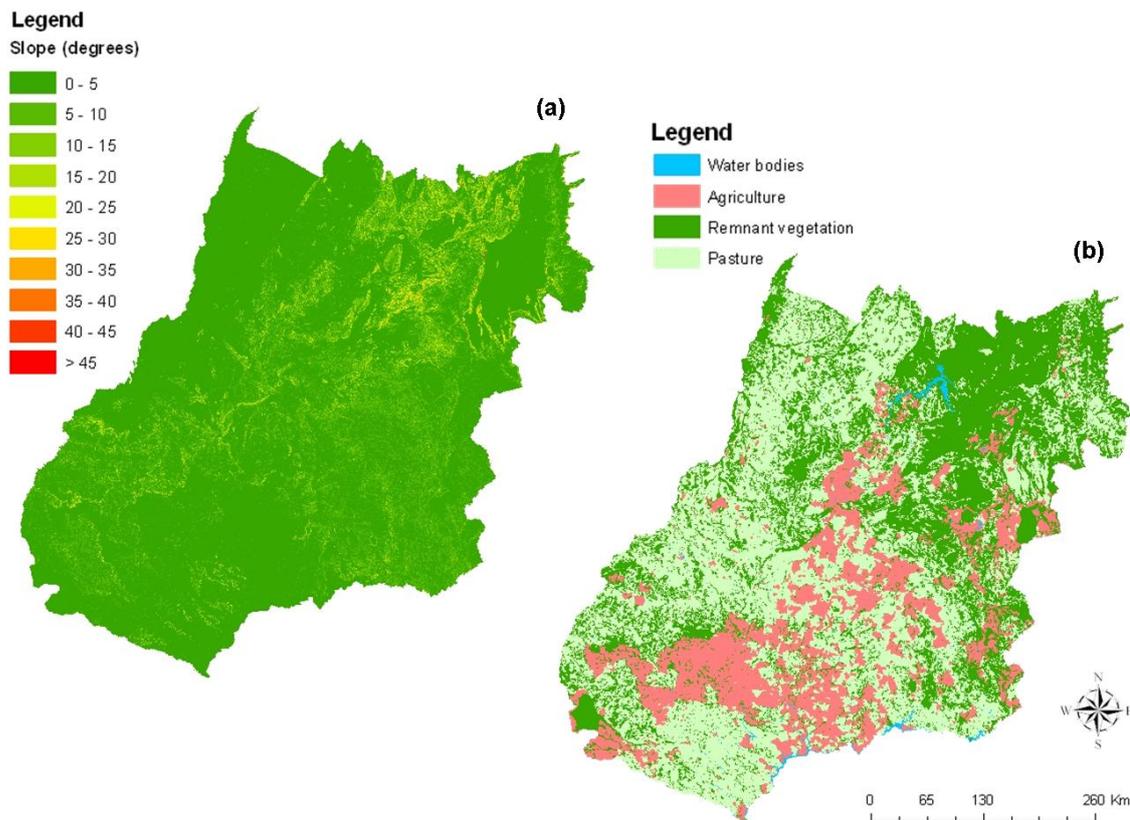


Figure 4. State of Goiás slope (a) and simplified land cover map (b).

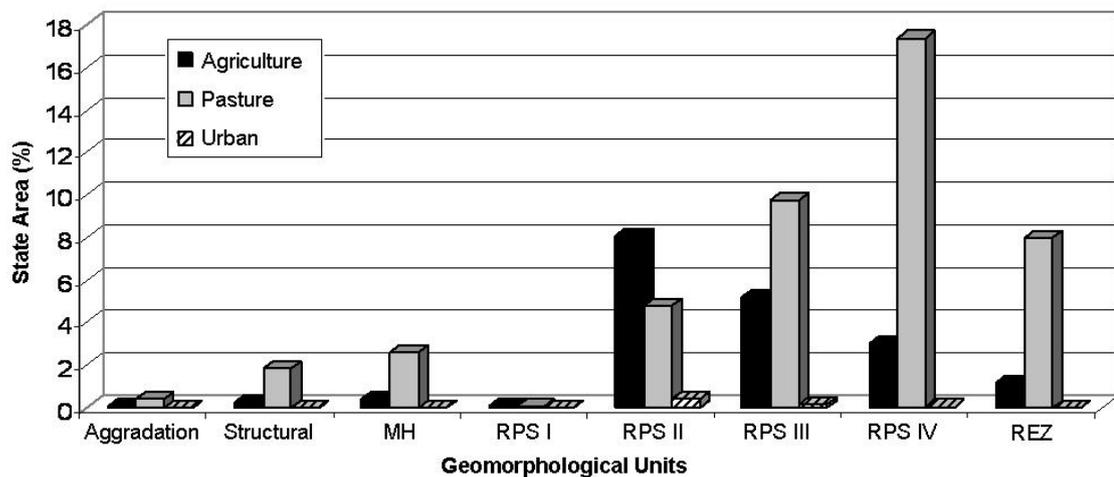


Figure 5. Distribution of the land use classes (in relation to the state area) according to the major geomorphological units.

A closer look at the RPS II, of particular importance due to its intense agricultural activity and urban concentration, indicates that most of the agricultural and urban areas occur at slightly dissected terrains, while pastures tend to prevail at moderate erosion conditions (Fig. 6).

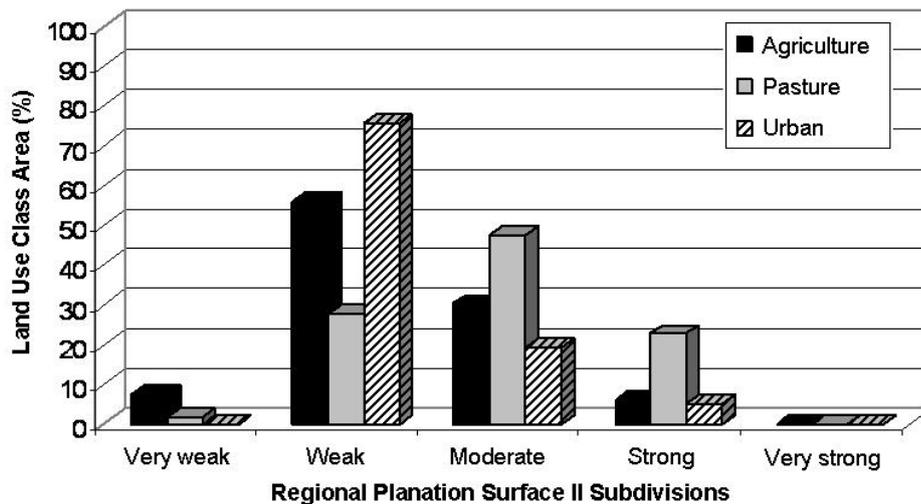


Figure 6. Distribution of the land use classes according to the subdivisions of the Regional Planation Surface II.

In relation to the remnant vegetation, the dominant Wooded/Woodland Savanna type is mostly distributed over irregular topography terrains (e.g. RPS IV, REZ, and Mounts and Hills) (Fig. 7). As for the Savanna Grassland, it is particularly noticed in the RPS II and in the REZ, where steep terrains and shallow soils favor the dominance of grasses and shrubs. Specifically concerning the forest remnants, these are found in the RPS IV, particularly in the northeastern region of Goiás, known for its hilly topography associated also to karstic relief, and in the aggradational units located in the Araguaia River alluvial plain lightly dissected.

### Land Use Expansion Trends

In the 2004 – 2005 period, about 708 km<sup>2</sup> new deforestation, corresponding to 206 converted patches of different sizes (greater than 100 ha), were detected in Goiás. Following the land use tendency in the state, about 76% of the deforested area occurred in slopes of less than 5°, while another 11% changes was detected at the 5 to 10° slope range. With respect to the affected physiognomies, these were predominantly Wooded/Woodland Savanna (52%) and Savanna Grassland types (43%).

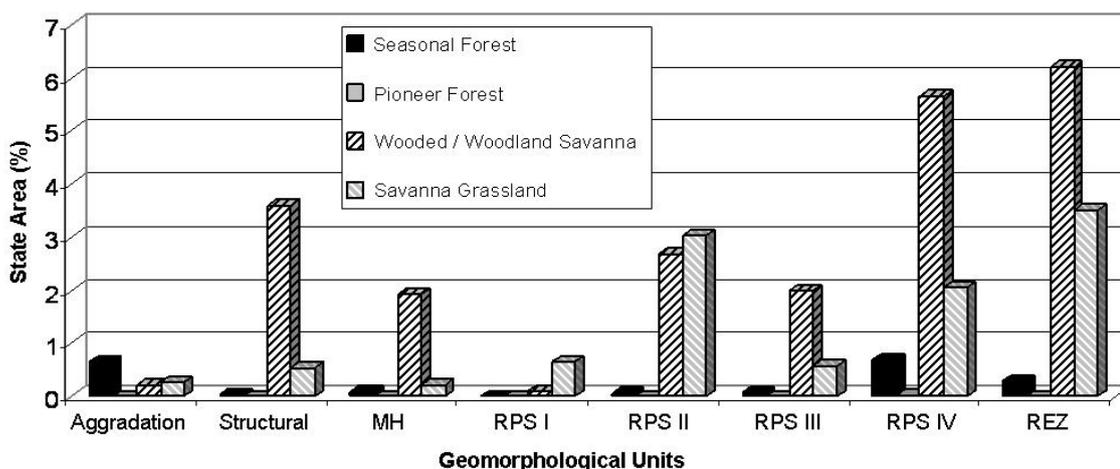


Figure 7. Distribution of the predominant vegetation physiognomies (in relation to the State area), according to the major geomorphological units.

A first approach scenario, based on simple landscape metrics and on the observed spatial occupation patterns and trends, indicates that approximately 58,497 km<sup>2</sup> of native vegetation can be converted over the next years in the State of Goiás (Fig. 8). This figure corresponds to the total amount of remnant vegetation encountered in slopes up to 5°, from which we subtracted the full protection and sustainable use State and Federal protected areas (24,897 km<sup>2</sup>), as well as the permanent protection areas around the drainage network observed at the 1:250,000 scale (assumed here as a 100m buffer). If the remnant vegetation associated to slopes between 5 and 10° are considered, then the potential converted area would increase to about 80,183 km<sup>2</sup>, or 23.2% of the state area.

On the other hand, more optimistic scenarios could be achieved through the 40 priority areas for biodiversity conservation identified in the state. If these areas become somehow protected, future and ongoing deforestation could be decreased up to 23%.

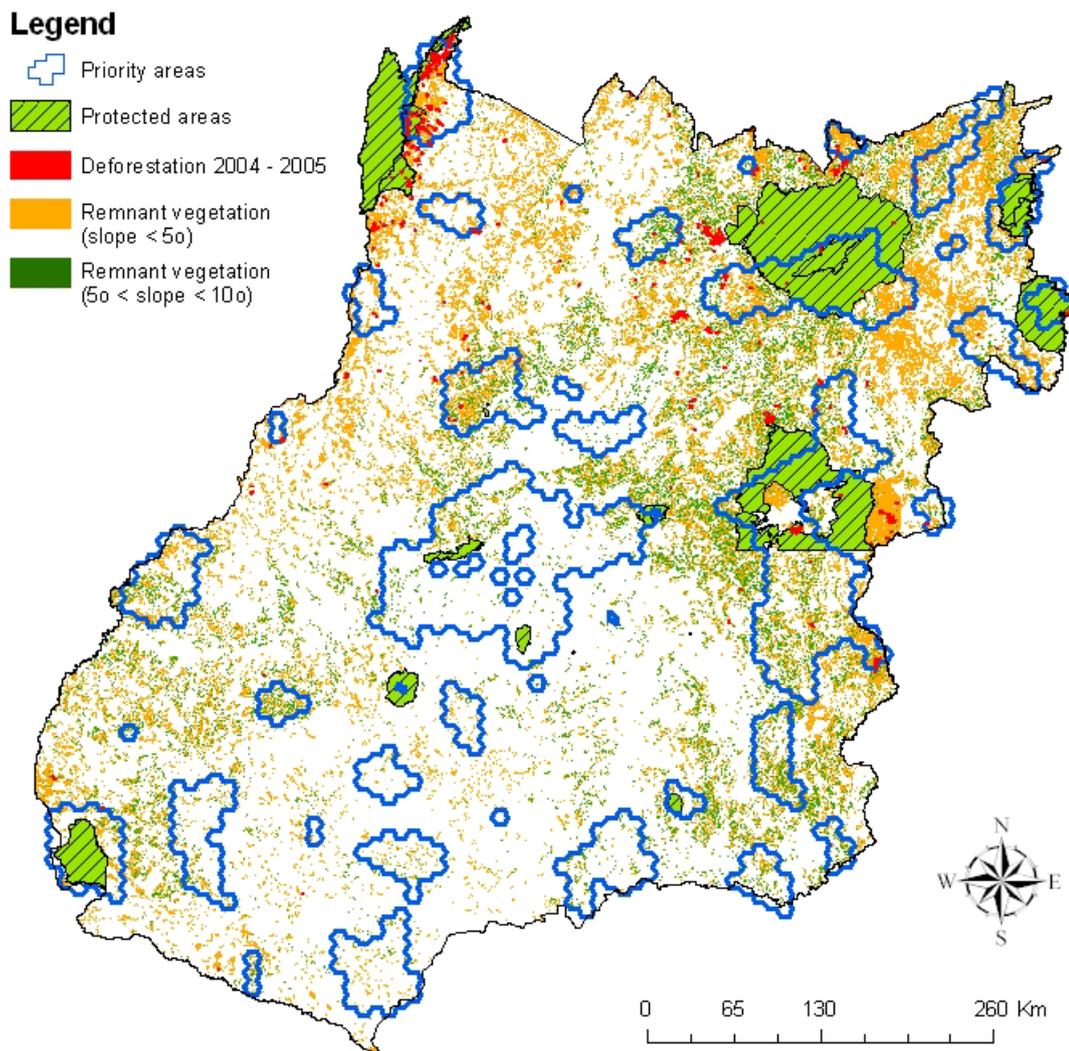


Figure 8. Location of the protected (sustainable use and full protection) and priority conservation areas, and distribution of the remnant vegetation according to the terrain slopes (vegetation in the permanent protection areas has been omitted).

## Conclusions

In spite of the fact that the occurrence and distribution of land cover types are unequivocally and strongly correlated to the landscape physiographic characteristics and domains, there have been very few attempts at understanding such relations and the critical role they may play regarding future land use trends and scenarios.

Within this study, we assessed the current distribution patterns of natural and converted land cover classes in relation to the major landforms and associated slope classes encountered in Goiás, the state with the largest area of continuous savanna formations (Cerrado) in Brazil.

As expected in a predominantly flat region, 93% of the agriculture activity is concentrated at slopes of less than 5°, mostly associated to the old regional planation

surfaces (RPS II). As for the pastures, although 86% are also found at slopes up to 5°, they tend to show a wider distribution and to be preferentially associated to younger regional planation surfaces (i.e. RPS IV). Regarding the remnant physiognomies, these occur at an even greater variety of landforms and terrain conditions. Nevertheless, 63% of the natural vegetation are at slopes less than 5°, while about 22% are found at the 5 to 10° slope range.

In relation to the ongoing deforestation, for the 2004 – 2005 period, around 708 km<sup>2</sup> conversions, affecting mainly the Wooded/Woodland Savanna (52%) and the Savanna Grassland (43%), occurred, with nearly 76% of the detections associated to slopes of less than 5°.

Taking into account the amount of remnant vegetation situated at slopes of less than 5° or at slopes between 5 and 10° and assuming the protected areas (state and federal parks, permanent protected areas, etc.) to be indeed safe from human induced changes, we estimated that between 58,497 to 80,183 km<sup>2</sup> of conversions may occur over the next few years if no action is taken. This value includes near 1.7% of the State occupied by remnants of alluvial plain vegetation (wetlands).

Simple, but very effective actions certainly include more widespread governance and sustainable land use practices. In particular, the preservation of the remnant vegetation of the 40 priority areas for biodiversity conservation would represent a decrease of 23% in the expected potential deforestation. Although environmental conservation is always a delicate issue in a state so dependent on the commodity markets, an alternative like this could be achieved through some kind of economic compensation, such as the application of transferable development rights (Chomitz, 2004).

### **Acknowledgements**

This research was partially funded by the NASA initiative, through the project “Interactions of Edaphic and Land Use Factors on Water Budgets in the Cerrado Region of Brazil”, as well as by the Brazilian Research Council (CNPq), which provided a fellowship to the first author and specific research grants to the second and third authors.

## References

- ALLEVATO, S. R. Memória central do projeto RadamBrasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, 25, 31-36, 1979.
- BONNET, B. R. P., FERREIRA JÚNIOR, L. G., & LOBO, F. C. Sistema de Reserva Legal Extra-Propriedade no Bioma Cerrado: uma análise preliminar no contexto da bacia hidrográfica. *Revista Brasileira de Cartografia*, 58 (2), 129-137, 2006.
- CASTRO, L. H. R., MOREIRA, A. M., & ASSAD, E. D. Definição e regionalização dos padrões pluviométricos dos cerrados brasileiros. In E. D. Assad (Ed.), *Chuvras nos Cerrados: Análise e Espacialização* (Vol.1, pp. 13-23). Brasília-DF, Brasil: SPI/Embrapa, 1994.
- CHOMITZ, K. M. Transfer of Development Rights and Forest Protection: an exploratory analysis. *International Regional Science Review* 27 (3), 348-373, 2004.
- EVA, H. D., BELWARD, A. S., DE MIRANDA, E. E., DI BELLA, C. M., GOND, V., HUBER, O., JONES, S., SGRNZAROLI, M., & FRITZ, S. A land cover map of South America. *Global Change Biology* 10, 731-744, 2004.
- FERREIRA JÚNIOR, L. G., FERREIRA, M. E., DE AGUIAR, M. C., FERREIRA, N. C., GOMES, M. P., & SANO, E. E. A Land Cover Map for the State of Goiás, Brazil: A Comparative Analysis of Different Mapping Approaches and Strategies. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'05 Proceedings*, pp. 2444-2447). Seoul, Korea: IEEE International, 2005.
- FERREIRA, M. E., FERREIRA JÚNIOR, L. G., FERREIRA, N. C., & LOBO, F. C. Base de dados territoriais necessárias à análise de um sistema de reserva extra-propriedade no Estado de Goiás. *Boletim Goiano de Geografia*, 27 (1), 27-46, 2006.
- FERREIRA, M. E., FERREIRA JÚNIOR, L. G., FERREIRA, N. C., & NEMAYER, M. Desmatamentos no bioma Cerrado: uma análise temporal (2001-2005) com base nos dados MODIS. In *XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* (pp. 3877-3883). Florianópolis, Brasil: INPE, 2007b.
- FERREIRA, N. C., FERREIRA JÚNIOR, L. G., HUETE, A. R., & FERREIRA, M. E. An operational deforestation mapping system using MODIS data and spatial context analysis. *International Journal of Remote Sensing* 28, 47-62, 2007b
- IBGE. (2006). Mapas interativos: Mapa de Biomas [WWW page]. URL <http://www.ibge.gov.br/mapas>
- KLINK, C. A., & MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology* 19 (3), 707-713, 2005.

LATRUBESSE, E., & CARVALHO, T. Geomorfologia de Goiás e Distrito Federal. Série Geologia e Mineração. Goiânia, Brasil: Superintendência de Geologia e Mineração, 2006.

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. [technical report]. Brasília-DF, Brasil: Conservation International, 2004.

METZGER, J. P., & CASATTI, L. From diagnosis to conservation: the state of the art of biodiversity conservation in the BIOTA/FAPESP program. *Biota Neotrop*, 6 (2), 1-23, 2006.

MOTTA, P. E. F., CURI, N., & FRANZMEIER, D. P. Relation of soils and geomorphologic surfaces in the Brazilian Cerrado. In P. S. Oliveira & R. J. Marquis (Eds.), *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical savanna* (pp. 13-32). Columbia, NY: University Press, 2002.

MYERS, N., MITTERMEIER, R. A., MITTERMEIER, C. G., DA FONSECA, G. A. B., & KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853-858, 2000.

NOVAES, P. C., FERREIRA, L. G., & DIAS, R. Identificação de áreas prioritárias para conservação da bio-geodiversidade no Estado de Goiás. *Boletim Goiano de Geografia* 23 (1), 41-54, 2003.

RATTER, J. A., BRIDGEWATER, S., ATKINSON, R., & RIBEIRO, J. F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation II: comparison of the woody vegetation of 98 areas. *Edinburgh Journal of Botany* 53, 153-180, 1996.

RIBEIRO, J. F., & WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In S. M. Sano & S. P. Almeida (Eds.), *Cerrado: ambiente e flora* (pp. 89-166). Planaltina-DF, Brasil: Embrapa-CPAC, 1998.

SANO, E. E., BARCELLOS, A. O., & BEZERRA, H. S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian savanna. *Pasturas Tropicales* 22 (3), 2-15, 2001.

SCARIOT, A., SOUSA SILVA, J. C., & FELFILI, J. Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília-DF, Brasil: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

## APÊNDICE B

### **ATIVOS AMBIENTAIS DO BIOMA CERRADO: UMA ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL NATIVA E SUA RELAÇÃO COM O PREÇO DA TERRA NO ESTADO GOIÁS\***

Manuel Eduardo Ferreira, Fausto Miziara, Laerte Guimarães Ferreira Júnior,  
Francis Lee Ribeiro, Nilson Clementino Ferreira

Universidade Federal de Goiás  
Programa de Doutorado em Ciências Ambientais  
Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento  
Campus II, Cx. Postal 131, CEP 74001-970, Goiânia - GO, Brasil  
{manuel, laerte}@iesa.ufg.br; fausto@fchf.ufg.br; francisleerib@gmail.com; ncferreira@uol.com.br

#### **Resumo**

Nos últimos anos, a região de savanas no Brasil, também conhecida como Cerrado, passou a ser considerada como um dos biomas mais ameaçados no mundo no que diz respeito à biodiversidade, com cerca de 40% de sua área original desmatadas. Em fato, esta região representa um importante pilar para a economia nacional, em grande parte devido à intensa produção agrícola gerada em seus domínios fisiográficos. Na necessidade, ainda que tardia, de se compreender este bioma em seus aspectos ecológicos e econômicos, este artigo versa sobre a eventual interdependência entre a valoração econômica, por meio das categorias de preços de terras, com o ativo ambiental *cobertura vegetal nativa*. Em particular, avaliamos as variáveis *intensidade de pobreza*, *preços de terras* e *remanescentes de Cerrado* em escala municipal para o Estado de Goiás (área core do Cerrado). Dentre os principais resultados, constatou-se uma dependência, ainda que tênue, entre a cobertura vegetal remanescente com tais categorias de preços, com destaque para a Pastagem de Alto Suporte ( $r^2$  de 0,30). Especificamente em relação ao índice social *intensidade de pobreza* (o qual influi diretamente sobre a conservação ambiental), os resultados indicam uma tendência de elevação da pobreza nas áreas do estado com maior proporção de Cerrado nativo ( $r^2$  de 0,38). Da mesma forma, a pobreza parece estar mais atrelada às localidades com preços de terras mais baixos, sobretudo nas regiões com ofertas para a categoria Pastagens de Baixo Suporte ( $r^2$  de 0,24).

**Palavras chaves:** Bioma Cerrado, valor da terra, economia ambiental, cobertura vegetal nativa, intensidade de pobreza.

#### **Abstract**

In recent years, the savanna region in Brazil, also known as Cerrado, has become recognized as one of the most threatened biomes in the world regarding the biodiversity, with about 40% of its original area already converted. In fact, this region represents an important role in the national economy, largely due to the intensive agricultural production generated within its physiographic domains. In order to understand, even late, this biome with respect to its ecological and economic aspects, we propose in this paper to assess the eventual interdependence between economic valuation, through the categories of land prices, and the environmental asset *native vegetation cover*. In particular, we investigated the relationship between *poverty intensity*, *land prices*, and the *remnant vegetation cover* at municipality level for the state of Goiás (core Cerrado area). Among the main results, it was verified the existence of a subtle dependence between remnants vegetation cover and such land price categories, with emphasis to the High Support Pasture category ( $r^2$  of 0.30). In relation to the *poverty intensity* index (which directly influences the environment conservation), the results suggest an increasing trend between poverty and the Cerrado remnants ( $r^2$  of 0.38). Poverty also seems to be more preminent in locations with lower land prices, especially in regions with availability of the Low Support Pastures category ( $r^2$  of 0.24).

**Keywords:** Biome Cerrado, land prices, environmental economy, remnant vegetation cover, poverty intensity.

---

\* Manuscrito aceito para publicação na Revista Brasileira de Cartografia (fev./2009).

## 1. Introdução

O bioma Cerrado pode ser descrito como um ecossistema de savanas, de vasta ocorrência na região Central do Brasil, onde, sob forte contraste sazonal e solos de baixa fertilidade (álícos), encontra-se um sistema vegetacional único, estratificado em fitofisionomias do tipo gramíneo-lenhosas, arbóreas e florestais (Eiten, 1994). Ocupando, originalmente, cerca de 205 milhões de hectares (IBGE, 2004), distribuídos por 10 estados da federação, além do Distrito Federal, este bioma se diferencia também pela comprovada e rica biodiversidade, em grande parte restrita ao seu ambiente (Oliveira-Filho e Ratter, 1995).

Ainda que, em termos ecológicos, este bioma seja pouco reconhecido, a região do Cerrado é tida hoje como um dos pilares da economia nacional (Sano et al., 2001), com grande destaque para o setor agropecuário e, mais recentemente, no crescente mercado energético (biocombustíveis e centrais hidroelétricas) (Pinto et al., 2005; Ometto et al., 2007). A exploração de seus recursos naturais, pouco sustentável para os dias atuais, pode ser medida pelo intenso uso do solo para a agricultura e pecuária, incluindo o contínuo corte de árvores para a produção de carvão vegetal.

Estudos recentes, com base em dados de sensoriamento remoto, contabilizam uma perda de sua cobertura vegetal nativa entre 40 e 54% (Sano et al., 2008a; Machado et al., 2004), a depender da metodologia aplicada, com o agravante do tempo, pois boa parte desta conversão ocorreu nas últimas quatro décadas (Nepstad et al., 1997). Esta intensa transformação da paisagem, aliada a uma peculiar fauna e flora da região, fez deste bioma um *hotspot* para a conservação da biodiversidade global (Myers et al., 2000). No Estado de Goiás, o único da federação totalmente inserido nos limites do Cerrado, a degradação também atingiu níveis alarmantes, com estimativas apontando para 64% de áreas convertidas (incluindo as pastagens naturais) (Agência Ambiental et al., 2004; Ferreira et al., 2008). No geral, tal escala de antropismo é favorecida pelo preço da terra, pela proximidade de mercados consumidores e incentivos governamentais (Pires, 2000; Miziara e Ferreira, 2008), além da topografia relativamente plana, ideal para grandes monoculturas.

Dentre os ativos ambientais encontrados no bioma Cerrado, isto é, aqueles bens naturais com elevado potencial quantitativo (e qualitativo) para o bem-estar

humano (Ribeiro e Gratão, 2000), destaca-se a cobertura vegetal nativa. Tal ativo, cuja importância começa a ser remetida a um uso futuro (Nogueira et al., 2000), pode ser medida pela gama de benefícios (diretos e indiretos) para com o meio ambiente. Por exemplo, da vegetação nativa depende a manutenção dos recursos hídricos, do solo, da fauna e flora da região (Bonnet et al., 2007). Em particular, este ativo é facilmente monitorado e quantificado, haja vista o desenvolvimento de tecnologias, como o sensoriamento remoto, e protocolos cada vez mais robustos e acessíveis (Mantovani e Pereira, 1998; Ferreira et al., 2006; Ferreira et al., 2007a).

Este artigo se propõe a analisar a relação entre a variável *vegetação remanescente* e a formação do preço da terra no Estado de Goiás. Assim, ao mesmo tempo em que procuramos responder em que nível o preço da terra é derivado da presença (ou ausência) da cobertura vegetal nativa nos municípios goianos, investigamos os possíveis impactos desta variável sobre a vegetação remanescente. Da mesma forma, investigamos a relação entre o preço da terra com a variável *intensidade de pobreza*, considerada como um passivo social e ambiental em detrimento das transformações em curso na região do Cerrado Goiano.

## **2. A Economia Ambiental**

Uma das principais motivações deste estudo é o emprego de dados econômicos nas modelagens ambientais relativas à ocupação do bioma Cerrado. Partindo da hipótese de que o preço da terra pode expressar, de alguma forma, o desejo de manutenção destas áreas naturais, adotamos uma linha de pensamento da Economia Ambiental. Aliás, uma das principais motivações dos economistas neoclássicos com a problemática ambiental diz respeito à ausência de “preços” ou valores monetários para um grande número de recursos e serviços ambientais, sobretudo aqueles não-renováveis. A depender dos atuais modelos de desenvolvimento, biomas como o Cerrado podem, de fato, serem descaracterizados em sua totalidade, num curto espaço de tempo.

Especificamente sobre a Economia Ambiental, ainda nas décadas de 1980 e 90 esta passa por uma significativa evolução (Marques e Comune, 1995), com o desafio de driblar a ausência de “preços” para a maioria dos recursos naturais (e do conseqüente uso desmedido), evitando principalmente a criação de mercados tardios, decorrentes da redução destes ativos e do aumento da demanda (Nogueira,

et al., 2000). Dessa forma, este ramo da Economia busca estimar os custos de exploração das riquezas naturais, minimizando assim as medidas corretivas a *posteriori* (às quais a sociedade se mostra ainda pouco adaptada).

Em relação às técnicas propriamente ditas de “valoração econômica ambiental”, as mesmas ocorrem por meio da quantificação, em termos monetários, dos impactos ambientais e sociais (benéficos ou não) decorrentes da realização de um determinado projeto ou atividade econômica (ex. construção de estradas, projetos de beneficiamentos agrícolas, etc.).

Algumas técnicas de valoração ambiental se baseiam na economia do bem-estar (teoria econômica neoclássica), onde os valores estimados para um determinado recurso natural e/ou serviço ambiental são obtidos a partir de pesquisas com grupos aleatórios de pessoas, compensando-se as diferenças culturais e de renda (Ribeiro, 1998; Mattos et al., 2007).

Outros parâmetros para a valoração dos recursos naturais incluem o cálculo das externalidades “negativas” ou “positivas” (Coelho, 2006), ou seja, o conjunto de efeitos associados ao processo produtivo. As negativas decorrem de uma atividade econômica que causa danos à sociedade como um todo. Um exemplo disto são os contínuos desmatamentos no Cerrado, os quais, direta ou indiretamente, estão associados à erosão dos solos, ao assoreamento e contaminação de rios ou nascentes. Neste caso, o bem público é utilizado de forma intensa, geralmente sem ônus ao poluidor. Ou seja, os lucros da atividade não são divisíveis com a sociedade, apenas seus custos ambientais.

Por outro lado, a externalidade positiva é determinada quando a ação de uma das partes beneficia a outra. Como exemplo, pode-se citar a própria agricultura moderna e/ou orgânica, da qual resulta a produção de alimentos mais baratos e/ou mais saudáveis, respectivamente, com um menor impacto sobre o meio ambiente (Coelho, 2006).

O processo de mensuração de um bem ambiental inicia-se com a distinção entre *valor de uso* e o *valor de não-uso* deste bem ou dos serviços ambientais (Nogueira et al., 2000). O *valor de uso* refere-se ao uso efetivo ou potencial que um recurso pode prover, enquanto que o *valor de não-uso* é um valor intrínseco ao recurso natural, isto é, um valor de “existência”, o qual pode ou não vir a ser utilizado como recurso econômico.

O *valor de uso* pode ainda ser subdividido em mais três classes: *valor de uso atual*, *valor de opção* e *valor de quase-opção*. O *valor de opção* refere-se ao valor da disponibilidade do recurso ambiental para uso futuro (ex. uma reserva mineral não explorada), e o *valor de quase-opção* refere-se a um recurso com valor econômico ainda desconhecido e, por isso, preservado para um futuro beneficiamento (ex. uma espécie de planta no Cerrado que, após análises científicas, possa ser utilizada como princípio ativo para um novo medicamento).

Ultimamente, tais procedimentos econométricos vêm sendo aplicados num número crescente de trabalhos, alguns voltados para o bioma Cerrado, mais especificamente nos Estados de Goiás e de Minas Gerais, onde se tem buscado a determinação de valores para a manutenção de zonas ripárias e recursos hídricos (Ribeiro, 1998; Mattos et al., 2007), biodiversidade (Chomitz, 2004) e extrativismo vegetal (Oliveira et al., 2002). Nas análises realizadas neste artigo, adotamos como “valor de uso direto” do Cerrado o próprio valor da terra (equação 1)

$$VET = VD + VI \quad (1)$$

Onde:

VET = Valor econômico total;

VD = Valor de uso direto;

VI = Valor de uso indireto.

### **3. ASPECTOS METODOLÓGICOS**

#### **3.1 Área de Estudo**

O estudo abrangeu as áreas do bioma Cerrado no Estado de Goiás, com informações sobre os preços de terras obtidas para 242 municípios (de um total de 246). A figura 1 ilustra a referida área, contendo a distribuição das amostras de preços.

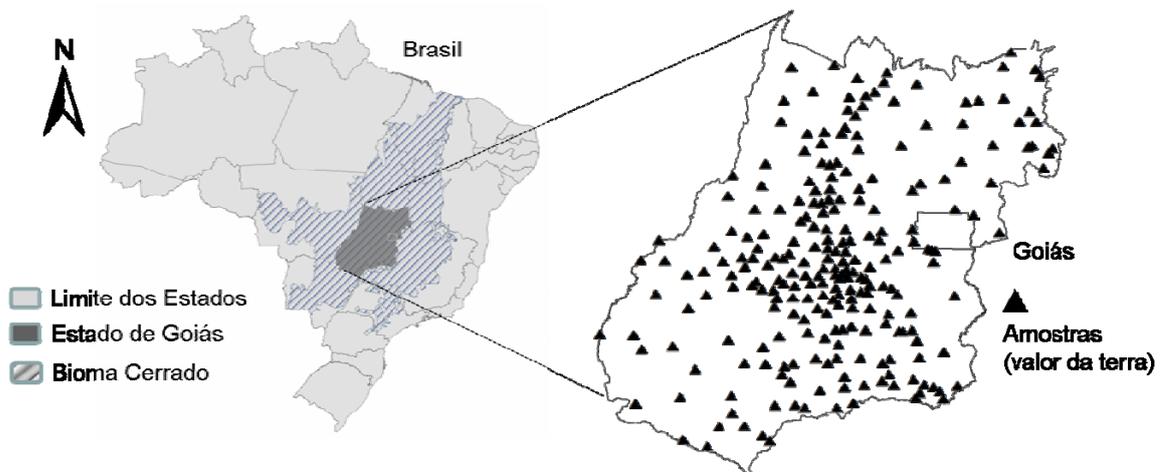


Figura 1. Localização da área de estudo. Em detalhe, a distribuição das amostras de valor de terra no Estado de Goiás, referente ao ano de 2006.

### 3.2 Base de Dados e Procedimentos de Análise

Para este estudo, foram utilizados os seguintes conjuntos de dados geográficos:

(A) Valor da terra para o Estado de Goiás, dividido em cinco categorias de preços: *Cerrado Agrícola* (198 amostras), *Terra Agrícola de Alta Produtividade de Grãos* (161 amostras), *Terra Agrícola de Baixa Produtividade de Grãos* (158 amostras), *Pastagem Formada de Alto Suporte* (219 amostras) e *Pastagem Formada de Baixo Suporte* (210 amostras). Estas informações foram cedidas pela Secretaria da Fazenda do Estado de Goiás (SEFAZ - <http://www.sefaz.go.gov.br/>), correspondentes ao ano de 2006. A escala monetária original deste dado encontra-se em reais (R\$) por hectare (figura 1). Contudo, e tendo em vista facilitar as análises visuais comparativas envolvendo as categorias de preços com as outras variáveis consideradas neste estudo, os preços de terras foram normalizados para um intervalo de 0 a 1, conforme a equação 2.

$$VTN = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

Onde:

VTN = valor da terra normalizado (entre 0 e 1);

$x_i$  = valor da terra (R\$/hectare) para cada município, em cada categoria de preço;

$x_{\min}$  = menor preço (R\$/hectare) por categoria;

$x_{\max}$  = preço máximo (R\$/hectare) por categoria.

Em relação às categorias de preços, o *Cerrado Agrícola* refere-se às áreas ainda cobertas por remanescentes de Cerrado (segundo a percepção do mercado de terras), com um respectivo valor em função do uso que a mesma propiciará (ex. área destinada à pastagem). A categoria *Terra Agrícola* (alta ou baixa produtividade) refere-se às regiões com maior potencial agrícola, o qual varia em função do tipo de cultivo e de fatores como fertilidade do solo, irrigação e topografia.

No caso da categoria *Pastagem Formada* (alto ou baixo suporte), estas são áreas de pastagens cultivadas, com uma capacidade de suporte que varia de acordo com a taxa de lotação (número de animais por unidade de área), isto é, quilos de peso vivo por quilos de forragem disponível. De acordo com Euclides e Euclides Filho (2001), uma taxa de lotação ideal seria entre 12 e 15 unidades de animais/hectare, durante o verão, e de 3 a 4 unidades de animais/hectare no inverno, produzindo de 1.600 a 2.000 kg de peso vivo/hectare/ano.

(B) Mapa de Fisionomias e Uso do Solo para o Estado de Goiás (formato vetorial), gerado no âmbito do Projeto de Identificação de Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade (PDIAP) e disponibilizado pelo Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás (SIEG - <http://www.sieg.go.gov.br>). A informação deste mapa, resultado da classificação e interpretação visual de imagens Landsat – ETM+ obtidas em 2002 (Sano et al., 2008b), foi normalizada em relação à área de cada município. Assim, valores próximos a 0% correspondem às áreas com ausência de vegetação nativa, enquanto valores próximos a 100% indicam os municípios totalmente ou predominantemente cobertos com vegetação nativa, conforme a equação 3.

$$IRM = \frac{Área_{Re}}{Área_M} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

IRM = Índice de remanescente municipal (0 a 100%);

$Área_{Re}$  = Área de remanescente no município (em metros);

$Área_M$  = Área do município (em metros).

(C) Outra variável empregada neste estudo diz respeito ao índice *intensidade de pobreza*, compreendido como um passivo social e ambiental, reflexo de um modelo econômico e de desenvolvimento pouco eficiente e concentrador de riquezas. Disponibilizada pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD - <http://www.pnud.org.br/home>), esta informação refere-se a todos os municípios goianos, variando de 0 a 100% (máxima intensidade de pobreza).

Este índice indica a proporção de pessoas vivendo abaixo da linha de pobreza no Brasil, fixada (em R\$) de acordo com a metade do valor de um salário mínimo no país (em 2000, esta linha de pobreza correspondia a R\$ 75,00/mês) (PNUD et al., 2002). Com o emprego da variável “pobreza”, buscou-se comprovar o grau de relação desta com a variável *valor da terra* (categorias de preço), assim como para as áreas de Cerrado nativo (mapa físico da cobertura vegetal), cujos investimentos em infraestrutura ou planos de exploração econômica sustentável costumam ser abaixo do necessário ou inexistentes.

A categoria de preço *Cerrado Agrícola* não foi relacionada com o índice de pobreza, devido ao fato da primeira estar vinculada às áreas de Cerrado potenciais para a agricultura (i.e. com apelo comercial). No lugar desta empregamos o próprio mapa de remanescentes de Cerrado, explicitado anteriormente (escala 1:250.000). As demais categorias foram relacionadas a esta variável social.

Como parte dos procedimentos de análise, todos os dados, incluindo as variáveis *valor da terra* e *proporção de remanescente*, foram espacializados em um Sistema de Informações Geográficas (ArcGIS™), com vistas a uma análise integrada com outras categorias geográficas (ex. malha viária, mercados consumidores, etc.). Especificamente em relação à variável *valor da terra*, esta, apesar de ser obtida por meio de levantamentos mercadológicos *in loco*, é divulgada sem a respectiva referência geográfica (Latitude e Longitude). Neste caso, a opção foi referenciá-la às sedes dos municípios, o que ocasiona, em parte, uma perda de precisão quanto aos aspectos locacionais (e respectivos aspectos físicos da área). Entretanto, este conjunto de informações continua representativo e válido para o estudo em questão, principalmente por seu levantamento homogêneo em relação ao Estado de Goiás.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Distribuição Espacial dos Remanescentes de Cerrado

Ao tratarmos do ativo ambiental *cobertura vegetal nativa* e sua relação com a formação dos preços de terras no Estado de Goiás, se faz necessário discutir, inicialmente, o atual estágio de conservação deste ativo dentre os municípios considerados neste estudo, e para os quais as amostras de preços foram obtidas. Assim, e com base na figura 2, pode-se analisar a distribuição da cobertura vegetal nativa, tanto em relação ao conjunto de municípios (figura 2-A) quanto de forma contínua (i.e. mapa-base de remanescentes), conforme interpretação das imagens Landsat ETM+ (figura 2-B).

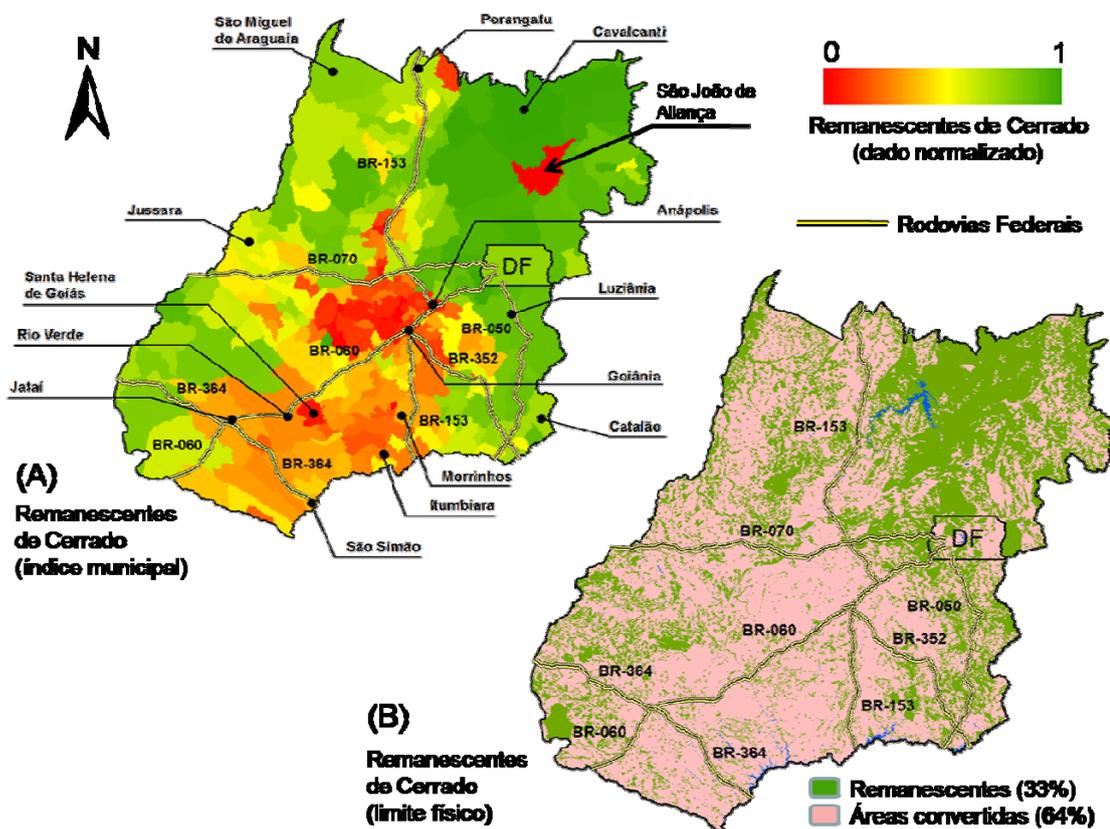


Figura 2. (A) mapa de remanescente de Cerrado - índice municipal (destaque para o município de São João da Aliança) e (B) mapa físico de remanescentes de Cerrado (base 2002). Ambos os mapas estão sobrepostos pela malha rodoviária federal (BR). Na escala de remanescentes (normalizada entre 0 e 1), valores próximos a 0 indicam a ausência de cobertura nativa, enquanto valores próximos a 1 indicam uma elevada presença desta.

Na escala de análise apresentada, onde valores próximos a 0 (zero) indicam a ausência de remanescentes, e valores próximos a 1 indicam a predominância destes, observa-se alguns padrões de ocupação. Nas meso-regiões Centro e Sul

Goiano (sobretudo o Sudeste do Estado) estão localizados os municípios com maior déficit de cobertura vegetal nativa (valores tendendo a 0), em geral relacionados com uma intensa produção agropecuária e, portanto, responsáveis por grande parte do Produto Interno Bruto (PIB) de Goiás (tabela 1). Por outro lado, as meso-regiões Norte e Leste Goiano concentram os municípios com maior proporção de remanescentes de Cerrado (valores tendendo a 1), apesar da presença de pecuária extensiva e atividades extrativistas (mineração e produção de carvão vegetal).

A micro-região Nordeste, ao contrário de outras regiões com chapadões (Sudoeste e Sudeste Goiano), apresenta terrenos mais inclinados (entre 10° e 20° de declividade), concentrando a maior proporção do ativo ambiental “vegetação remanescente” em Goiás (FERREIRA *et al.* 2007b). Em consequência destes condicionantes físicos, os preços de terras no Nordeste Goiano costumam ser significativamente baixos (ex. R\$ 380,00/hectare em Alvorada do Norte, Vão do Paraná).

Contudo, o aparente desinteresse econômico por essas áreas de Cerrado nativo não minimiza os riscos da degradação fortuita (ex. formação de pastos de baixo suporte). O município de São João da Aliança, por exemplo, com um processo de ocupação de baixo aproveitamento econômico, apresenta um índice de remanescente de Cerrado de apenas 0,12% da área municipal.

#### **4.2 Análise Estatística e Espacial dos Preços de Terras**

De uma forma geral, ao avaliar a distribuição do valor da terra nos municípios goianos, observa-se a existência de um padrão espacial que se repete em todas as categorias de preços, reforçando a idéia de que fatores como a proximidade de centros consumidores/produtores, topografia relativamente plana, bem como a presença de uma malha viária estruturada, respondem pela valorização das terras nesta região do bioma Cerrado (figuras 3, 4 e 5).

Uma análise comparativa entre a categoria *Cerrado Agrícola*, a qual refere-se aos valores de terras ainda cobertas com vegetação nativa, e o mapa de remanescentes de Cerrado (base 2002), confirma, à exceção das Unidades de Conservação (parques e reservas, cujas terras não são destinadas à ocupação antrópica), a existência de um padrão consistente de distribuição de preços. A figura 3 (A) ilustra tal discussão, com destaque para a presença de municípios com

significativa importância para a economia goiana - concentrados nas regiões mais valorizadas (tons de vermelho), detentores de 58% do PIB (Produto Interno Bruto) do Estado de Goiás em 2005 (tabela 1).

Tabela 1. Relação dos dez maiores municípios quanto ao produto interno bruto de Goiás - período 2002 a 2005. Fonte: SEPLAN (2007).

2002			2005		
Ranking	Município	Valor (R\$ Mil)	Ranking	Município	Valor (R\$ Mil)
1	Goiânia	10.096.986	1	Goiânia	13.354.065
2	Anápolis	2.201.415	2	Anápolis	2.753.071
3	Rio Verde	1.847.299	3	Catalão	2.538.840
4	Aparecida de Goiânia	1.428.029	4	Rio Verde	2.350.229
5	Catalão	1.270.053	5	Aparecida de Goiânia	2.198.429
6	Senador Canedo	1.195.463	6	Senador Canedo	1.522.708
7	Itumbiara	958.658	7	Luziânia	1.380.833
8	Jataí	945.061	8	Itumbiara	1.366.886
9	Luziânia	845.271	9	Jataí	1.158.650
10	São Simão	791.336	10	São Simão	870.974
<b>Total</b>		<b>21.579.570</b>	<b>Total</b>		<b>29.494.684</b>
<b>Participação no Estado</b>		<b>50,38%</b>	<b>Participação no Estado</b>		<b>58,36%</b>
<b>Estado de Goiás</b>		<b>42.836.390</b>	<b>Estado de Goiás</b>		<b>50.536.081</b>

Outra constatação, com base na figura 3 (A), é a nítida relação das principais rodovias federais do país com os municípios com maior valor da terra (tons de vermelho), atuando como vias de escoamento da produção agrícola. Dentre estas rodovias, destacam-se a BR 153 (sentido Norte-Sul), a BR-070 (Leste-Oeste) e a BR-060 (Sudoeste-Nordeste). Em fato, Ferreira et al. (2007c) evidenciaram a importância da infraestrutura, demonstrando que a variável *localidade* é responsável por até 50% da formação do preço da terra em Goiás.

Por outro lado, e ainda com base na categoria Cerrado Agrícola, percebe-se claramente a desvalorização das terras em áreas cuja porção de remanescentes de Cerrado é maior. Em outras palavras, as áreas mais preservadas do Estado, em geral concentradas no Nordeste Goiano, concentram os municípios com as terras menos valorizadas para fins agrícolas. Estas áreas, com preços de terras mais baixos, refletem também a ausência de uma malha viária pouco desenvolvida.

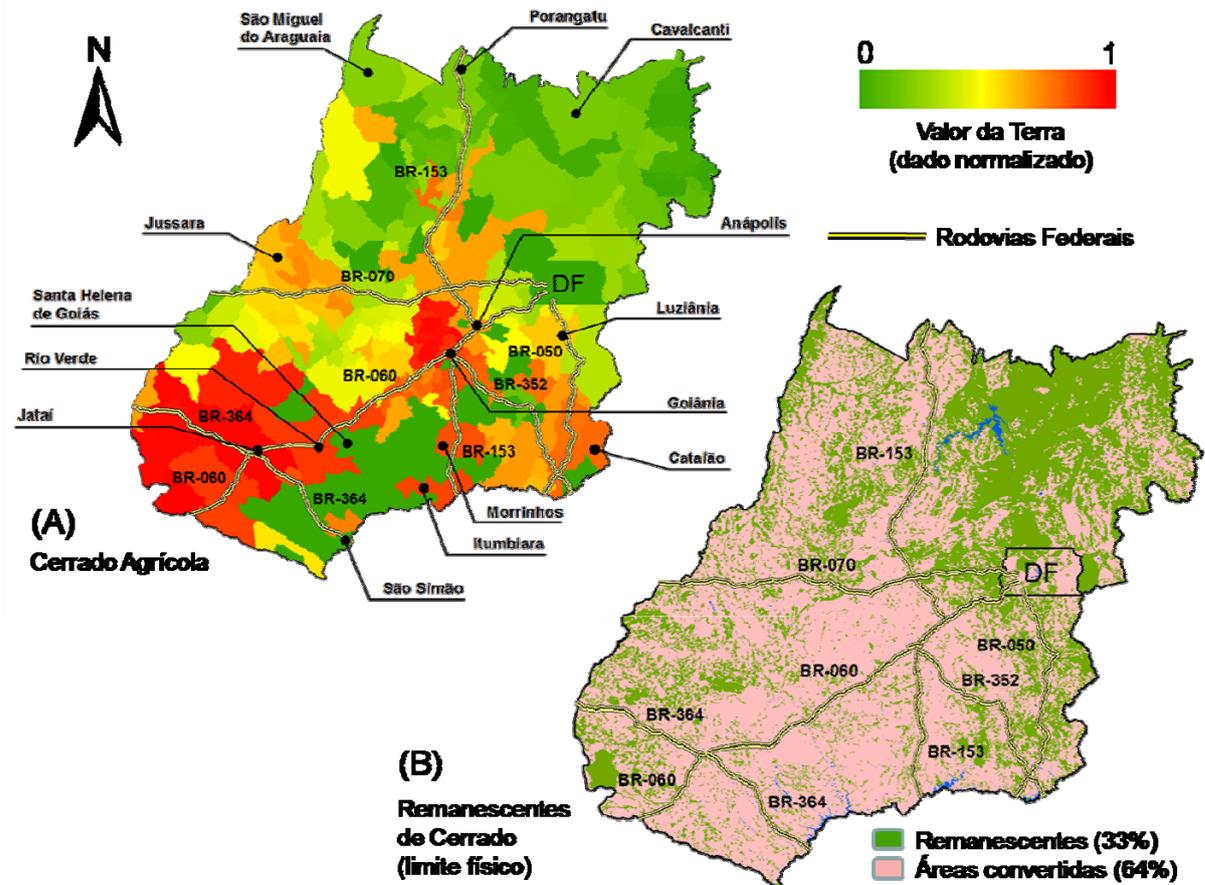


Figura 3. (A) mapa de preço da terra na categoria Cerrado Agrícola e (B) mapa físico de remanescentes de Cerrado (base 2002). Ambos os mapas estão sobrepostos pela malha rodoviária federal (BR). Na escala de valores de terra (normalizada entre 0 e 1), valores próximos a 0 indicam preços de terras mais baixos, enquanto valores próximos a 1 indicam preços mais altos.

Na região Noroeste do Estado (Bacia do Araguaia), é evidenciado um aumento gradual dos preços de terras na categoria Cerrado Agrícola - municípios de Jussara a São Miguel do Araguaia, em consonância com o avanço da fronteira agrícola para esta região, sobretudo para a formação de pastagens. Em municípios como Goiânia e Rio Verde, onde o Cerrado remanescente já se tornou algo raro (como observado na figura 3-B), as poucas áreas com vegetação nativa, ótimas para a agricultura, foram supervalorizadas, com média de R\$ 2.079,12/hectare e um pico de R\$ 6.198,34/hectare em Chapadão do Céu, Sul Goiano (tabela 2).

Tabela 2. Estatísticas básicas sobre cada categoria de preço analisada.

	Cerrado Agrícola	Agricultura Alta	Agricultura Baixa	Pastagem Alta	Pastagem Baixa
Amostras	198	161	158	219	210
Mínimo	442,89	1118,18	802,50	900,00	380,00
Máximo	6198,34	10992,22	8300,00	10000,00	7800,00
Média	2079,12	5328,15	4026,27	3561,14	2566,39
Desvio Padrão	1291,86	1789,26	1846,92	1616,03	1422,19
Coefficiente Variação	0,62	0,34	0,46	0,45	0,55

Com relação à categoria *Terra Agrícola*, na figura 4 (A e B) é possível analisá-la de forma comparativa quanto às subcategorias *Agricultura de Alta Produtividade* e *Agricultura de Baixa Produtividade*. Nota-se que as regiões/municípios com terras de alta produtividade, apesar de apresentarem preços mais altos (máximo de R\$ 11.000,00 em Bela Vista de Goiás, Centro Goiano), são mais restritas no Estado, normalmente acompanhando a BR-060 (cortando municípios cuja economia é preeminente, como Rio Verde e Goiânia). O preço médio praticado por esta categoria é de R\$ 5.328,15/hectare (tabela 2). Em contrapartida, os municípios correspondentes a estas áreas apresentam um elevado déficit de cobertura vegetal, como já evidenciado pela figura 2, e verificado em outros estudos similares sobre o estado de conservação do Cerrado Goiano (Novaes et al. 2003; Ferreira et al. 2007d).

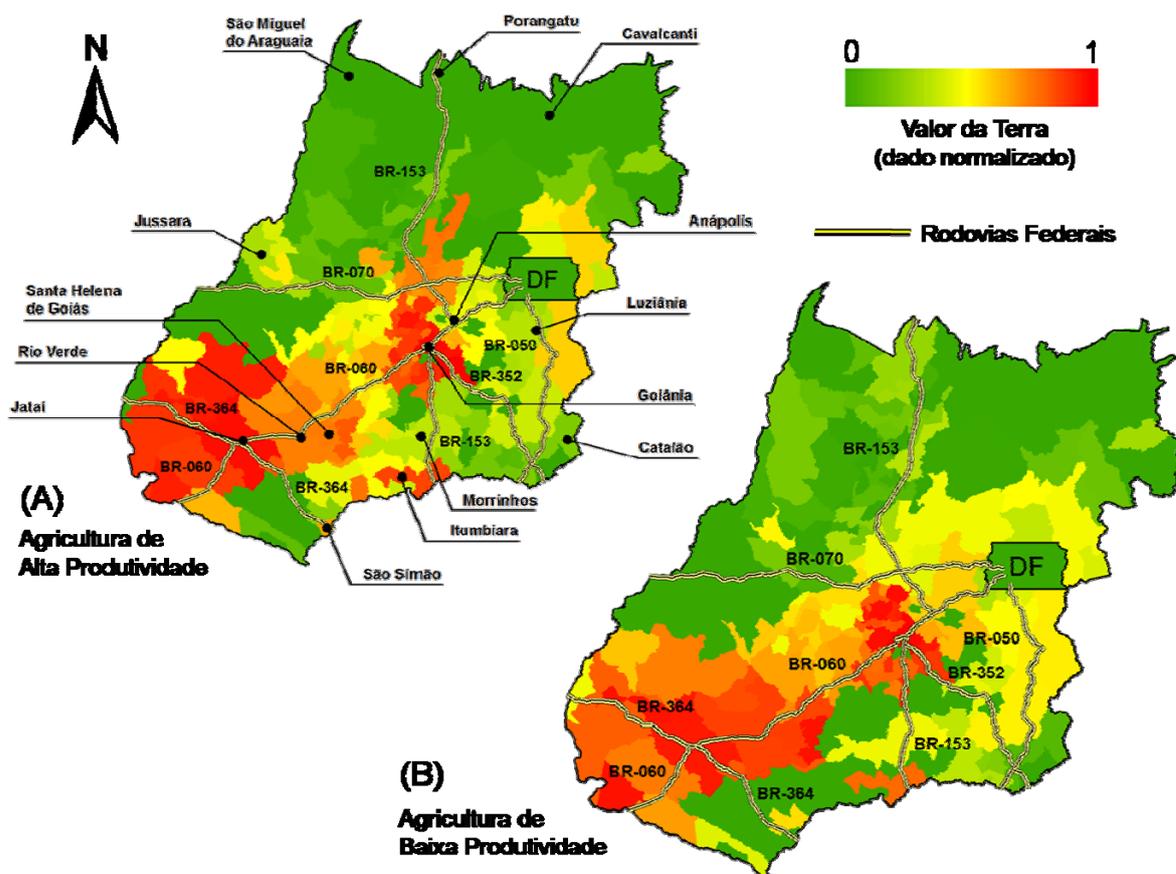


Figura 4. (A) mapa de preço da terra na categoria Agricultura de Alta Produtividade e (B) Agricultura de Baixa Produtividade. Ambos os mapas estão sobrepostos pela malha rodoviária federal (BR). Na escala de valores de terra (normalizada entre 0 e 1), valores próximos a 0 indicam preços de terras mais baixos, enquanto valores próximos a 1 indicam preços mais altos.

Em relação à agricultura de baixa produtividade, esta segue uma variação espacial semelhante (figura 4 - B). Contudo, em função dos preços mais baixos (menor valor para a agricultura intensiva), este tipo de mercado ou prática agrícola ocorre num número maior de municípios, com o preço médio de R\$ 4.026,27/hectare (tabela 2). Esta tendência é verificada, principalmente, nos municípios limítrofes ao Distrito Federal.

Na figura 5 (A e B) podemos visualizar a distribuição de preços das categorias *Pastagem de Alto Suporte* e *Pastagem de Baixo Suporte* no Estado de Goiás. Como era esperado, e com base no observado nas demais categorias analisadas, as terras destinadas à pecuária (e avaliadas pelo mercado), estão presentes em um maior número de municípios. Em fato, cerca de 45% do Estado é ocupado por pastagens (nativas e cultivadas) (Ferreira et al., 2008).

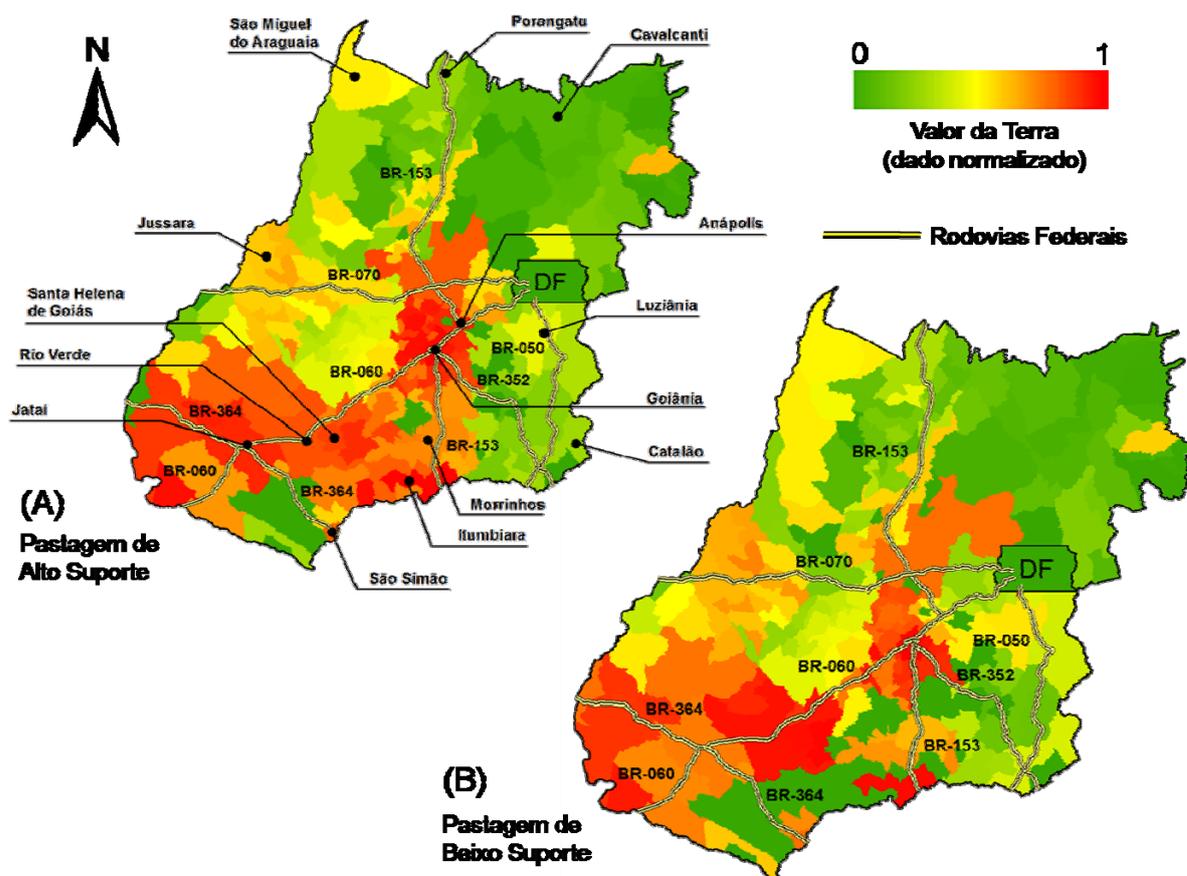


Figura 5. (A) mapa de preço da terra na categoria Pastagem de Alto Suporte e (B) Pastagem de Baixo Suporte. Ambos os mapas estão sobrepostos pela malha rodoviária federal (BR). Na escala de valores de terra (normalizada entre 0 e 1), valores próximos a 0 indicam preços de terras mais baixos, enquanto valores próximos a 1 indicam preços mais altos.

Isto se deve ao fato de que há menos restrições para a prática deste tipo de uso no Estado, do ponto de vista da fertilidade e topografia, em relação às demais categorias agrícolas. De qualquer forma, há diferenças significativas nos preços de terras entre os dois tipos de pasto. Na pastagem de alto suporte, por exemplo, a média de preço é de R\$ 3.561,14 (máximo de R\$ 10.000,00, em Valparaíso de Goiás, entorno de Brasília - DF) (tabela 2). Por outro lado, a pastagem de baixo suporte, de ocorrência mais abrangente e com uma menor capacidade de animais por unidade de área, apresenta menor valorização, com preço médio de R\$ 2.566,39 (tabela 2), e preço máximo de R\$ 7.800,00 (também em Valparaíso de Goiás). De uma forma geral, ambas as subcategorias tendem a apresentar preços significativamente mais altos quanto maior for a proximidade destas terras junto à malha rodoviária federal e também dos grandes aglomerados urbanos, com reflexo direto no mercado imobiliário (figura 5).

Especificamente em relação à variabilidade do preço da terra para todas as categorias, nota-se que a Agricultura de Baixa Produtividade e a Pastagem de Alto Suporte apresentam padrões de variação muito semelhantes, provavelmente sujeitas às mesmas variáveis que interferem nestes valores, haja vista o Coeficiente de Variação (Cv) de ambas ser praticamente o mesmo, de 0,46 e 0,45, respectivamente (tabela 2).

Já a Agricultura de Alta Produtividade apresentou o menor Cv (0,34), indicando uma ocupação bem estabelecida, provavelmente com as melhores terras do Estado, no que diz respeito aos fatores socioeconômicos e físicos já explicitados. Numa condição inversa, aparece a categoria de preço Cerrado Agrícola, com o maior Cv (0,62), indicando áreas de ocupação transitória, com valorização oscilante em Goiás. A categoria Pastagem de Baixo Suporte, com Cv de 0,58, bem próximo do Cerrado Agrícola, demonstra a pouca importância que o mercado confere a estas duas categorias, as quais apresentam as médias de preço/hectares mais baixas entre as cinco categorias de análise.

Ao analisar a interdependência entre as categorias de preços de terras (tabela 3), verifica-se uma maior correlação entre a pastagem de alto suporte com a pastagem de baixo suporte ( $r = 0,84$ ), indicando que a variação dos preços destas duas categorias apresenta comportamento bastante semelhante no Estado de Goiás (i.e. sobem ou descem quase na mesma proporção e nas mesmas regiões). Da mesma forma apresenta-se a correlação entre as categorias Agricultura de Alta Produtividade e a de Baixa Produtividade ( $r = 0,83$ ), seguido (em ordem decrescente) pelo Cerrado Agrícola e a Agricultura de Baixa Produtividade ( $r = 0,74$ ), e pelo Cerrado Agrícola e a Agricultura de Alta Produtividade (0,62).

Por outro lado, ainda com base na tabela 3, registrou-se a mais baixa correlação entre as categorias Agricultura de Alta Produtividade e a Pastagem de Baixo Suporte ( $r = 0,35$ ), indicando uma fraca interdependência entre estas duas categorias, seguido (em ordem crescente) pelas categorias Pastagem de Alto Suporte e Cerrado Agrícola ( $r = 0,41$ ), e Agricultura de Alta Produtividade e Pastagem de Alto Suporte ( $r = 0,51$ ). Estes números também refletem as especificidades de uso do solo agrícola, onde a agricultura e a pastagem são suscetíveis, de forma diferenciada, às condições naturais do solo.

#### 4.2.1 Relação entre Remanescentes de Cerrado e Valor da Terra

Com base nos modelos de regressão apresentados na figura 6, observamos que existe uma relação, ainda que tênue, entre proporção de remanescente e preço da terra. Esta relação indica que, onde o preço é maior, o uso da terra tende a ser mais intenso (i.e. maior nível de desmatamento). De forma inversa, áreas com maior proporção de remanescentes tendem a contribuir menos com a formação do preço da terra, geralmente em Goiás associadas aos terrenos muito declivosos ou com baixa infraestrutura rodoviária, por exemplo.

Tabela 3. Matriz de correlação entre as categorias de preços de terra em Goiás.

	<b>Cerrado Agrícola</b>	<b>Pastagem Alta</b>	<b>Pastagem Baixa</b>	<b>Agricultura Alta</b>	<b>Agricultura Baixa</b>
<b>Cerrado Agrícola</b>	1,00	0,41	0,41	0,62	0,74
<b>Pastagem Alta</b>	0,41	1,00	0,84	0,51	0,43
<b>Pastagem Baixa</b>	0,41	0,84	1,00	0,35	0,47
<b>Agricultura Alta</b>	0,62	0,51	0,35	1,00	0,83
<b>Agricultura Baixa</b>	0,74	0,43	0,47	0,83	1,00

É importante ressaltar que, a variável *preço da terra* está condicionada a outras variáveis já explicitadas (como topografia, localidade, infraestrutura, clima e fertilidade do solo), o que justifica os baixos valores de  $r^2$  obtidos em relação a uma variável somente (i.e. a cobertura vegetal nativa).

A relação mais forte se deu com os preços da categoria Pastagem de Alto Suporte ( $r^2 = 0,31$ ), seguido pelo Cerrado Agrícola ( $r^2 = 0,26$ ), Pastagem de Baixo Suporte ( $r^2 = 0,25$ ), Agricultura de Baixa Produtividade ( $r^2 = 0,24$ ) e pela Agricultura de Alta Produtividade ( $r^2 = 0,16$ ).

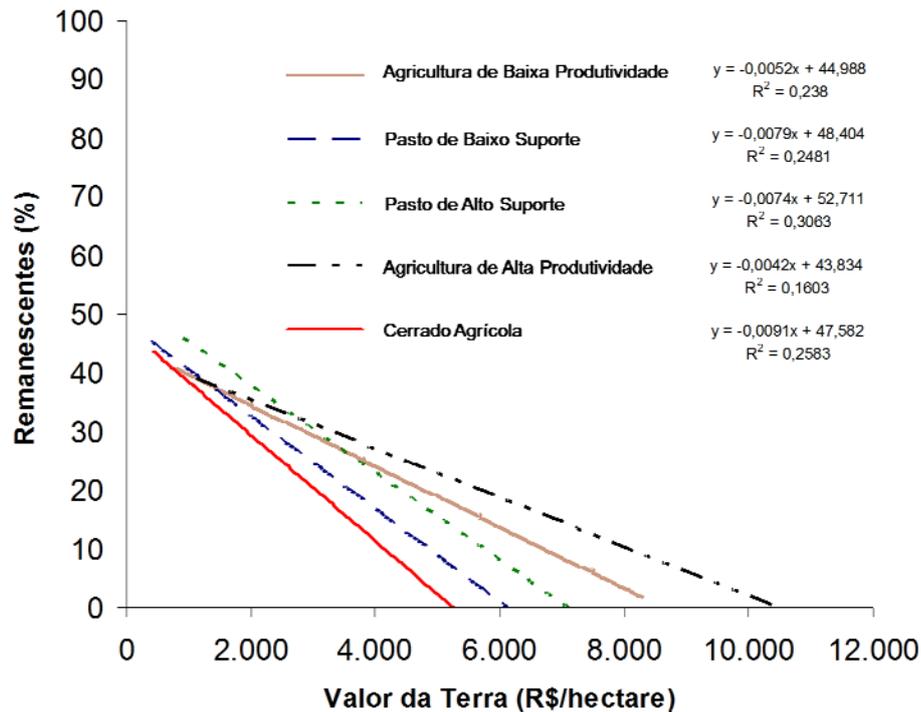


Figura 6. Variação do preço da terra (cinco categorias de análise) em função da presença de remanescentes de Cerrado no Estado de Goiás.

De qualquer forma, as áreas de Cerrado que serão no futuro convertidas para pastagem (de alto ou baixo suporte) são mais valorizadas, sobretudo por serem atividades mais independentes do que as de agricultura, no que se refere a quesitos como a topografia, por exemplo.

Já aquelas áreas identificadas pelo mercado como Cerrado Agrícola, que nesta análise apresentaram  $r^2$  mais baixo do que o esperado (quando analisado com o mapa de remanescentes por municípios), normalmente são mais valorizadas por serem fragmentos de Cerrado próximos às áreas já convertidas, contando com alguns atrativos para uma futura atividade agrícola, tais como a infraestrutura já instalada (ex. rede de energia elétrica, beneficiamento de grãos e estradas), assim como a topografia e a disponibilidade de madeira aproveitável (Ribeiro et al., 2006).

Em geral, a maior ou menor presença de remanescente de Cerrado no município exerce certa influência na composição do preço da terra, ainda que os valores mais altos estejam mais associados à presença de rodovias e proximidade dos grandes centros consumidores e/ou produtores. Também é intuitivo pensar que as melhores áreas de Cerrado, sobretudo aquelas com maior fertilidade do solo (áreas de vegetação mais densa) e com relevo mais plano, foram ocupadas desde o início da chegada da frente pioneira e de expansão da agricultura no Estado. Por

certo, nos dias atuais, tais áreas poderiam ter significativo valor, caso ainda fossem encontradas em regiões como o Sudeste e Sudoeste do Estado.

Os baixos valores de  $r^2$ , encontrados nessa análise, podem ser também uma consequência da qualidade dos dados disponíveis para a pesquisa, pois, enquanto o dado de proporção de remanescentes municipal apresenta um bom padrão de precisão e acurácia (i.e. uma medida física, derivada de mapeamento com imagens de satélite e trabalhos de campo), o valor da terra, por se tratar de uma medida local (referenciada à sede municipal), é acurado, mas pouco preciso.

Tais resultados, comprovando o baixo valor atribuído ao Cerrado remanescente, levam a crer que tais áreas nativas são incorporadas ao sistema agrícola de forma desapropriada, isto é, com pouco planejamento ambiental e, sobretudo, econômico.

De fato, e conforme salientado por Oliveira et al. (2002), a atividade pecuária em áreas de pastagem degradadas (i.e. de baixo suporte), pode ser tão lesiva para o meio ambiente quanto a realização do extrativismo vegetal ou mineral sem um plano de manejo adequado. Ambas as atividades vão acarretar danos ambientais de difícil reversão, possivelmente com um baixo retorno socioeconômico para a sociedade. Por outro lado, e uma vez caracterizadas como degradadas (chegando até ao abandono), estas áreas podem ser re-incorporadas ao plantio de monoculturas adaptadas e de larga escala comercial, como é o caso da soja, passando, num segundo momento, a uma categoria de terra mais valorizada (sobretudo pelos investimentos no solo para a prática deste cultivo) (Brandão, et al., 2006).

#### **4.2.2 Relação entre Intensidade de Pobreza, Remanescentes de Cerrado e Valor da Terra**

A análise comparativa da intensidade de pobreza em relação à distribuição dos remanescentes de Cerrado demonstra, principalmente nas meso-regiões Norte e Leste do Estado, uma maior concentração de pobres em áreas preservadas (proporção de remanescentes elevada) (figura 7).

No sentido contrário, a intensidade de pobreza reduz sensivelmente em direção à meso-região Sul, sobretudo no Sudoeste de Goiás, não por coincidência as áreas com uso do solo mais intenso e com preços de terra mais elevados. Situação semelhante foi constatada por Novaes et al. (2008).

Em fato, e conforme mostrado na figura 8, a relação entre pobreza e remanescentes, ainda que tênue ( $r^2$  de 0,38), evidencia uma tendência de elevação da intensidade de pobreza à medida que a proporção de remanescentes aumenta. Da mesma forma, para uma parte considerável dos municípios, parece haver uma sutil redução da pobreza com a baixa proporção de Cerrado.

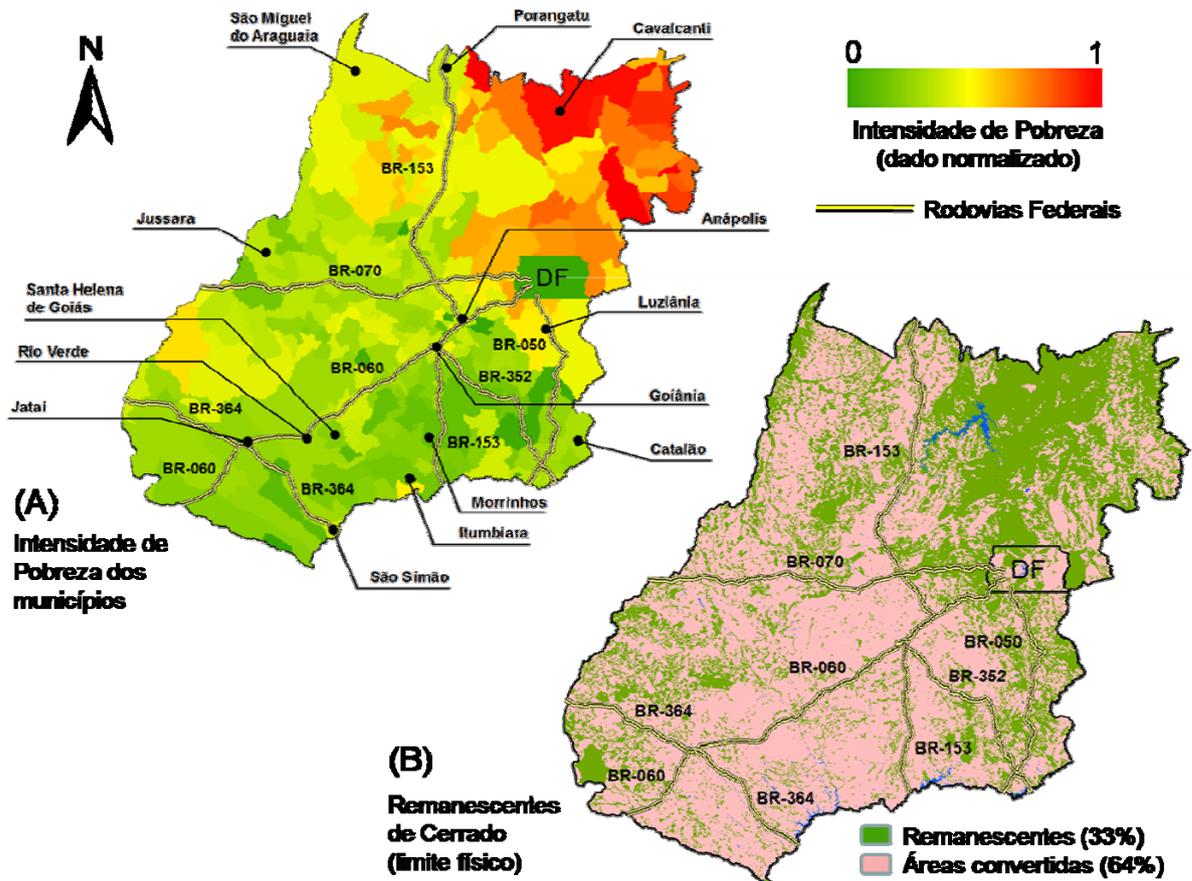


Figura 7. (A) mapa de intensidade de pobreza e (B) mapa de remanescentes de Cerrado para o Estado de Goiás (base 2002). Ambos os mapas estão sobrepostos pela malha rodoviária federal (BR). Na escala de valores (normalizada entre 0 e 1), valores próximos a 0 indicam baixa intensidade de pobreza, enquanto valores próximos a 1 indicam elevada intensidade de pobreza.

No entanto, ao contrário de um desenvolvimento sustentável, os resultados demonstram que o meio ambiente está sendo mal gerenciado há bastante tempo, assim como as questões de cunho social. Isto é, a ideia de que a intensa ocupação antrópica pode minimizar os baixos índices socioeconômicos é uma constatação equivocada, muitas vezes apregoada por tomadores de decisão despreparados. Muitas destas áreas com cobertura vegetal nativa deveriam ser mantidas como serviços ambientais essenciais, prevendo uma renda adicional aos seus

proprietários (ex. isenção de alguns impostos em troca da conservação dos ativos ambientais na referida região).

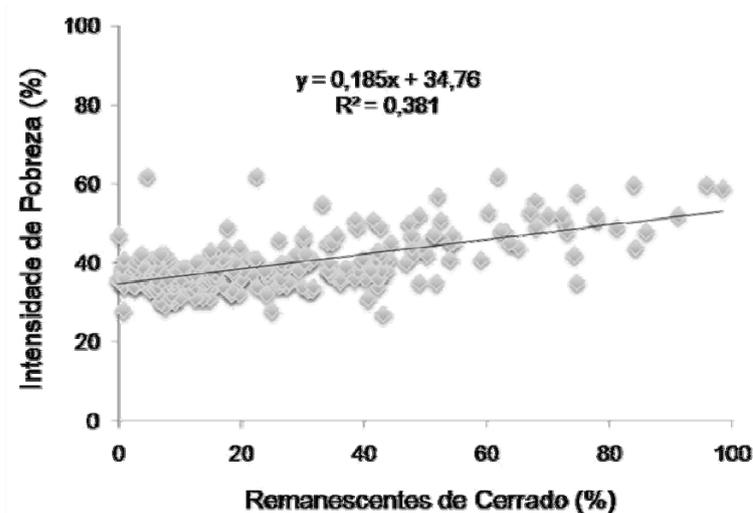


Figura 8. Correlação entre intensidade de pobreza e a proporção de remanescentes de Cerrado para os municípios do Estado de Goiás.

Em relação às análises de intensidade de pobreza versus categorias de preço de terra (exceto Cerrado Agrícola), ilustradas pelos gráficos da figura 9, percebe-se um padrão, ainda que incipiente, sugerindo uma maior intensidade de pobreza em áreas com preços de terras mais baixos (i.e. regiões com menor atrativo econômico e com baixo potencial agrícola). Em outras palavras, a pobreza tende a aumentar à medida que nos afastamos das regiões com terras mais valorizadas, e vice-versa, numa seqüência partindo da Agricultura de Alta Produtividade ( $r^2 = 0,06$ ) até a Pastagem de Baixo Suporte ( $r^2 = 0,24$ ).

Indiretamente, a baixa relação obtida entre intensidade de pobreza e categorias de preços de terras indica que a pobreza não está necessariamente concentrada nas regiões menos valorizadas, mas, de certa forma, também presente nas regiões de maior valor de mercado. Contribui para este cenário a concentração de renda no Estado, materializada por grandes propriedades monocultoras (soja e cana-de-açúcar), ainda que este cenário apresente-se menos centralizador com o passar dos anos (Galinkin, 2002; Neder e Silva, 2004).

## 5. Considerações Finais

Neste artigo buscamos compreender a relação entre a cobertura vegetal nativa e a formação dos preços de terras no Estado de Goiás, assim como o respectivo

impacto do mercado de terras aos remanescentes de Cerrado. Outra variável estudada, de cunho social, foi a *intensidade de pobreza*, também relacionada com a ausência ou presença de Cerrado e com as diversas categorias de preços de terras.

De uma forma geral, fica clara a necessidade de se aliar medidas de controle e preservação deste bioma, sobretudo no Estado de Goiás, ao uso de instrumentos econômicos. Dentre esses instrumentos, destaca-se a valoração econômica do ambiente de savana, como subsídio para políticas conservacionistas (na esfera estadual e federal).

Com uma economia baseada em atividades agropecuárias, Goiás apresenta padrões bem definidos de ocupação do Cerrado, com destaque para as mesoregiões Centro e Sul, onde estão presentes os municípios com maior déficit de cobertura vegetal nativa e, não por coincidência, responsáveis por mais da metade do PIB estadual. Num outro extremo, estão as mesoregiões Norte e Leste, concentrando os municípios com maior proporção de remanescentes de Cerrado, atreladas também aos maiores índices de pobreza.

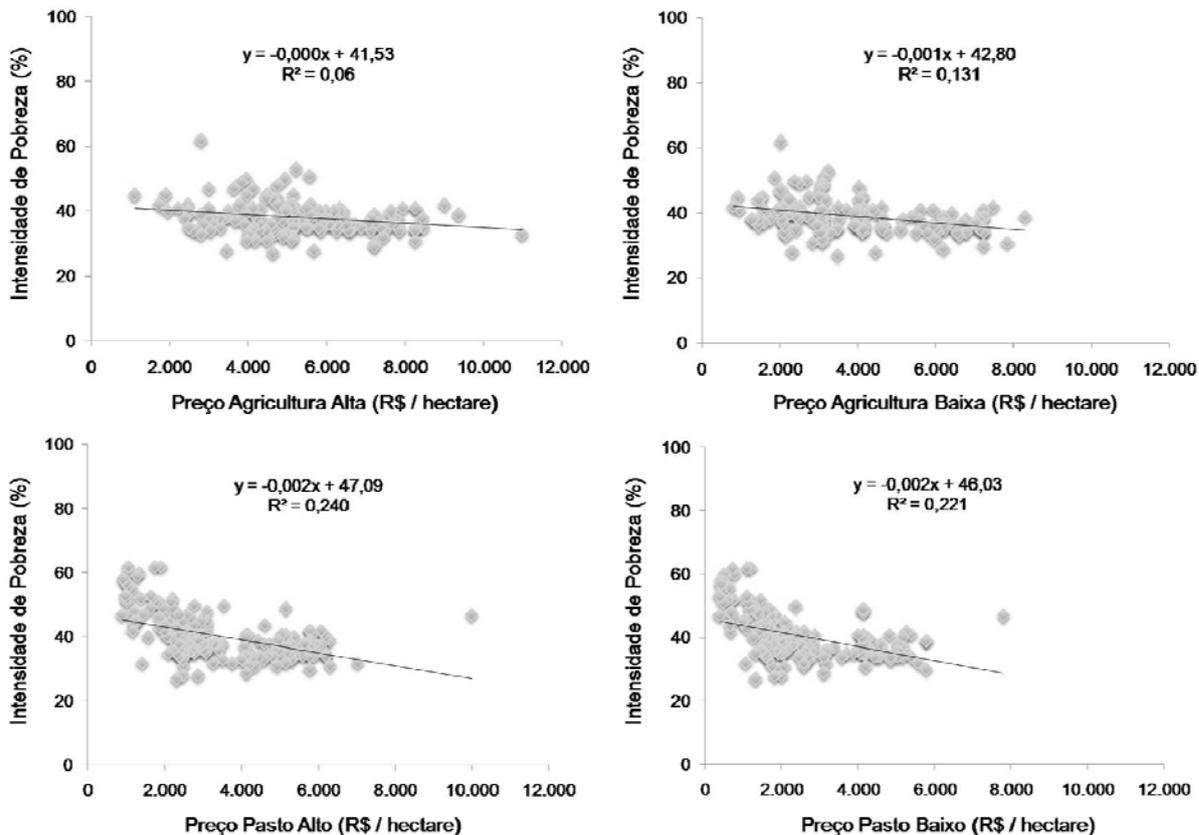


Figura 9. Correlação entre a intensidade de pobreza e as categorias de preço de terra no Estado de Goiás.

A distribuição dos preços de terras dentro os municípios goianos, para todas as categorias analisadas, segue um padrão espacial consolidado, baseado na proximidade de mercados consumidores/produtores, na topografia relativamente plana e na infraestrutura rodoviária. As categorias de preços com maior independência ao auxílio desta infraestrutura foram o Cerrado Agrícola e a Pastagem de Baixo Suporte, as quais apresentaram os maiores coeficientes de variação de preços em Goiás.

Especificamente em relação à cobertura vegetal nativa, foi constatada uma interdependência deste ativo ambiental com os preços de terras em Goiás, ainda que esta relação seja tênue. Neste caso, vale lembrar que a formação do preço está fortemente atrelada a outras variáveis já destacadas (em geral, pela infraestrutura e fertilidade do solo). A relação mais forte foi obtida entre os preços da categoria Pastagem de Alto Suporte ( $r^2 = 0,31$ ), e a mais fraca com os preços da categoria Agricultura de Alta Produtividade ( $r^2 = 0,16$ ). Fica claro que a intensidade desta relação é dependente da atividade agrícola a ser desempenhada (como a agricultura ou a pastagem, ou mesmo a manutenção deste Cerrado para o uso futuro), assim como dos respectivos atrativos oferecidos pela localidade ofertada.

Com base nessa pesquisa, entende-se que as áreas no Estado de Goiás com Cerrado preservado apresentam um valor subestimado. Como consequência a esta baixa valorização, a incorporação de novas áreas ao sistema agrícola pode ocorrer sem o devido planejamento, tanto em termos econômicos quanto ambientais, o que, em última instância, acarreta perdas à sociedade em geral.

Quanto ao passivo social *intensidade de pobreza* (o qual influi diretamente no meio ambiente), os resultados indicam uma tendência de elevação da pobreza nas áreas do Estado com maior proporção de remanescentes de Cerrado ( $r^2$  de 0,38); da mesma forma, uma redução deste índice é percebida, ainda que sutil, de acordo com a redução desta cobertura vegetal. A pobreza também parece estar mais atrelada às localidades com preços de terras mais baixos, sobretudo nas regiões com ofertas de terras para Pastagens de Baixo Suporte (meso-regiões Leste e Nordeste), com  $r^2$  de 0,24. Há de se destacar que a *intensidade de pobreza* é uma variável complexa, de forma que outros fatores contribuem para a variação da mesma, tais como os níveis de concentração de renda e escolaridade da população.

Como medidas de conservação e valorização econômica do bioma Cerrado, já inclusive abordadas por outros estudos (Cunha, 1994; Galinkin, 2002; Chomitz,

2004; Coelho et al., 2006; Ferreira et al., 2007b; Iglioni et al., 2007), sugere-se: a reincorporação ao sistema produtivo de áreas abandonadas (ex. pastagens degradadas ou com a fertilidade exaurida), comparando-se os custos de produção com os custos ambientais; a adoção de certificações ambientais (“selos verdes”) para os produtos agrícolas, cuja propriedade atue de forma sustentável em termos ambientais e sociais); o estímulo aos produtos agrícolas com maior valor agregado, provenientes da agricultura orgânica; a adoção de parcerias entre proprietários rurais e agências fiscalizadoras, visando ao cumprimento do Código Florestal, porém com um melhor aproveitamento das áreas de preservação permanentes e das reservas legais (corredores ecológicos); a adoção de sistemas de monitoramento sistemático, por meio de imagens de satélite, nos moldes dos já realizados para a Amazônia; e a adoção dos mercados para reservas de vegetação nativa (extra-propriedades ou não), como forma de estímulo à manutenção da cobertura vegetal.

Por fim, não se deve aguardar pela conversão do restante dos remanescentes de Cerrado em Goiás (35%), ou parte destes, em troca de um desenvolvimento pleno para a região. Ao contrário, deve-se estruturar planos de conservação, geração de renda e desenvolvimento social, visando o estabelecimento conjunto de valores ambientais e mercados de terras, sem abdicar ao uso dos recursos naturais.

## **Agradecimentos**

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro a esta pesquisa.

## **Referências Bibliográficas**

AGÊNCIA AMBIENTAL; AGETOP; WWF; IMAGEM. PDIAP: Projeto de Identificação de Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade no Estado de Goiás. Goiânia: Agência Ambiental. [DVD-ROM / <http://www.sieg.go.gov.br>], 2004.

BONNET, B. R. P.; FERREIRA, L. G.; LOBO, F. C. Sistema de reserva legal extra-propriedade no bioma Cerrado: Uma análise preliminar no contexto da bacia hidrográfica. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 58, n. 2 (129-137), 2006.

BRANDÃO, A. S. P.; REZENDE, G. C.; MARQUES, R. W. C. Crescimento agrícola no período 1999/2004: a explosão da soja e da pecuária bovina e seu impacto sobre o meio ambiente. *Economia Aplicada*, v. 10, n. 2, 2006.

CHOMITZ, K. M. Transferable Development Rights and Forest Protection: An Exploratory Analysis. *International Regional Science Review*, v. 27, n. 3 (348–373), 2004.

COELHO, E. M. Estimativa da disposição a pagar por alimentos orgânicos em Goiânia-GO. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2006. 182 p.

CUNHA, A. S. Uma avaliação da sustentabilidade da agricultura no cerrado. Brasília: IPEA, 1994.

EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: M. N. Pinto (Org.). *Cerrado: Caracterização, Ocupação e Perspectivas*. Editora Universidade de Brasília, Brasília, 1994, p. 17-73.

EUCLIDES, V. P. B.; EUCLIDES FILHO, K. Produção de carne em pastagens. In *Anais do 18º Simpósio sobre Manejo da Pastagem*. Piracicaba, SP, 2001.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; FERREIRA, N. C.; LOBO, F. C. Base de dados territoriais necessárias à análise de um sistema de reserva extrapropriedade no Estado de Goiás. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 27, n. 1 (27-46), 2007b.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; FERREIRA, N. C. Cobertura vegetal remanescente em Goiás: distribuição, viabilidade ecológica e monitoramento. In: L. G. FERREIRA JÚNIOR (Org.). *A encruzilhada socioambiental: biodiversidade, economia e sustentabilidade no Cerrado* (pp. 169-185). Goiânia: Editora UFG, 2008. 223p.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; PECCININI, A. A.; HUETE, A. R. Análise Comparativa dos Produtos MODIS Ecologia para o Monitoramento Biofísico Ambiental do Bioma Cerrado. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 24 (251-260), 2006.

FERREIRA, N. C.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; HUETE, A. R.; FERREIRA, M. E. An operational deforestation mapping system using MODIS data and spatial context analysis. *International Journal of Remote Sensing*, v. 28 (47-62), 2007a.

FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E.; LOBO, F. C. Riscos de desmatamentos e potencial de regeneração da vegetação nativa: definindo prioridades e estratégias territoriais. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 27, n. 1 (83-96), 2007d.

FERREIRA, N. C.; MIZIARA, F.; RIBEIRO, N. V. Preço da terra em Goiás: pressupostos e modelos. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 27, n. 1 (47-62), 2007c.

GALINKIN, M. Expansão da soja no Cerrado: uso de instrumentos econômicos para a defesa da biodiversidade. Brasília: Fundação CEBRAC, 2002.

IBGE. Mapa de biomas do Brasil. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acesso: 10 fev. 2007.

IGLIORI, D. C.; SILVA JÚNIOR, D.; LOBO, F. C. Uso de instrumentos econômicos para a proteção de vegetação nativa no Estado de Goiás: uma análise exploratória. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 27, n. 1 (63-81), 2007.

MACHADO, R. B.; NETO, M. B. R.; PEREIRA, P. G.; CALDAS E. F.; GONÇALVES D. A.; SANTOS N. S.; TABOR K.; STEININGER, M. Estimativas de perda do cerrado brasileiro. *Conservação Internacional*. Brasília, 2004. Disponível em <<http://www.conservation.org.br/arquivos/RelatDesmatamCerrado.pdf>>. Acesso em 10 fev. 2007.

MANTOVANI, J. E.; PEREIRA, A. Estimativa da integridade da cobertura vegetal de Cerrado através de dados TM/Landsat. In: *Anais do 9º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto Santos, SP: INPE, 1998.*

MARQUES, J. F.; COMUNE, A. Quanto vale o ambiente: interpretações sobre o valor econômico ambiental. In: *Anais do XXIII Encontro Nacional de Economia (633-651)*. Salvador, BA, 1995.

MATTOS, A. D. M.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R.; SOUZA, A. L.; SILVA, M. L.; LIMA, J. E. Valoração ambiental de áreas de preservação permanente da microbacia do ribeirão São Bartolomeu no município de Viçosa, MG. *Revista Árvore*, v. 31, n. 2 (347-353), 2007.

MIZIARA, F.; FERREIRA, N. C. Expansão da fronteira agrícola e evolução da ocupação e uso do espaço no Estado de Goiás: subsídios à política ambiental. In: L. G. FERREIRA JÚNIOR (Org.). *A encruzilhada socioambiental: biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado* (pp. 107-125). Goiânia: Editora UFG, 2008. 223p.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403 (853-858), 2000.

NEDER, H. D.; SILVA, J. L. M. Pobreza e distribuição de renda em áreas rurais: uma abordagem de inferência. *Revista de Economia e Sociologia rural*, v. 42, n. 3, 2004.

NEPSTAD, D.; KLINK, C. A.; UHL, C.; VIEIRA, I. C.; LEFEBEVRE, P.; PEDLWSKI, M.; MATRICARDI, E.; NEGREIROS, G.; BROWN, I. F.; AMARAL, E.; HOMMA, A.; WALKER, R. Land use in Amazônia and the Cerrado of Brazil. *Ciência & Cultura*, 49 (73-86), São Paulo, 1997.

NOGUEIRA, J. M.; DE MEDEIROS, M. A. A.; DE ARRUDA, F. S. T. Valoração econômica do meio ambiente: ciência ou empiricismo? *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 17, n. 2 (81-115), 2000.

NOVAES, P. C.; FERREIRA, L. G.; DIAS, R. Identificação de áreas prioritárias para conservação da biodiversidade no Estado de Goiás. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 23, n. 1 (41-58), 2003.

NOVAES, P. C.; LOBO, F. C.; FERREIRA, M. E. Pobreza, desenvolvimento e conservação da biodiversidade em Goiás. In: L. G. FERREIRA JÚNIOR (Org.). A encruzilhada socioambiental: biodiversidade, economia e sustentabilidade no Cerrado (pp. 127-149). Goiânia: Editora UFG, 2008. 223p.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. A study of the origin of central Brazilian forests by the analysis of plant species distribution patterns. *Edinburg Journal of Botany*, v. 52, n. 2 (141-194), 1995.

OLIVEIRA, A. D.; MELLO, A. A.; SCOLFORO, J. R. S.; RESENDE, J. L. P.; MELO, J. I. F. Avaliação econômica da regeneração da vegetação de Cerrado, sob diferentes regimes de manejo. *Revista Árvore*, v. 26, n. 6 (715-726), 2002.

OMETTO, A. R.; RAMOS, P. A. R.; LOMBARDI, G. The benefits of a Brazilian agro-industrial symbiosis system and the strategies to make it happen. *Journal of Cleaner Production*, v. 15 (1253-1258), 2007.

PINTO, L. F. G., BERNARDES, M. S., STAPE, J. L.; PEREIRA, A. R. Growth, yield and system performance simulation of a sugarcane-eucalyptus interface in a sub-tropical region of Brazil. *Agriculture Ecosystems and Environment*, v. 105 (77-86), 2005.

PIRES, M. O. Programas agrícolas na ocupação do Cerrado. *Sociedade e Cultura*, v. 3, n. 1-2 (111-131), 2000.

PNUD; IPEAD; FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. Brasília: PNUD [Software / URL <http://www.pnud.org.br/atlas>], 2002.

RIBEIRO, A. R. B. M., CALEMAN, S. M. Q., MARTINS, G. I. V., LOURIVAL, R. Determinantes do valor da terra no Corredor Cerrado-Pantanal: subsídios para políticas conservacionistas. *Megadiversidade*, v. 2, n. 1-2 (71-79), 2006.

RIBEIRO, F. L. Avaliação contingente de danos ambientais: o caso do rio Meia Ponte em Goiânia-GO. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998. 80p.

RIBEIRO, M. S.; GRATÃO, A. D. Custos ambientais: o caso das empresas distribuidoras de combustíveis. In: *Anais do VII Congresso Brasileiro de Custos*, Recife-PE, 2000.

SANO, E. E.; BARCELLOS, A. O.; BEZERRA, H. S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian savanna. *Pasturas Tropicales*, v. 22, n. 3 (2-15), 2001.

SANO, E. E.; DAMBRÓS, L. A.; OLIVEIRA, G. C.; BRITES, R. S. Padrões de cobertura de solos do Estado de Goiás. In L. G. FERREIRA JÚNIOR (Org.). A encruzilhada socioambiental: biodiversidade, economia e sustentabilidade no Cerrado (pp. 91-106). Goiânia: Editora UFG, 2008b. 223p.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO J. L.; FERREIRA JÚNIOR, L. G. Mapeamento semidetalhado (escala de 1:250.000) da cobertura vegetal antrópica do bioma Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 43, n. 1 (153-156), 2008a.

SEPLAN. Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento. Produto Interno Bruto dos municípios goianos (2002-2005), 2007. Disponível em <<http://www.seplan.go.gov.br/sepin/down/PIBMun2005.pdf> >. Acesso: 10 fev. 2008.

## APÊNDICE C

### **MODELAGEM DA DINÂMICA DOS DESMATAMENTOS NO BIOMA CERRADO: CENÁRIOS E PERSPECTIVAS PARA A CONSERVAÇÃO\***

Manuel Eduardo Ferreira<sup>1</sup>, Fausto Miziara<sup>1</sup>, Britaldo S. Soares Filho<sup>2</sup>,  
Laerte Guimarães Ferreira Júnior<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Goiás  
Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais  
Cx. Postal 131, 74001-970, Goiânia - GO, Brasil  
manuel@iesa.ufg.br; fausto@fchf.ufg.br; laerte@iesa.ufg.br

<sup>2</sup>Universidade Federal de Minas Gerais  
Departamento de Cartografia, Centro de Sensoriamento Remoto  
Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, 31270-900  
britaldo@csr.ufmg.br

#### **Resumo**

Reconhecido como uma das mais ricas e extensas savanas do mundo, o Cerrado, segundo maior bioma da América do Sul, atualmente apresenta um intenso e contínuo processo de antropização, próximo de 40% de sua área original. Como forma de orientação e planejamento à ocupação em curso, bem como àquela possível de ocorrer a médio e longo prazo, apresentamos neste trabalho uma modelagem de cenários futuros sobre a expansão dos desmatamentos no bioma Cerrado, até o ano de 2050. A partir do entendimento e integração de variáveis orientadoras para esta ocupação, tais como os aspectos do relevo, clima e infraestrutura, foi utilizada uma técnica de modelagem ambiental multivariada e não-linear, baseada no conceito de autômatos celulares, disponível na plataforma de desenvolvimento DINAMICA-EGO. Se mantidos os atuais níveis de governança, os cenários futuros indicam um acréscimo das áreas desmatadas no bioma Cerrado na ordem de 13,5% até o ano de 2050, em comparação ao ano de 2002 (nosso estado inicial da paisagem), com uma conversão média de 40.000 km<sup>2</sup> por década. Estas mudanças sinalizam para uma expansão da fronteira agrícola no Cerrado em direção às regiões Norte e Nordeste do país, sobretudo nos estados da Bahia, Piauí e Maranhão. Dentre as consequências socioeconômicas e ambientais, é previsto um maior comprometimento das bacias hidrográficas de todo o bioma, com prejuízos diretos para os recursos hídricos, solos e biodiversidade da região.

**Palavras-chave:** bioma Cerrado, modelagem socioambiental, mudança no uso da terra, desmatamentos, Dinamica-EGO, cenários futuros.

#### **Abstract**

Recognized as one of the richest and most extensive savannas in the world, the Cerrado region, the second largest biome in South America, presents an intense and continuous human induced land-cover change, around 40% of its original area. In the pursuit of orientation and planning of current and long term occupation, in this work we present likely deforestation scenarios in the entire Cerrado biome, up to the year 2050. Based on the understanding and integration of explanatory variables, such as terrain slope, climate and infrastructure, we applied a multivariate and non-linear technique for environmental modeling, based on the concept of automata cellular, available on the development platform DINAMICA-EGO. Assuming present levels of governance and the business as usual scenarios, we estimate an increase of the deforested areas in the order of 13.5% by the year 2050 (comparatively to 2002, our initial landscape state), at an average decadal conversion rate of 40,000 km<sup>2</sup>. These potential landscape changes are more prominent in the biome Northern and Northeastern agricultural frontiers, particularly affecting the states of Bahia, Piauí and Maranhão. Among the socioeconomic and environmental consequences, it is expected larger demands on the biome watersheds, with direct impacts and threatens to the region water resources, soil and biodiversity.

**Keywords:** Cerrado biome, environmental social modelling, land cover change, deforestation, Dinamica-EGO, future scenarios.

---

\* Manuscrito em fase de submissão.

## 1. Introdução

A região de savanas no Brasil, também conhecida por Cerrado, é reconhecida como um dos mais importantes e ameaçados ecossistemas do mundo em termos de biodiversidade (Ratter et al., 1997; Myers et al., 2000) e recursos hídricos (Costa et al., 2003; Lima e Silva, 2008). Sua área contínua ultrapassa a marca de dois milhões de km<sup>2</sup>, sendo assim o segundo maior bioma do continente Sul Americano. Nos últimos anos, com a eminência de uma mudança climática global (IPCC, 2001; Nobre et al., 2007), esta região vem recebendo uma maior demanda por novas fontes de energia (biocombustíveis) e produção de alimentos (Gibbs et al., 2008), aumentando também o seu destaque para a manutenção de serviços ambientais, entre estes a condição de sumidouro de gases de efeito estufa, juntamente com a Amazônia e outros ecossistemas no país.

Entretanto, o cenário de conservação do Cerrado já está um tanto comprometido. Levantamentos recentes indicam que entre 40 a 55% de sua área original já foram antropizados e/ou convertidos em áreas de pastagens e grandes monoculturas nas últimas quatro décadas (Machado et al., 2004; Sano et al., 2008), processo este incentivado principalmente por programas governamentais (Pires, 2000).

Por outro lado, tomadores de decisão começam a perceber que a redução deste impacto ambiental não se restringe tão somente à priorização de áreas para a conservação da biodiversidade ou medidas de fiscalização. Acima de tudo, envolve um entendimento dos processos que levam a esta antropização da paisagem, como forma de planejamento e governança.

Segundo Bertrand (2004), a paisagem pode ser compreendida como o resultado da combinação dinâmica de elementos físicos, biológicos e antrópicos, numa determinada porção da superfície geográfica. Ainda que esta combinação de elementos ocorra de forma instável e complexa (inclusive por seu caráter dinâmico), muitas pesquisas apontam para a possibilidade de se criar modelos que compreendam a ocupação humana sobre uma paisagem natural, assim como os impactos decorrentes desta, seja num ambiente urbano ou rural (Baker, 1989; Almeida, et al., 2003).

Em fato, a partir do entendimento e integração de variáveis orientadoras para essa ocupação, tais como os aspectos do relevo e a infraestrutura, torna-se possível

a construção de cenários futuros para uma dada paisagem, indicando a probabilidade de transição no uso da terra, ao longo do tempo e do espaço (ex. expansão da agricultura) (Soares-Filho et al., 2002). Devido ao fato de alguns desses modelos incorporarem variáveis socioeconômicas, ecológicas e climáticas, é possível estimar, por exemplo, custos ambientais e sociais, ou perdas na biodiversidade (Münier et al., 2004; Levy et al., 2004; Thomas et al., 2004).

No Brasil, a modelagem de cenários relativos aos desmatamentos em extensas áreas naturais vem sendo realizada principalmente para o ecossistema Amazônico, devido à sua reconhecida importância na manutenção da biosfera e atmosfera globais. Destacam-se, neste grupo, os trabalhos de Evans et al. (2001), Soares-Filho et al. (2006) e Ximenes et al. (2008), os quais, por meio de simulações dinâmicas da paisagem, apresentam as probabilidades de redução de floresta primária, mantidos os atuais padrões demográficos, econômicos e governamentais.

Especificamente para o bioma Cerrado, não houve, até o momento, iniciativas de modelagens dinâmicas voltadas para o controle de desmatamentos em suas áreas de vegetação nativa. Nesse sentido, propõe-se neste estudo a realização de uma modelagem socioambiental, visando a geração de cenários futuros sobre os desmatamentos para toda região do Cerrado até o ano de 2050. Outros objetivos do trabalho envolvem a análise das áreas convertidas nesta simulação em função dos seus limites políticos (nível estadual) e fisiográficos (bacias hidrográficas, conforme o sistema de Ottobacias, nível 3).

Para tanto, adotamos a plataforma DINAMICA-EGO - modelagem de sistema ambientais (Soares-Filho et al., 2002; Rodrigues et al., 2007), visando o desenvolvimento de um modelo de desmatamentos, baseado no conceito de autômatos celulares. A nossa hipótese é a de que, assim como na Amazônia, a ocupação antrópica no Cerrado possa ser prevista e orientada, a partir da integração de variáveis estáticas (como o relevo, distância de rodovias e fertilidade dos solos) e dinâmicas (como a distância das áreas convertidas e dos remanescentes de Cerrado).

## 2. Metodologia

### Área de Estudo

A área de estudo adotada neste trabalho refere-se ao limite do bioma Cerrado (área contínua), compreendendo nove Unidades da Federação<sup>2</sup>: Goiás (GO), Tocantins (TO), Maranhão (MA), Piauí (PI), Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG) e São Paulo (SP), além do Distrito Federal (DF) (Figura 1). As análises foram estendidas também às bacias hidrográficas contidas na região (total de 102 bacias, segundo a classificação de Ottobacias, Nível 3).

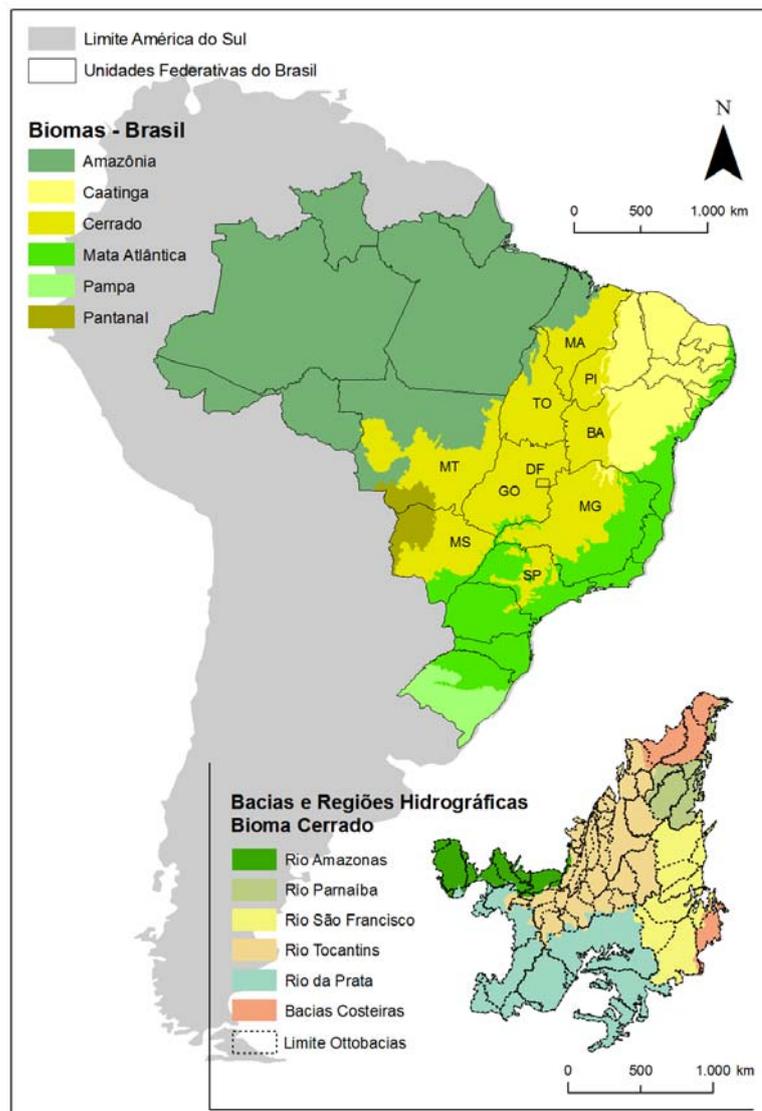


Figura 1. Localização da área de estudo, com destaque para os biomas limítrofes ao Cerrado e para as bacias hidrográficas na região.

<sup>2</sup> O Estado do Paraná foi excluído da análise, por apresentar apenas 2% do bioma Cerrado.

## O modelo Conceitual de Desmatamento

O desenvolvimento de modelos ambientais é, provavelmente, a melhor forma de se compreender a dinâmica de impactos ambientais numa dada paisagem, pela possibilidade de se combinar variáveis explicativas à ocupação humana, visando a melhor previsibilidade possível sobre os futuros eventos na mesma. Assim, o entendimento e a opção por estas variáveis são etapas essenciais na elaboração e aplicação de um modelo (Ximenes et al., 2008).

De acordo com Miziara e Ferreira (2008), as mudanças no uso da terra no bioma Cerrado estão, num primeiro momento, fortemente atreladas às características naturais do solo, tais como a topografia, a fertilidade (natural) e a localização (proximidade de centros consumidores ou produtores). Dessa forma, o solo estará mais (ou menos) suscetível a ser incorporado ao processo produtivo, de acordo com o grau de conformidade a estas características.

No Cerrado, as atividades humanas predominantes são as pastagens nativas ou cultivadas (voltadas principalmente para a criação de bovinos), seguida pela agricultura especializada (monoculturas), urbanização e atividades mineradoras. As atividades agropecuárias, que respondem por grande parte da produção de grãos e carne no país (Sano et al., 2001), concentram-se preferencialmente em áreas planas, ideais para a mecanização da agricultura e urbanização (Jasinski, et al., 2005). Em fato, 93% da ocupação antrópica no bioma até ano de 2002 (o equivalente a 74 milhões de hectares)<sup>3</sup> situam-se em terrenos com até 10°, os quais compreendem 97% da superfície do Cerrado (Figura 2). É interessante observar que as áreas de menor declividade ainda continuam a ser o principal alvo das conversões em curso, conforme demonstram os dados de alertas de desmatamentos detectados pelo SIAD<sup>4</sup> (Figura 3).

A fertilidade do solo, por sua vez, tem sido outra variável importante para a ocupação do Cerrado (Rezende, 2003), sobretudo pela demanda agrícola por terras mais férteis, cada vez mais escassas. Normalmente, os solos do Cerrado são pouco férteis, devido ao elevado grau de intemperismo, principalmente em solos do tipo Latossolos, bastante antigos e predominantes na região (Reatto e Martins, 2005).

---

<sup>3</sup> Dados do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica / Ministério do Meio Ambiente (PROBIO).

<sup>4</sup> Sistema Integrado de Alertas de Desmatamentos - Universidade Federal de Goiás/Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (Ferreira, et al., 2007a; Ferreira Júnior et al., 2008a).

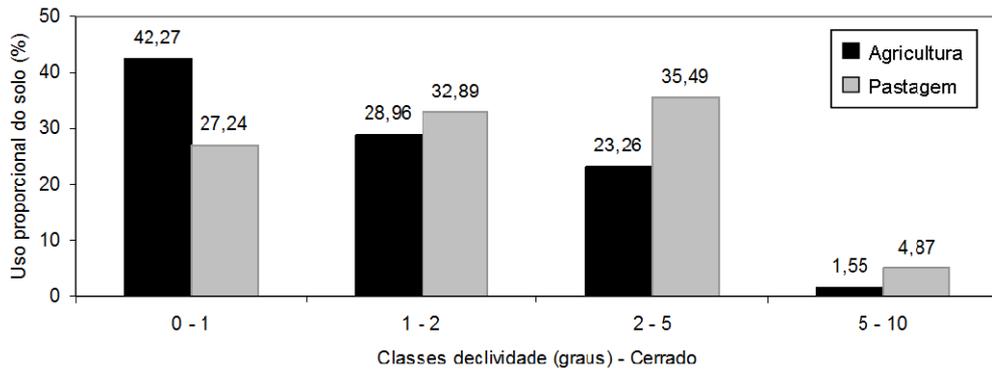


Figura 2. Distribuição do uso antrópico no Cerrado (pastagem e agricultura), em função das classes de declividade com até 10°.

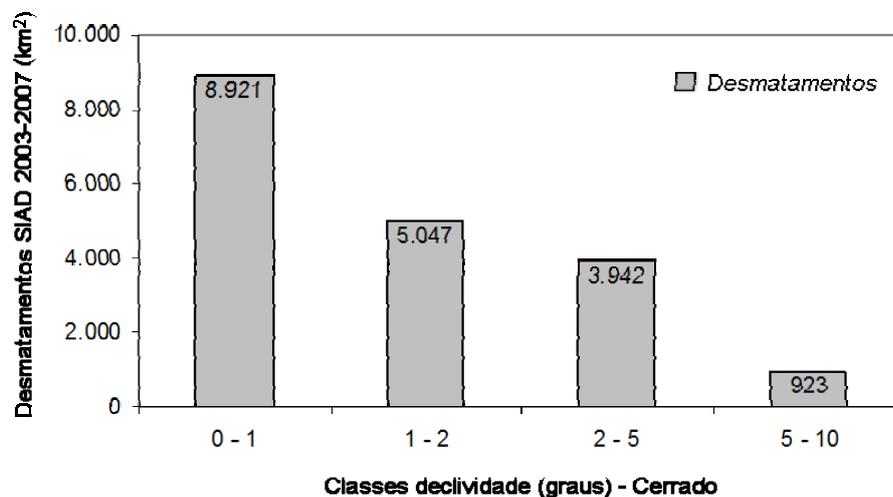


Figura 3. Distribuição dos alertas de desmatamentos no Cerrado (dados SIAD), entre 2003 a 2007, em função das classes de declividade com até 10°.

As terras com cobertura vegetal mais densa, de fisionomia florestal (ex. Cerradão e Mata seca), mesmo em menor quantidade, foram originalmente (e continuam sendo) as mais procuradas por agricultores, por oferecerem um maior suporte nutricional aos plantios (i.e., uma terra virgem, com declividade adequada, sem a necessidade de elevados investimentos em insumos agrícolas). Entretanto, nas últimas décadas, a fertilidade vem deixando de ser um fator limitante à ocupação do Cerrado, devido à incorporação de novas técnicas de plantio e adubação. Com base nos atuais alertas de desmatamentos (período 2003 a 2007), verifica-se que estes se concentram em áreas de “baixa” ou “muito baixa” fertilidade (56% e 42%, respectivamente), indicando uma menor dependência às características pedológicas da região.

A ocupação do Cerrado parece estar vinculada também às condições climáticas da região, conforme destacam Diniz-Filho et al. (2008), demonstrando a relevância da média mensal anual de precipitação como uma variável importante

neste processo. Segundo estes autores, o clima estaria correlacionado em até 65% com a atual estrutura espacial do bioma (em complemento com outras variáveis de ordem socioeconômica e geográfica). Provavelmente, com o avançado estágio de conversão do bioma, somado ao uso de técnicas apropriadas de irrigação, esta dependência à precipitação seja cada vez menor, em comparação com o início da década de 1970 (momento da expansão inicial da fronteira agrícola no Centro-Oeste brasileiro).

Dentre as variáveis antrópicas, a infraestrutura rodoviária oferece uma grande atratividade para o desflorestamento (Soares-Filho, et al., 2004; Fearnside, 2006; Ferreira, et. al., 2007b), sobretudo nas áreas de extração madeireira e produção de carvão vegetal (caso da Amazônia e do Cerrado) ou para a agricultura de larga escala (caso do Cerrado). Tal fato se deve, naturalmente, pela necessidade de escoamento da produção, influenciando o surgimento e desenvolvimento de outras atividades (urbanização, rotas de comércio e indústrias). Esta relação pode ser verificada no gráfico da figura 4, onde se observa que a maioria dos desmatamentos estão concentrados em até 2 km das rodovias, estabilizando-se na faixa de 8 a 10 km.

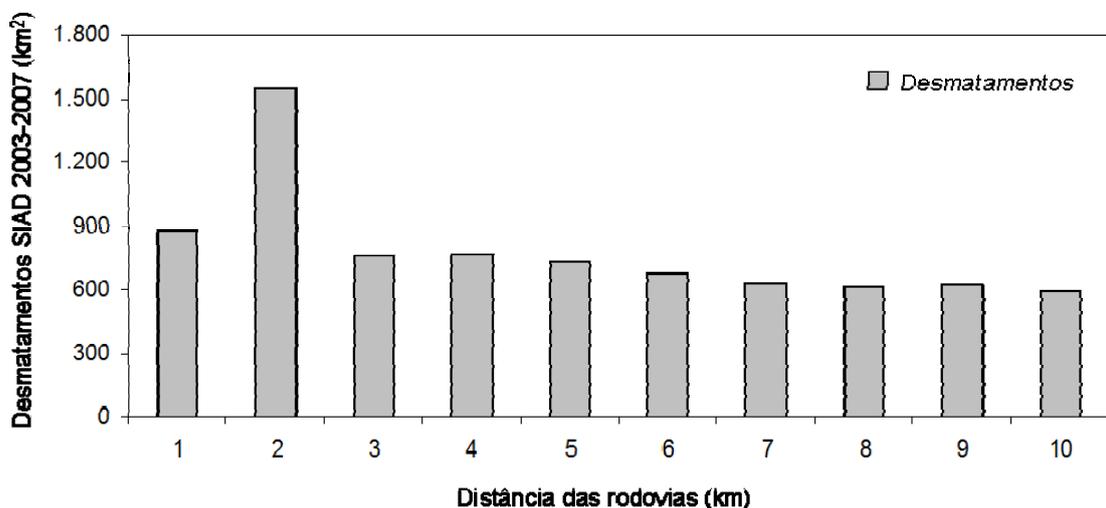


Figura 4. Distribuição dos alertas de desmatamentos no Cerrado (dados SIAD), entre 2003 a 2007, em função da distância de rodovias (até 10 km).

Semelhantemente à estrutura rodoviária, a variável antrópica “localidade”, referente à proximidade de centros consumidores mais desenvolvidos, também atua como um pólo atrativo para a ocupação do Cerrado (Miziara e Ferreira, 2008; Rodrigues e Miziara, 2008). Normalmente, tais pólos são representados pelas sedes

municipais e respectivos valores de IDH (Índice de Desenvolvimento Humano), PIB (Produto Interno Bruto) ou por outras variáveis socioeconômicas (Ferreira et al., 2007c).

O fator “localidade” também atua sobre a distribuição dos desmatamentos, em função, por exemplo, da proximidade de áreas já convertidas (como pastagem e agricultura). Verifica-se, assim, uma maior concentração dos desmatamentos nos primeiros 5 km destas áreas, com um volume significativamente maior de mudanças com a proximidade de pastagens, indicando a prevalência desta atividade no processo de expansão e/ou intensificação do uso do solo no Cerrado (Figura 5).

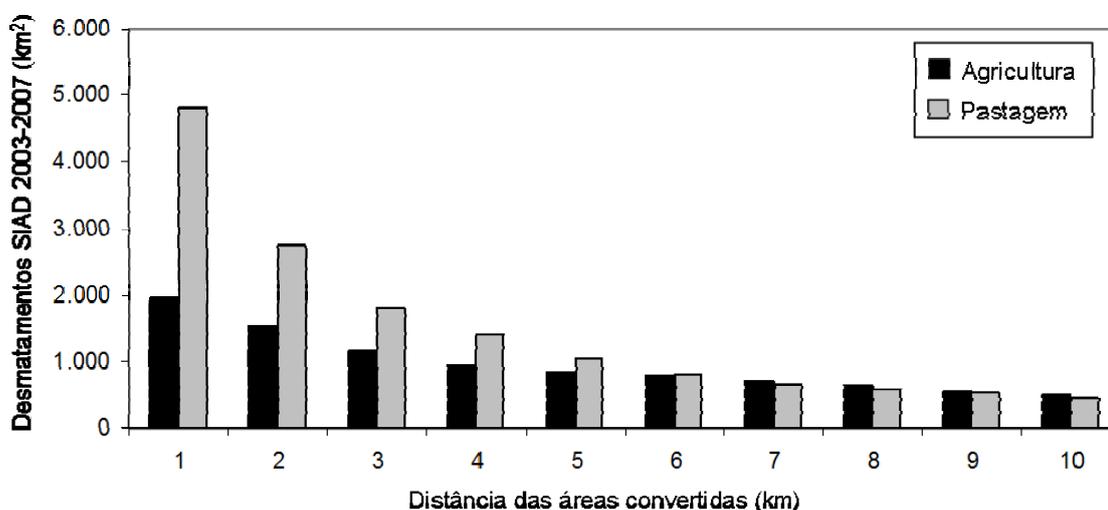


Figura 5. Distribuição dos alertas de desmatamentos no Cerrado (dados SIAD), entre 2003 e 2007, em função da distância de áreas previamente convertidas (até 10 km).

Com base nos elementos apresentados, o modelo de desmatamento idealizado neste estudo prioriza dois grupos de variáveis explicativas: fisiográficas (topografia, fertilidade dos solos, hidrografia e clima) e antrópicas (infraestrutura e desenvolvimento socioeconômico). Tais variáveis (Figura 6) apresentam significativa relevância para a atual configuração da paisagem no bioma Cerrado. No processo de modelagem (Figura 7), estas informações, integradas de forma não-linear, indicam o potencial de mudança para cada célula na paisagem, ao longo do tempo.

### Bases de Dados

As bases de dados utilizadas neste estudo são discriminadas abaixo (Figura 6), juntamente com os respectivos procedimentos de análise.

- 1) **Mapa de uso da terra** (estado inicial da paisagem ou T1). Optou-se pelo mapa do PROBIO (Sano et al., 2008), o qual corresponde à informação oficial e mais recente sobre a cobertura e uso da terra no Cerrado. Elaborado à escala de 1:250.000, a partir da interpretação de 121 cenas Landsat TM (ano-base 2002) conforme o sistema de classificação da vegetação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), apresenta uma acuidade geral de aproximadamente 90% (quando são consideradas apenas duas classes, i.e. vegetação natural e áreas convertidas). Para integração ao modelo de desmatamentos, os conjuntos de classes antrópicas e de remanescentes de Cerrado foram resumidos em dois: (1) remanescentes de Cerrado e (2) áreas convertidas.
- 2) **Mapa de desmatamentos**. Esta base foi gerada pelo Sistema Integrado de Alertas de Desmatamentos (SIAD), referente ao período entre 2003 e 2007, a partir da comparação de imagens MOD13Q1 NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) (Huete et al., 2002)<sup>5</sup>, conforme um limiar de mudança de 30% e área mínima de detecção de 25 hectares. Estes dados serviram para a atualização do mapa de uso da terra “inicial” (T1, 2002), com vistas à obtenção do mapa de uso da terra “final” do Cerrado (T2, 2007). Anteriormente à sua utilização na referida modelagem, os polígonos de desmatamentos detectados pelo SIAD passaram por inspeção visual (em laboratório) e validação em campo<sup>6</sup>.
- 3) **Mapa de relevo**. Este mapa representa os aspectos topográficos da superfície do Cerrado, conforme uma estatística de vizinhança (desvio padrão, matriz 3x3) aplicada às imagens de altimetria SRTM<sup>7</sup>. Com esta técnica foi possível reconhecer não apenas a declividade do terreno, mas a variação desta entre os *pixels* vizinhos na imagem. Dessa forma, foram destacadas as áreas com menor desvio padrão da altitude (mais planas) e aquelas com maior variação (com maior declividade).

---

<sup>5</sup> MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. Imagens disponibilizadas, gratuitamente, pelo portal de dados EOS/NASA: <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>

<sup>6</sup> Ver apêndice da tese: Ferreira et al., 2008a - relatório técnico não publicado.

<sup>7</sup> SRTM: Shuttle Radar Topography Mission. Dados de altimetria disponibilizados, gratuitamente, através do portal [ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/SRTM3/South\\_America/](ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/SRTM3/South_America/)

- 4) **Mapa de fertilidade do solo.** Disponibilizado pelo portal de dados do IBGE (<http://mapas.ibge.gov.br>), este mapa distingue a fertilidade dos solos no Cerrado, à escala de 1:5.000.000, em 4 classes temáticas: alta, médio-alta, baixa e muito baixa. Na classe “alta”, a topografia é plana à suavemente ondulada, com solos mais profundos e textura fina, praticamente sem limitações de uso. Na classe “médio-alta”, a topografia é plana à ondulada, com declives mais acentuados, solos pouco profundos, com textura mais grosseira. Já a classe “baixa” indica os solos com topografia também plana à suavemente ondulada, porém com baixa disponibilidade de nutrientes e excesso de alumínio. A classe “muito baixa” refere-se aos solos em áreas de topografia montanhosa ou escarpada, com alta salinidade, reduzida profundidade, presença de rochas e textura arenosa.
- 5) **Mapa de hidrografia.** Disponibilizado pelo portal do SIGEL<sup>8</sup> (Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico), este mapa representa os cursos hidrográficos do país, à escala de 1:1.000.000, recortados segundo o limite do bioma Cerrado.
- 6) **Mapa de estradas.** Também disponibilizado pelo portal de dados do IBGE, este mapa representa as rodovias no país (em uso ou em construção), à escala de 1:5.000.000 (série Brasil Geográfico), recortados segundo o limite do bioma Cerrado.
- 7) **Mapa de precipitação.** Este mapa foi elaborado a partir do levantamento e espacialização das médias mensais anuais de precipitação, provenientes de 1136 estações espalhadas pelos estados do bioma Cerrado (em média, 20 anos de dados). Os dados foram compilados e cedidos pelo Laboratório de Biofísica Ambiental da Embrapa Cerrados. Dentre os métodos de interpolação espacial, empregou-se o Krige (semi-variograma esférico), bastante apropriado à representação para esta variável climática (Silva et al., 2007).
- 8) **Mapa de atratividade humana** (imagem de pólos de atração). Este mapa foi elaborado por meio da identificação das principais sedes municipais no Cerrado, capazes de influenciar a socioeconomia local, regional ou mesmo

---

<sup>8</sup> SIGEL: Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico. Dados de recursos hídricos disponibilizados, gratuitamente, através do portal <http://sigel.aneel.gov.br/brasil/viewer.htm>

nacional. O critério de seleção foi o tamanho da população (igual ou superior a 2000 mil habitantes), ranqueadas de acordo com o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). Dessa forma, ao todo foram selecionadas 372 sedes.

- 9) **Mapa de bacias hidrográficas.** O mapa de bacias hidrográficas, segundo a classificação de Ottobacias - Nível 3 (ANA, 2006), foi empregada neste estudo como um dos limites de análise para os cenários obtidos com a modelagem. Este método de classificação de bacias é considerado como o mais natural e hierárquico, pois se baseia na topografia e na topologia da rede de drenagem, ressaltando a conectividade e a direção (Galvão e Meneses, 2005). Ao todo, foram obtidas 102 Ottobacias para a região do Cerrado. Estes dados também estão disponíveis no portal de dados do SIGEL<sup>7</sup>.

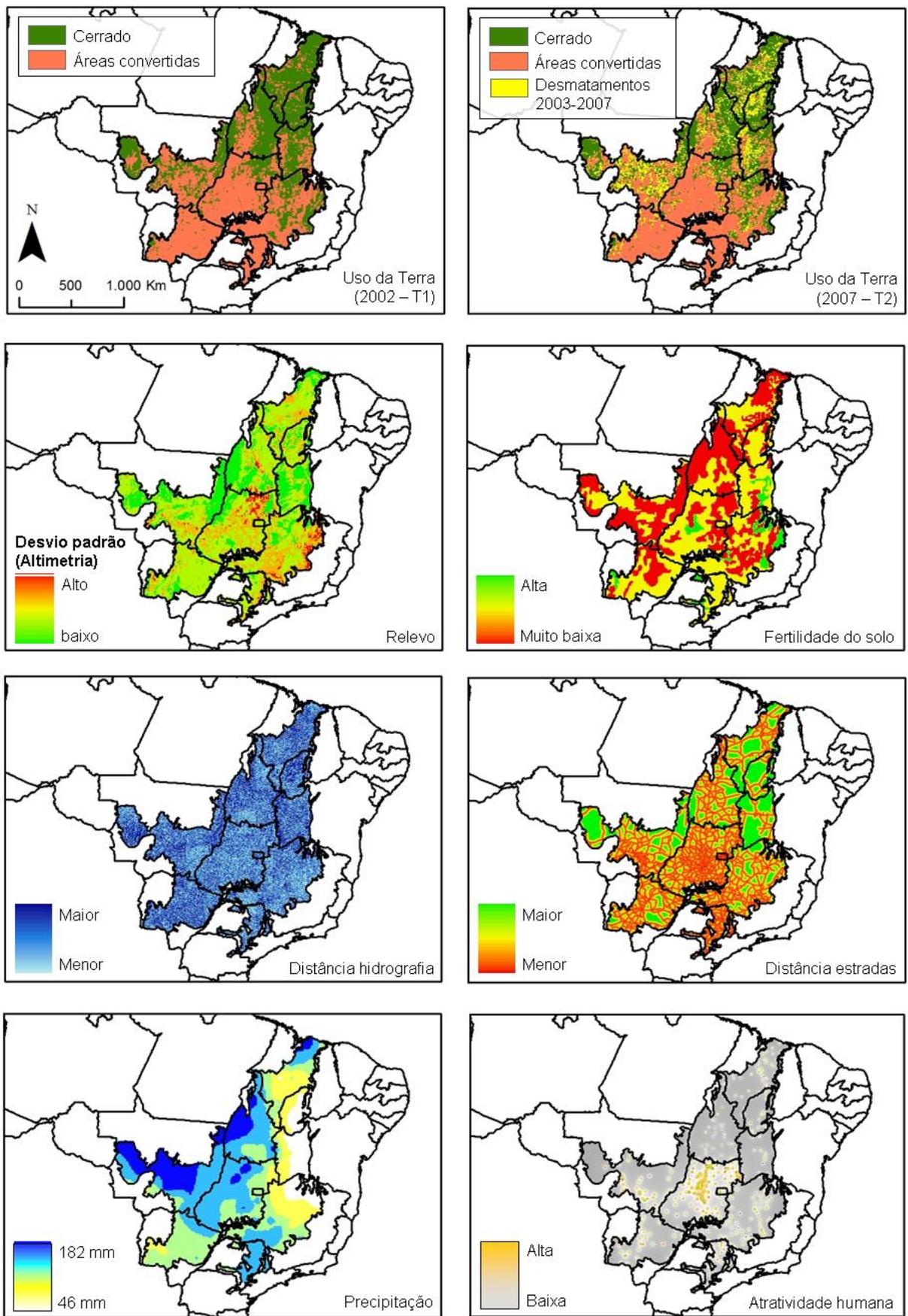


Figura 6. Bases de dados (variáveis explicativas) empregadas na modelagem.

## **Etapas de Processamento - DINAMICA-EGO**

A plataforma DINAMICA-EGO (Rodrigues et al., 2007), empregada neste estudo, foi concebida como um ambiente de modelagem para os projetos de pesquisa conduzidos pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (<http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>), entre estes os modelos ambientais dinâmicos para a Bacia Amazônica (projeto “Cenários para Amazônia”) (Soares-Filho et al., 2006), bem como os projetos de colonização neste bioma (Soares-Filho et al., 2002).

Os diferenciais do DINAMICA, em relação a outros programas de modelagem (livres ou comerciais), referem-se à sua forma intuitiva para a construção de modelos (fluxo de dados, com objetos orientados à programação), à capacidade e agilidade de processamento (neste caso, para um grande volume de mapas/imagens do bioma Cerrado), e ao próprio método de modelagem para simular a dinâmica de uma paisagem, baseado no modelo estocástico de autômatos celulares (Soares-Filho et al., 2001 e 2002).

Em linhas gerais, o conceito de autômatos celulares consiste na idéia de que, num arranjo  $n$  dimensional de células, cada célula apresenta uma probabilidade de passar de um “estado 1” para um “estado 2” na paisagem, de acordo com a sua condição prévia e do arranjo espacial das células vizinhas, seguindo um conjunto de regras de transição (Soares-Filho et al., 2003). Este comportamento aleatório das células representa o conceito “dinâmico” da modelagem.

Para a realização da modelagem propriamente dita (Figura 7), todas as bases de dados, com exceção das bacias hidrográficas, foram transformadas para o formato de imagem (*raster*), com os *pixels* re-amostrados para a resolução espacial de 1 km. Também foi padronizado o sistema de projeção cartográfica, assim como o número de linhas e colunas para todas as imagens (neste caso, 2680 linhas por 2263 colunas). No fluxograma de modelagem (Figura 7), tais procedimentos referem-se à “etapa 2”, fundamentais para a integração das variáveis no DINAMICA.

Seguindo as etapas deste fluxograma, procedeu-se com o cálculo da matriz de transição (etapa 3), com a qual se obteve a taxa de mudança na paisagem entre o estado T1 (2002) e T2 (2007). Como resultado deste cálculo (realizado a partir de um sub-modelo no DINAMICA), obteve-se uma taxa de 1,5% de mudança, num intervalo de 5 anos, ou 0,3% para cada período anual (2002-2003,..., 2006-2007).

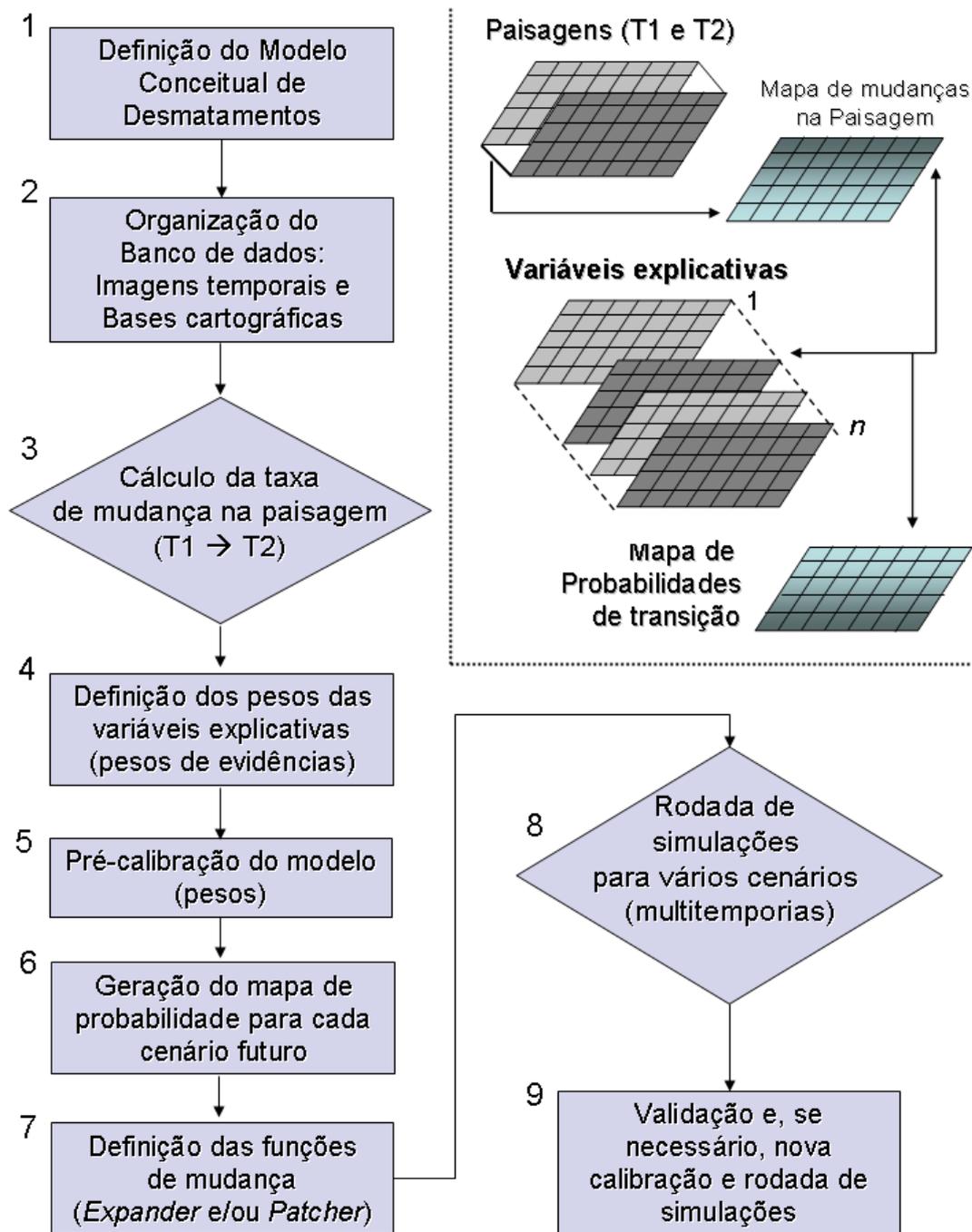


Figura 7. Fluxograma do modelo conceitual de desmatamentos. Adaptado de Soares-Filho et al. (2002 e 2003).

A definição dos pesos das variáveis explicativas (etapa 4), em relação ao mapa de mudanças na paisagem, foi realizado com ferramenta própria do DINAMICA, baseada no “método de pesos de evidências”. Este método opera por inferência *baysiana*, ou seja, identificando as probabilidades (*à priori* e *à posteriori*) de ocorrência do evento estudado (desmatamento) em face da ocorrência prévia de outro evento, denominado evidência (Câmara et al., 2001).

O peso de evidência, obtido por meio de uma tabulação cruzada entre as variáveis e o mapa de mudança na paisagem, indica a influência (positiva ou negativa) de cada faixa de distância das variáveis proximais (ex. distância de estradas e rios) ou de cada classe das variáveis categóricas (ex. classes de declividade ou precipitação) para a ocorrência de transição no uso da terra. Uma pré-calibração dos pesos de evidências, assim como o tamanho das amostras proximais a serem analisadas, deve ser realizada com base no conhecimento do analista (etapa 5).

A respectiva influência das variáveis explicativas (etapa 4) é expressa por meio de mapas de probabilidade para os futuros desmatamentos (etapa 6), obtidos por meio de um sub-modelo no DINAMICA. Na “etapa 7” são implementadas ao modelo duas funções de alocação espacial para as novas mudanças no uso da terra. A primeira função, denominada *expander*, é responsável por alocar a transição (i.e., novos desmatamentos) como uma expansão das áreas já convertidas, enquanto que a segunda, denominada *pacther*, cria novas manchas de conversão, desconexas às áreas já ocupadas (mais direcionada à modelagem de desmatamentos seletivos, por exemplo).

As etapas finais (8 e 9) dizem respeito à rodada de simulações para a geração dos cenários futuros (i.e., modelos de desmatamentos para  $n$  anos, a partir do estado T1 da paisagem) e às validações do modelo de mudança. Neste estudo, o modelo simulou os desmatamentos até o ano de 2050. Se necessário, uma nova calibração deve ser realizada, seguida por uma nova rodada de simulações. A cada rodada, o DINAMICA produz novos mapas de probabilidade de transição, em conjunto com novos cenários temporais, prevendo as áreas que poderão ser desmatadas no futuro.

### **3. Resultados e Discussões**

#### **Cenário atual de desmatamentos**

De acordo com o mapeamento do PROBIO (Sano et al., 2008), a área de remanescentes no Cerrado até o ano de 2002 era de 1,2 milhão de km<sup>2</sup> (equivalente a 60% do bioma). Entre 2003 e 2007, segundo dados do SIAD, foram detectados 19 mil km<sup>2</sup> de possíveis desmatamentos no Cerrado. 85% destes alertas estão concentrados em cinco Unidades da Federação: Mato Grosso (35%), Bahia (14,8%),

Piauí (12,7%), Tocantins (11,3%) e Maranhão (10,9%), enquanto os outros 15% se distribuem, de forma igualitária, em três estados: Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul.

Em relação à distribuição dos desmatamentos para os períodos compreendidos entre 2003 e 2007 (Figura 8), pode-se observar duas novas frentes de expansão: 1) desmatamentos concentrados em áreas já consolidadas pelas atividades agrícolas, principalmente na porção oeste da Bahia, em direção ao Norte e Nordeste do país, nos Estados de Piauí e Maranhão (até então mais preservados); e 2) um arco de desmatamento, do Sul do Tocantins ao Norte de Mato Grosso, espelhando o desflorestamento da Amazônia (área de transição com o Cerrado). Entre estas duas frentes, observam-se desmatamentos pontuais nos Estados de Goiás (Nordeste Goiano), Norte de Minas Gerais e em algumas partes do Mato Grosso do Sul.

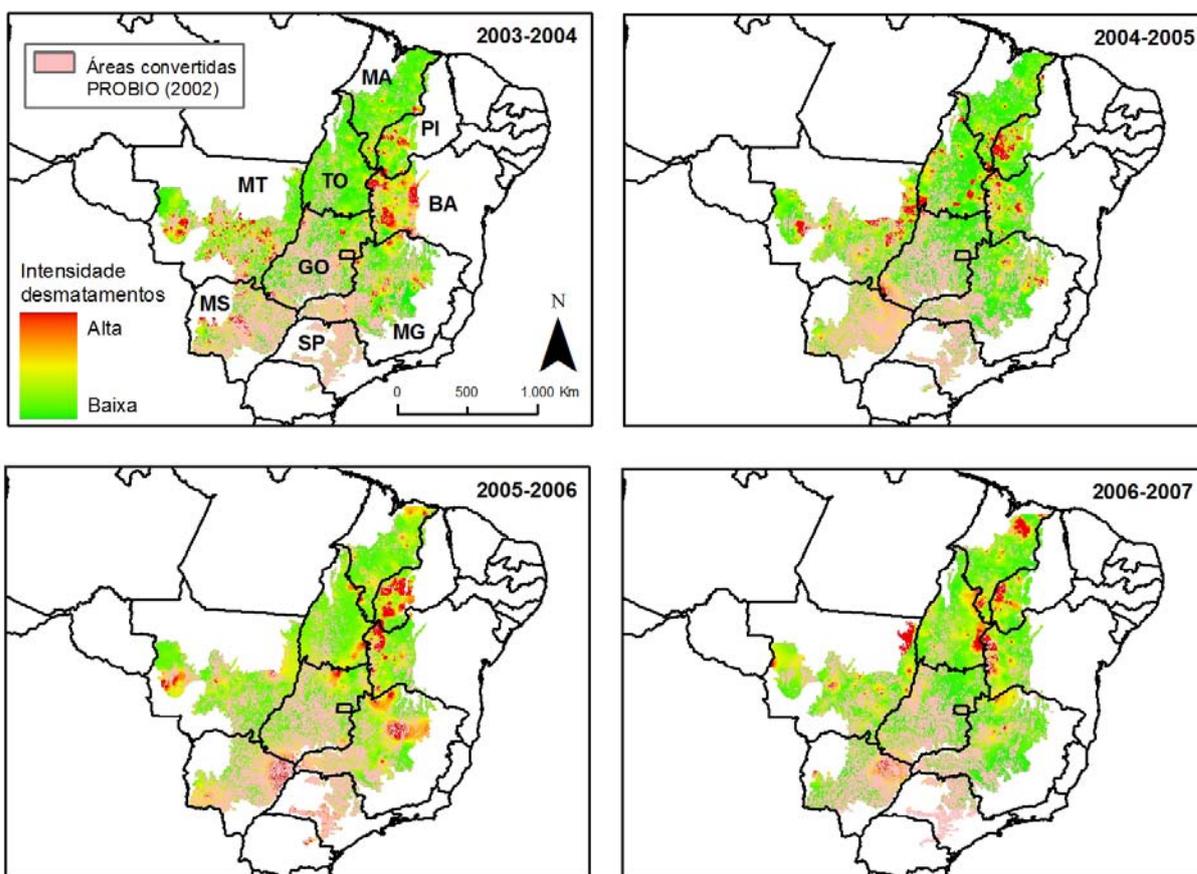


Figura 8. Distribuição dos desmatamentos no Cerrado (imagem de interpolação dos alertas), para os períodos compreendidos entre 2003 e 2007. Áreas convertidas até 2002 (em rosa) provenientes do mapeamento PROBIO.

No geral, os períodos 2003-2004 e 2004-2005 apresentaram o maior número de alertas de desmatamentos, com 913 mil hectares e 566 mil hectares, respectivamente, sobretudo nos Estados de Mato Grosso, Bahia e Piauí. Os demais períodos (2005-2006 e 2006-2007) apresentaram um volume significativamente menor de alertas, com 131 mil e 285 mil hectares, respectivamente.

Cabe ressaltar que a expansão de parte dessa fronteira agrícola (Figura 8), particularmente localizada em áreas já consolidadas, não passa necessariamente pela conversão de novas áreas de Cerrado, mas sim pela intensificação da agricultura sobre áreas de pastagens (Resende et al., 2003; Rodrigues e Miziara, 2008). Uma tendência também demonstrada por Ferreira Júnior et al. (2008b) no Estado de Goiás, onde a área desmatada em 2003-2004 foi cerca de 5 vezes menor do que a expansão agrícola no mesmo período. Isso indica que a intensificação da agricultura pode ocorrer tanto para áreas de pastagens (em geral, menos produtivas) quanto para áreas já desmatadas em outros períodos. Da mesma forma, o valor da terra pode ser também uma variável decisiva, ponderando-se entre os custos para a aquisição e preparo de uma nova área de Cerrado ou na utilização de uma área já ocupada (Ribeiro et al., 2006; Ferreira et al., 2008b).

### **Cenários futuros de desmatamentos**

Com base nas projeções obtidas por este modelo de desmatamento (Tabela 1), até o ano de 2050 o bioma Cerrado poderá apresentar uma área ocupada de 960 mil km<sup>2</sup> (atualmente estimada pelo PROBIO em 800 mil km<sup>2</sup>). Esta diferença de 160 mil km<sup>2</sup> (ou 16 milhões de hectares) equivale a 13,5% da atual área de remanescentes do bioma (estimada em 124,7 milhões de hectares) ou, a título de comparação, a dez vezes a área do Distrito Federal. Neste meio tempo, até o ano de 2020, 60 mil km<sup>2</sup> de Cerrado (ou 6 milhões de hectares) poderão ser incorporados ao sistema agrícola da região. De acordo com estas estimativas, podem ser convertidos, aproximadamente, 40 mil km<sup>2</sup> de Cerrado a cada década. O gráfico na figura 9 descreve a evolução destes cenários de conversão ao longo do tempo, os quais se baseiam conforme explicitado na metodologia, nas características naturais, socioeconômicas e de governança (*business as usual*) para a região.

Tabela 1. Área convertida no Cerrado (em hectares e porcentagem\*), de acordo com os mapeamentos atuais e projeções.

Área convertida – Real (ha)		Área Convertida – Simulação (ha)				
PROBIO 2002 (T1)	SIAD 2007 (T2)	2010	2020	2030	2040	2050
80.000.357	81.900.357	82.378.721	85.995.928	89.506.345	92.915.841	96.226.539
39,22%	40,15%	40,38%	42,15%	43,88%	45,55%	47,17%

\*Em relação à área total do bioma Cerrado, de 204,7 milhões de hectares.

Ao contrário da segunda metade do século 20 (principalmente nas décadas de 1970 e 1980), ainda com uma elevada taxa anual de conversão (~1%), espera-se para as próximas décadas do século 21 uma taxa de conversão cada vez menor para o Cerrado (em torno de 0,5% ao ano), devido à fatores como (1) redução gradativa das áreas de interesse para a agricultura e pastagem, (2) oscilação da economia (ex. variação do crédito agrícola em função de crises mundiais), (3) intensificação do uso da terra em áreas já convertidas e (4) aumento da governança ambiental, por meio de ações de fiscalização (por parte do governo e sociedade civil), delimitação de unidades de conservação, projetos de incentivo à conservação, etc.

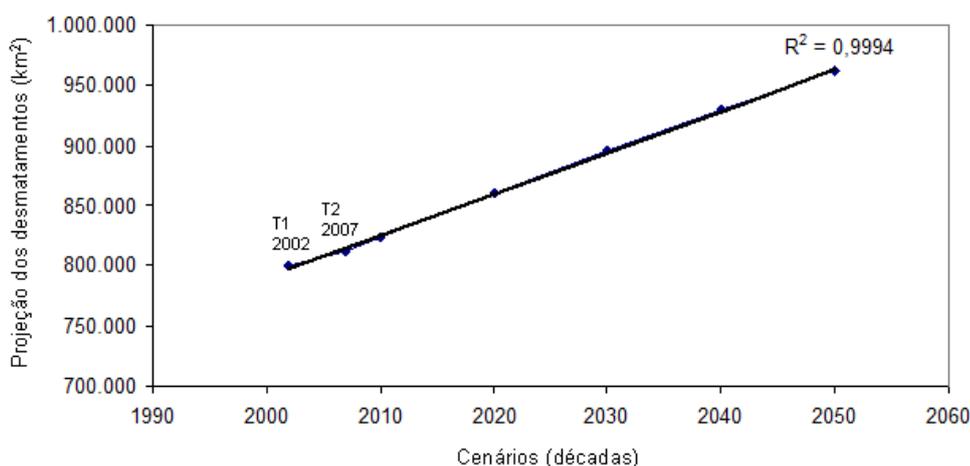


Figura 9. Projeção dos desmatamentos no bioma Cerrado até o ano de 2050, com início no estado T1 (2002), confirmando uma expansão de característica linear e crescente à médio e longo prazo.

Com base nas projeções dos desmatamentos para os estados (Tabela 2), ilustradas pelos mapas na figura 10, confirma-se a tendência de expansão do uso da terra nos estados ao Norte e Nordeste do bioma. Já na região Centro-Oeste, esta apresenta certa estabilidade nesses cenários futuros, com exceção do estado de Mato Grosso, o qual persiste entre aqueles com maior volume de conversão da vegetação nativa.

Ao considerarmos a diferença relativa da ocupação antrópica entre o ano de 2002 e o cenário para 2050, os estados da Bahia, Piauí, Maranhão, Mato Grosso e Tocantins aparecem com as maiores taxas de mudança, na ordem de 21, 17, 13, 11,4 e 11,3%, respectivamente. Tais Unidades da Federação requerem maior atenção quanto ao monitoramento ambiental para os próximos anos, principalmente nos estados de Piauí e Maranhão, os quais detêm, em termos proporcionais, as maiores parcelas de Cerrado preservado. Por outro lado, os estados de Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás apresentam nestas simulações uma variação muito pequena neste mesmo período (2002-2050), na ordem de 4,3, 2,5 e 1,2%, respectivamente. Ao final desta lista encontram-se o estado de São Paulo e o Distrito Federal, sem variações significativas na cobertura de Cerrado. Ressalta-se o fato de que São Paulo é o estado com a maior taxa de conversão antrópica em áreas de Cerrado, estimada pelo PROBIO em 85%.

Tabela 2. Projeção das áreas convertidas no bioma Cerrado (%) em relação às suas Unidades Federativas.

Estados	Distribuição do Bioma		Área Convertida - Real (%)		Área Convertida - Simulação (%)						Diferença relativa (%) 2002 - 2050
	Área do bioma nos Estados (km <sup>2</sup> )	% do bioma nos Estados	PROBIO 2002 (1)	SIAD 2007 (2)	2010	2020	2030	2040	2050		
<b>Distrito Federal</b>	<b>5.802</b>	<b>100</b>	<b>60,22</b>	<b>60,22</b>	<b>60,22</b>	<b>60,22</b>	<b>60,22</b>	<b>60,22</b>	<b>60,22</b>	<b>60,22</b>	<b>0,00</b>
São Paulo	81.137	33	85,44	85,44	85,62	85,79	85,91	86,02	86,06	86,06	0,62
<b>Goiás</b>	<b>329.592</b>	<b>97</b>	<b>55,03</b>	<b>55,34</b>	<b>55,37</b>	<b>55,67</b>	<b>55,89</b>	<b>56,09</b>	<b>56,29</b>	<b>56,29</b>	<b>1,27</b>
Minas Gerais	333.714	57	46,16	46,42	46,56	47,00	47,59	48,16	48,71	48,71	2,55
<b>Mato Grosso do Sul</b>	<b>216.372</b>	<b>61</b>	<b>68,24</b>	<b>68,55</b>	<b>69,35</b>	<b>70,48</b>	<b>71,34</b>	<b>72,03</b>	<b>72,59</b>	<b>72,59</b>	<b>4,35</b>
Tocantins	252.799	92	18,24	19,08	19,42	21,76	24,28	27,07	29,53	29,53	11,29
<b>Mato Grosso</b>	<b>358.834</b>	<b>40</b>	<b>33,41</b>	<b>35,19</b>	<b>35,58</b>	<b>38,21</b>	<b>40,70</b>	<b>42,92</b>	<b>44,87</b>	<b>44,87</b>	<b>11,46</b>
Maranhão	212.550	65	10,76	11,96	12,62	15,10	17,87	20,79	23,98	23,98	13,22
<b>Piauí</b>	<b>93.438</b>	<b>37</b>	<b>8,14</b>	<b>10,64</b>	<b>11,23</b>	<b>15,26</b>	<b>18,46</b>	<b>21,65</b>	<b>25,19</b>	<b>25,19</b>	<b>17,05</b>
Bahia	151.353	27	25,95	27,74	30,60	35,06	39,17	42,98	46,94	46,94	20,99

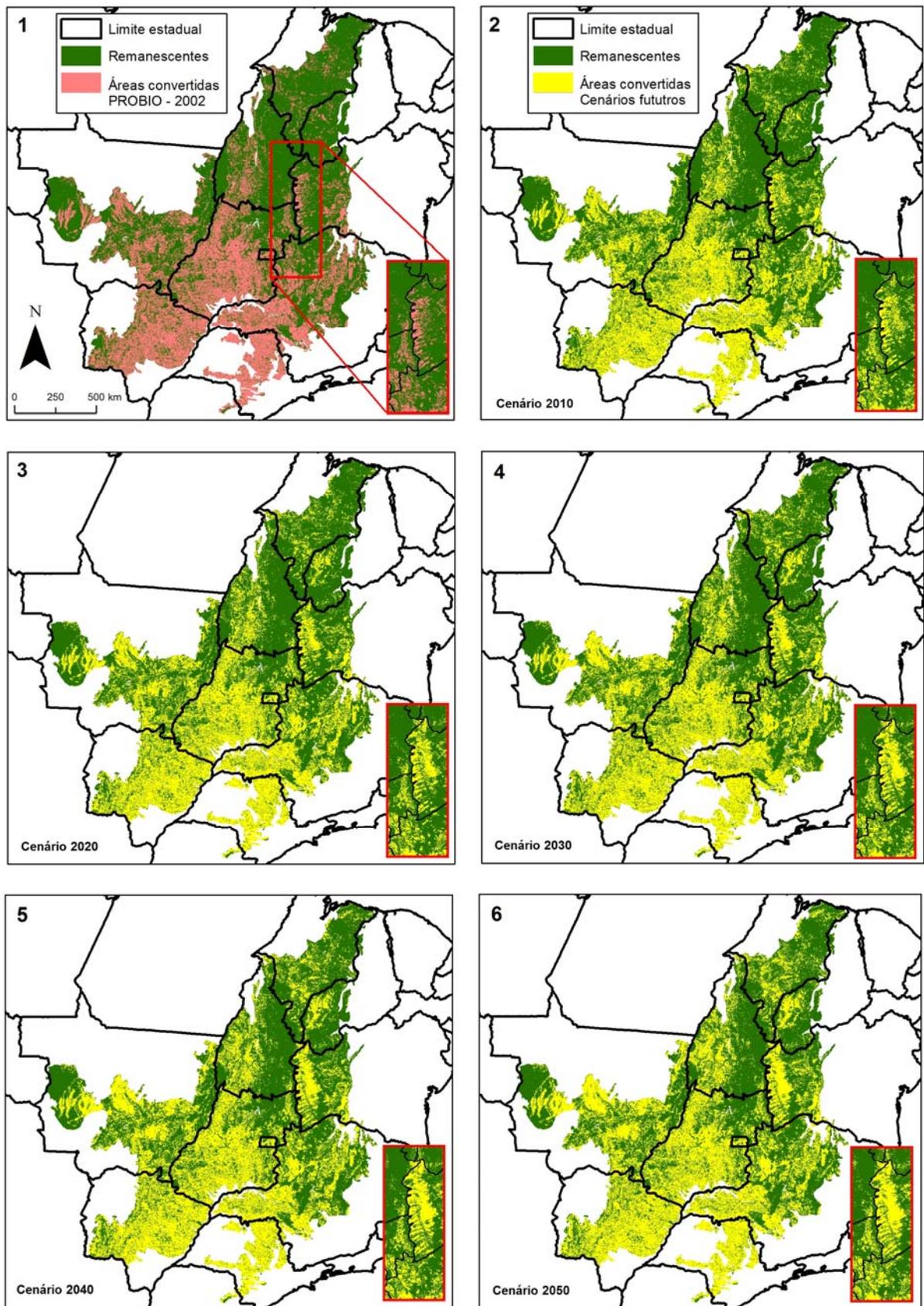


Figura 10. Mapas com a cobertura vegetal nativa de Cerrado, de acordo com o atual mapeamento do PROBIO (1), seguido pelos cenários nos anos de 2010 (2), 2020 (3), 2030 (4), 2040 (5) e 2050 (6). Em destaque, a região oeste da Bahia, limítrofe aos Estados de Goiás, Minas Gerais e Tocantins.

Muito além da escala política, a manutenção ecológica do bioma Cerrado (e de qualquer outro ecossistema) passa pelo planejamento e monitoramento do uso do solo na escala de bacias hidrográficas, sobretudo pela relação positiva entre a preservação da vegetação nativa e a qualidade dos recursos hídricos (Bonnet et al., 2008). Neste sentido, as análises sobre os cenários futuros de ocupação no Cerrado foram estendidas ao limite das bacias hidrográficas, segundo a classificação das Ottobacias (Nível 3).

A maior parte das Ottobacias no Cerrado (88%, num universo de 102) apresenta área inferior a 50 mil km<sup>2</sup>, com média de 20 mil km<sup>2</sup>. Os gráficos da figura 11 demonstram a condição das mesmas ao longo dos cenários projetados, em função da intensidade de conversão antrópica (**grupo A**: até 30% de conversão; **grupo B**: entre 31 e 70% de conversão; e **grupo C**: acima de 70% de conversão) e da escala de análise (bacias com até 20 mil km<sup>2</sup>, entre 21 e 50 mil km<sup>2</sup>, e acima de 50 mil km<sup>2</sup>).

Com base nesses gráficos (Figura 11), observa-se que o número de bacias com um grau de preservação ambiental mais elevado (grupo A), cuja ocupação antrópica não ultrapassa 30% de sua extensão, tende a uma significativa redução (na ordem de 30%) ao longo dos cenários projetados até ano de 2050. Esta redução ocorre de forma semelhante para as três escalas de bacias, porém um pouco mais gradual nas bacias com área superior a 50 mil km<sup>2</sup>.

Ao analisar as bacias hidrográficas com estado de conservação regular (grupo B), entre 31 e 70% de área convertida, observa-se um comportamento oposto, representado por um aumento considerável deste grupo ao longo dos cenários, de forma semelhante para as três escalas de análise, na ordem de 25%. Para escalas acima de 50 mil km<sup>2</sup>, a quantidade de bacias do “grupo A” e do “grupo B” tende a se estabilizar entre 2010 e 2030, em 30 e 50%, respectivamente.

No caso das bacias com taxas de conversão superior a 70% (grupo C), i.e. em proporção inferior àquela preconizada pelo Código Florestal (Bonnet et al., 2006), prevalece uma tendência de expansão ao longo dos cenários futuros, na ordem de 5 a 15%. A exceção ocorre com a escala de análise maior que 50 mil km<sup>2</sup>, onde a quantidade das bacias com tal característica permanece inalterada ao longo dos anos (em 16%).

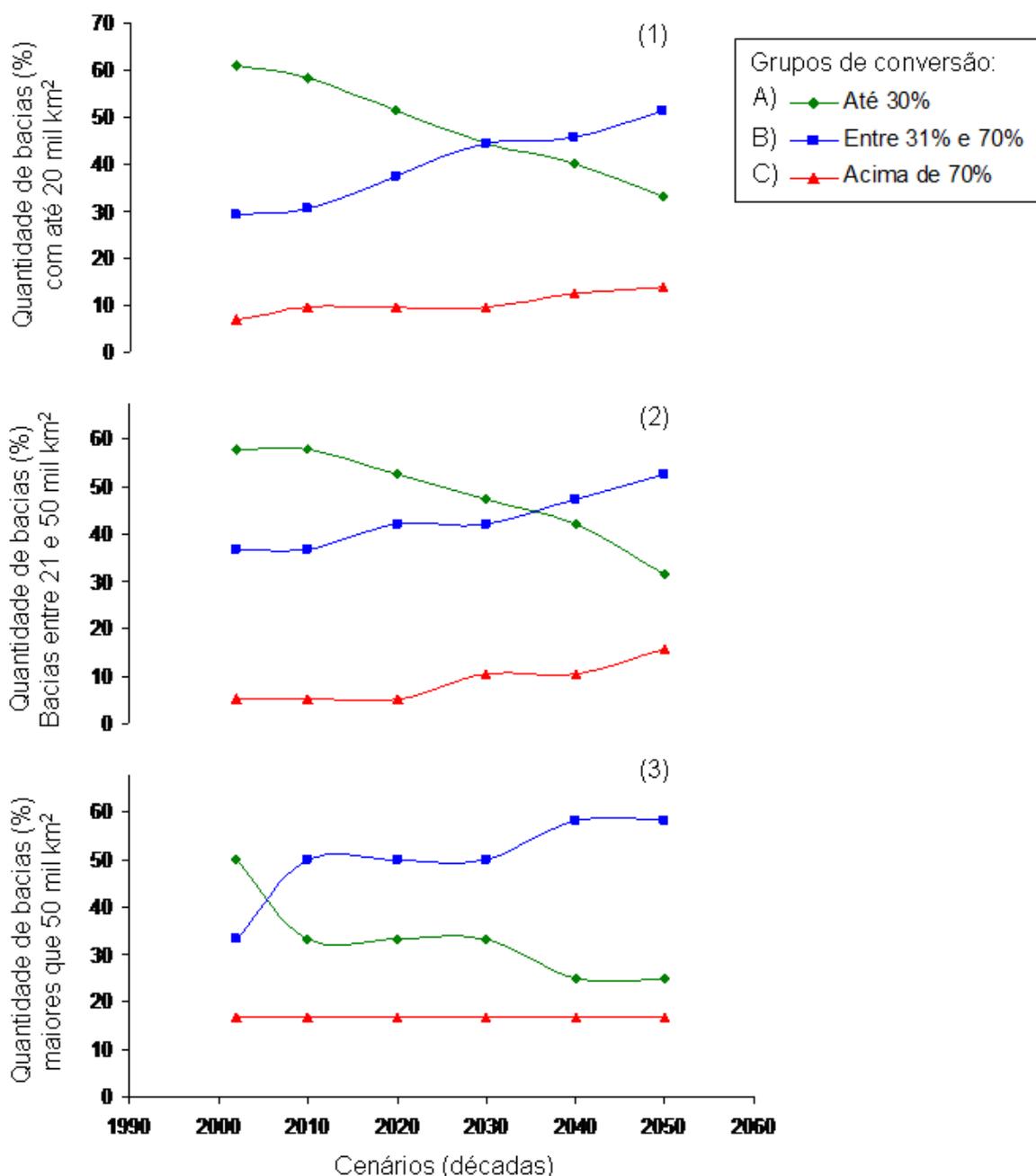


Figura 11. Quantidade de Ottobacias (%) ao longo dos cenários projetados, em função da intensidade de conversão antrópica (até 30%; entre 31 e 70%; e acima de 70%) e da escala de análise (1 - até 20 mil km<sup>2</sup>; 2 - entre 21 e 50 mil km<sup>2</sup>; e 3 - acima de 50 mil km<sup>2</sup>).

Em termos de distribuição espacial, na figura 12 são ilustradas as Ottobacias no bioma Cerrado, classificadas de acordo com o atual (2002) e os futuros cenários de ocupação. De acordo com os mapas desta figura, o atual cenário já é bastante negativo, em termos de cobertura vegetal, para as Ottobacias localizadas no Centro-Oeste e Sul do bioma, em particular nos estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo, e em parte de Goiás, Mato Grosso e Minas Gerais, cujas classes de conversão variam entre 50 e 100% (tons alaranjados e avermelhados no mapa).

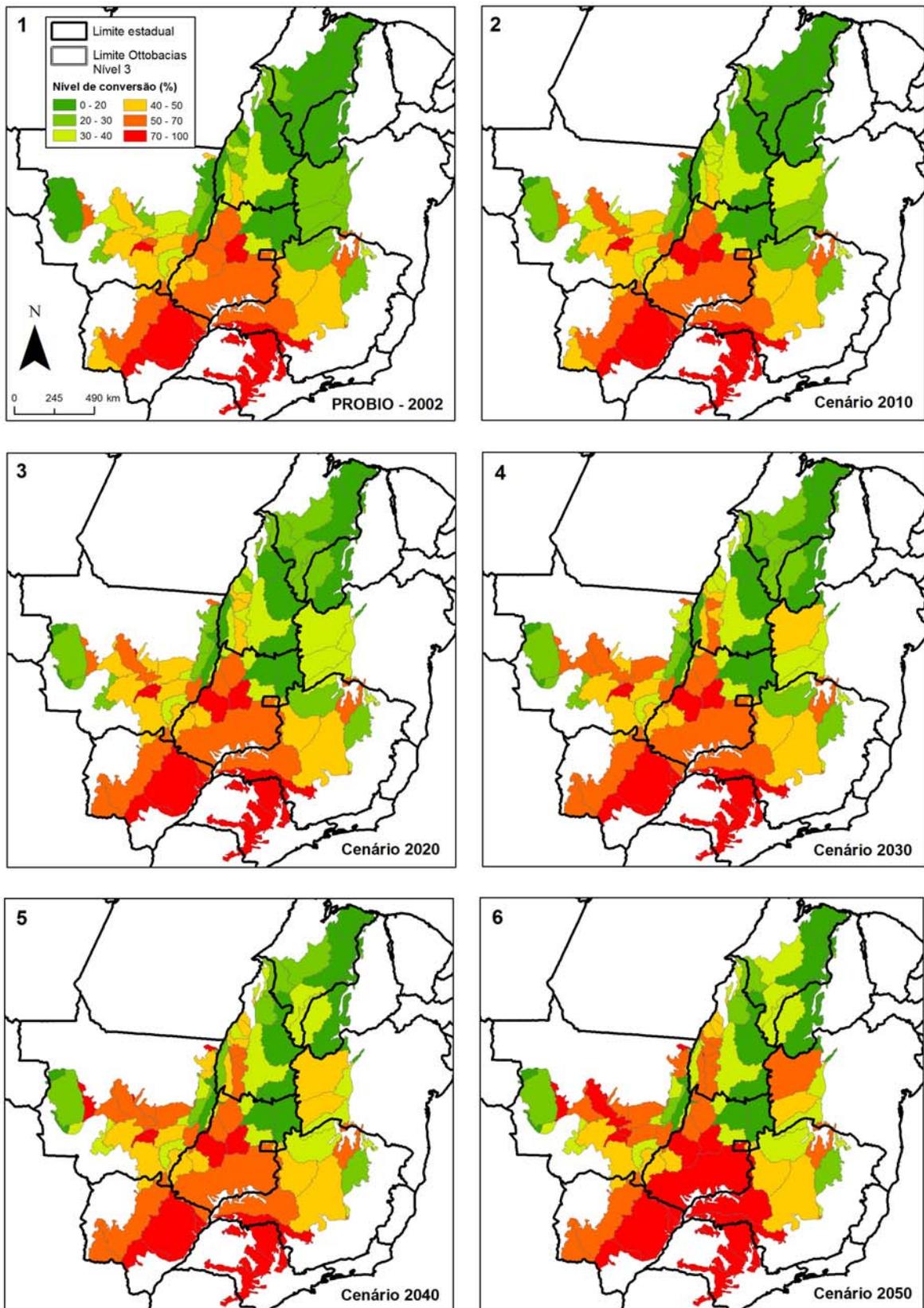


Figura 12. Mapas de conversão da cobertura vegetal para as Ottobacias no bioma Cerrado (nível 3), com início no ano de 2002 - cenário atual (1), seguido pelos cenários nos anos de 2010 (2), 2020 (3), 2030 (4), 2040 (5) e 2050 (6).

Este crítico panorama das bacias hidrográficas tende a se agravar com o passar das décadas, em praticamente todas as regiões do bioma Cerrado, sobretudo nas regiões com um grau de preservação maior (tons esverdeados no mapa), mais ao Norte e Nordeste. Nestas áreas, especificamente nos estados de Tocantins, Bahia, Maranhão e Piauí, o modelo de desmatamento indica uma conversão intensa da cobertura nativa até o ano de 2050 (tabela 2).

Tais cenários, independente da escala ou do limite de análise considerado (natural ou político), representam uma ameaça à conservação do bioma, no que diz respeito à sua biodiversidade florística e faunística, assim como na manutenção dos recursos naturais, como o solo e a água.

#### **4. Considerações Finais**

Neste trabalho, apresentamos uma modelagem de cenários futuros sobre a expansão dos desmatamentos no bioma Cerrado, até o ano de 2050, como forma de orientação e planejamento à ocupação antrópica em curso, bem como àquela possível de ocorrer a médio e longo prazo. Especificamente, utilizamos uma técnica de modelagem ambiental multivariada e não-linear, baseada no conceito de autômatos celulares, disponível na plataforma de desenvolvimento DINAMICA-EGO. De acordo com este conceito, a transição de um elemento na paisagem (uma célula ou *pixel*) vai depender de seu estado prévio, da paisagem circunvizinha e dos mapas dinâmicos de probabilidade de mudança.

Em geral, os resultados da modelagem indicam um acréscimo dos desmatamentos sobre as áreas de remanescentes de Cerrado na ordem de 13,5% até o ano de 2050, em comparação com o ano de 2002 (mapeamento oficial realizado pelo MMA/PROBIO). Isto equivale a uma conversão média de 40 mil km<sup>2</sup> por década. Em termos de análise estadual, Bahia, Piauí, Maranhão, Mato Grosso e Tocantins lideram o *ranking* de mudanças na paisagem para os próximos anos, indicando uma expansão da fronteira agrícola no Cerrado em direção às regiões Norte e Nordeste do país. Estados como Goiás e Mato Grosso do Sul, detentores de grandes rebanhos bovinos, e para os quais as projeções apontaram poucas mudanças, devem atentar-se para a manutenção do restante de remanescentes de Cerrado em seus territórios.

Em termos das Ottobacias no Cerrado, subdivididas segundo o grau de conversão (grupos A, B e C) e diferentes escalas de análise, os resultados demonstram uma variação considerável dessa paisagem nas próximas décadas, onde as bacias mais preservadas (grupo A, com até 30% de conversão) serão reduzidas na ordem de 30% (independente da escala). No sentido contrário, as bacias do grupo B (entre 31 e 70% de conversão) e grupo C (superior a 70% de conversão) tendem a aumentar até o ano de 2050, na ordem de 25 e 15%, respectivamente. Em suma, as condições ecológicas das Ottobacias tendem a piorar.

Espera-se que tais projeções possam orientar os tomadores de decisão (governamentais ou não) com vistas à elaboração e/ou aperfeiçoamento de políticas públicas para a ocupação agrária e conservação ambiental do Cerrado. Faz-se necessário, por exemplo, (1) estimular o uso do solo em áreas já convertidas, como em pastagens menos produtivas, as quais neste bioma ocupam terrenos bastante nobres em termos de topografia e localização; (2) apoiar (em termos financeiros ou de legislação) a recuperação de áreas degradadas, principalmente aquelas com perdas de solo laminar/erosão, incluindo áreas de pastagens e de preservação permanente ao longo dos cursos hidrográficos; e (3) incentivar o pagamento por serviços ambientais aos proprietários rurais que preservam fragmentos de Cerrado com viabilidade de manejo (ex. corredores ecológicos) e áreas de nascentes.

Uma próxima etapa da pesquisa prevê o detalhamento desses cenários de desmatamentos em função do tipo fisionômico de Cerrado, possibilitando a identificação e quantificação do que será convertido. Dessa forma, será possível estimar a emissão de Carbono, e de outros gases de efeito estufa, em decorrência das mudanças na paisagem.

Sugere-se também um aprimoramento da modelagem em si, com a incorporação de novas variáveis que reforcem, por exemplo, a dimensão humana, tais como a variação do Produto Interno Bruto entre as sedes municipais, ou a análise dos últimos censos agropecuários na região. Dessa forma, duas ou mais taxas de mudanças na paisagem, atendendo às variações regionais na socioeconomia, poderiam ser implementadas a esse modelo.

Cenários de governança, dentre estes a governança ambiental, também podem ser gerados, indicando, por exemplo, as áreas com restrições aos desmatamentos (de acordo o Código Florestal). Neste caso, Áreas de Preservação Permanente,

Unidades de Conservação e Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade podem ilustrar os cenários alternativos ao “*business as usual*”.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem à Universidade Federal de Goiás (UFG), no âmbito do Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais e do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento, por oferecer a infraestrutura necessária à condução desta pesquisa. Estendemos nossos agradecimentos aos pesquisadores e técnicos do Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), pela disponibilização (e treinamento) da plataforma de modelagem ambiental DINAMICA-EGO. O primeiro, o terceiro e o quarto autor são bolsistas do CNPq, nas categorias Doutorado e Produtividade, respectivamente.

## **Referências Bibliográficas**

ALMEIDA, C. M.; BATTYB, M.; MONTEIROA, A. M. V.; CÂMARA, G.; SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIND, C. L. Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics: empirical development and estimation. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 27 (481-509), 2003.

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). Topologia hídrica: método de construção e modelagem da base hidrográfica para suporte à gestão de recursos hídricos: versão 1.11. / Agência Nacional de Águas, Superintendência de Gestão da Informação. Brasília: ANA, SGI, 2006. 29 pp.

BAKER, W. L. A review of models of landscape change. *Landscape Ecology*, v. 2, n. 2 (111-133), 1989.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global - Esboço metodológico. (Trad.: Olga Cruz). Trabalho publicado, originalmente, na “*Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*”, Toulouse, v. 39 n. 3 (249-272), 1968, sob título: *Paysage et géographie physique globale*. *Revista RA´E GA - O espaço geográfico em análise*, n. 8 (141-152), 2004.

BONNET, B. R. P.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; LOBO, F. C. Uso de dados SRTM como suporte à implementação de um sistema de reserva legal extra-propriedade por bacia hidrográfica no Cerrado Brasileiro. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 58 (129-137), 2006.

CÂMARA, G.; MOREIRA, F. R.; BARBOSA, C. C. ALMEIDA FILHO, R., BÖNISCH, S. Técnicas de inferência geográfica. In: *Inferência geográfica e suporte à decisão* (Cap. 9). São José dos Campos: INPE, 2001. 49 pp.

COSTA, M. H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J. A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. *Journal of Hydrology*, v. 283, n. 12 (206-217), 2003.

DINIZ-FILHO, J. A. F.; OLIVEIRA, G.; LOBO, F.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; BINI, L. M.; RANGEL, T. F. V. L. B. Agriculture, habitat loss and spatial patterns of human occupation in a biodiversity hotspot. *Scientia Agricola*, 2008. (*in press*).

EVANS, T. P.; MANIRE, A.; CASTRO, F.; BRONDIZIO, E.; MCCracken, S. A dynamic model of household decision-making and parcel level landcover change in the eastern Amazon. *Ecological Modelling*, v. 143 (95-113), 2001.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonica*, v. 36, n. 3 (395-400), 2006.

FERREIRA JÚNIOR, L. G.; FERREIRA, M. E.; ROCHA, G. F.; NEMAYER, M.; FERREIRA, N. C. Dinâmica agrícola e desmatamentos em áreas de Cerrado: uma análise a partir de dados censitários e imagens de resolução moderada. *Revista Brasileira de Cartografia*, 2008b. (submetido).

FERREIRA JÚNIOR, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v. 30 (379-390), 2008a.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; FERREIRA, N. C.; LOBO, F. C. Base de dados territoriais necessárias à análise de um sistema de reserva extrapropriedade no Estado de Goiás. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 27, n. 1 (27 - 46), 2007c.

FERREIRA, M. E.; GARCIA, F. N.; ROCHA, G. F. Validação do Sistema Integrado de Alerta de Desmatamentos para a região de savanas no Brasil. Relatório técnico não publicado. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2008a.

FERREIRA, M. E.; MIZIARA, F.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; RIBEIRO, F. L.; FERREIRA, N. C. Preço da Terra e Remanescentes do Bioma Cerrado: uma análise integrada para o Estado de Goiás. In: Encontro Nacional da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Ambiente e Sociedade (ENANPPAS), 4., 2008, Brasília. Anais... Brasília: CAPES / FAPESP / UnB-CDS. Artigos, p. 1-19. CD-ROM, On-line, 2008b.

FERREIRA, N. C.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; HUETE, A. R.; FERREIRA, M. E. An operational deforestation mapping system using MODIS data and spatial context analysis. *International Journal of Remote Sensing*, v. 28 (47-62), 2007a.

FERREIRA, N. C.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; MIZIARA, F. Deforestation hotspots in the Brazilian Amazon: Evidences and causes as assessed from remote sensing and census data. *Earth Interactions*, v. 11 (1-16), 2007b.

GALVÃO, W. S.; MENESES, P. R. Avaliação dos sistemas de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE. Artigos, p. 2511-2518. CD-ROM, On-line, 2005.

GIBBS, H. K.; JOHNSTON, M.; FOLEY, J. A.; HOLLOWAY, T.; MONFREDA, C.; RAMANKUTTY, N.; ZAKS, D. Carbon payback times for crop-based biofuel expansion in the tropics: the effects of changing yield and technology. *Environmental Research Letters*, v. 3 (1-10), 2008.

HUETE, A. R.; MIURA, T.; DIDAN, K.; RODRIGUES, E. P.; GAO, X.; FERREIRA JÚNIOR, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, n. 1-2 (195-213), 2002.

IPCC. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C. A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2001. 881pp.

JASINSKI, E.; MORTON, D.; DEFRIES, R.; SHIMABUKURO, Y.; ANDERSON, L.; HANSEN, M. Physical Landscape Correlates of the Expansion of Mechanized Agriculture in Mato Grosso, Brazil. *Earth Interactions*, v. 9, n. 16 (1-18), 2005.

LEVY, P. E.; CANNELL, M. G. R.; FRIEND, A. D. Modelling the impact of future changes in climate, CO<sub>2</sub> concentration and land use on natural ecosystems and the terrestrial carbon sink. *Global Environmental Change*, v. 14 (21-30), 2004.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. Análise da situação dos recursos hídricos do Cerrado com base na importância econômica e socioambiental de suas águas. In: anais do IX Simpósio Nacional do Cerrado e II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais. Brasília: Embrapa-CPAC, p. 1-6. CD-ROM, On-line, 2008.

MACHADO, R. B.; RAMOS NETO, M. B.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E.; 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.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403 (853-858), 2000.

MIZIARA, F.; FERREIRA, N. C. Expansão da fronteira agrícola e evolução da ocupação e uso do espaço no Estado de Goiás: subsídios à política ambiental. In: FERREIRA JÚNIOR, L. G. (Org.). *A encruzilhada socioambiental – biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado* (pp. 107-125). Goiânia: Editora UFG, 2008. 223p.

MÜNIER, B.; BIRR-PEDERSEN, K.; SCHOU, J. S. Combined ecological and economic modeling in agricultural land use scenarios. *Ecological Modelling*, v. 174 (5-18), 2004.

NOBRE, C. A.; LAPOLA, D.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. F.; CARDOSO, M., OYAMA, M. Mudanças Climáticas e possíveis alterações nos Biomas da América do Sul (Relatório 6). In: *Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade*. Sub-projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília: MMA/SBF/DCbio, São Paulo: CPTEC/INPE/IAE/CTA, 2001. 29p.

PIRES, M. O. Programas agrícolas na ocupação do Cerrado. *Sociedade e Cultura*, v. 3, n. 1-2 (111-131), 2000.

RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. *Annals of Botany*, v. 80 (223-230), 1997.

REATTO, A.; MARTINS, E. S. Classes de solos em relação aos controles da paisagem do bioma Cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUZA SILVA, J. C.; FELFINI, J. M. (Org.). *Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação* (pp. 47-59). Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

REZENDE, G. C. Ocupação Agrícola, Estrutura Agrária e Mercado de Trabalho Rural no Cerrado: O Papel do Preço da Terra, dos Recursos Naturais e das Políticas Públicas. In: Helfand, S. M. e Rezende, G. C. (Org.). *Região e Espaço no Desenvolvimento Agrícola Brasileiro* (pp. 173-212). Rio de Janeiro: IPEA, 2003.

RIBEIRO, A. R. B.; CALEMAN, S. M. Q.; MARTINS, G. I. V.; LOURIVAL, R. Determinantes do valor da terra no Corredor Cerrado-Pantanal: subsídios para políticas Conservacionistas. *Megadiversidade*, v. 2, n. 1-2 (71-79), 2006.

RODRIGUES, D. M. T.; MIZIARA, F. Expansão da fronteira agrícola: a intensificação da pecuária bovina no estado de Goiás. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 38, n. 1 (14-20), 2008.

RODRIGUES, H. O.; SOARES-FILHO, B. S.; COSTA, W. L. S. DINAMICA-EGO: uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, 13., 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE. Artigos, p. 3089-3096. CD-ROM, On-line, 2007.

SANO, E. E.; BARCELLOS, A. O.; BEZERRA, H. S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian savanna. *Pasturas Tropicales*, v. 22, n. 3 (2-15), 2001.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO J. L.; FERREIRA JÚNIOR, L. G. Mapeamento semidetalhado (escala de 1:250.000) da cobertura vegetal antrópica do bioma Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 1 (153-156), 2008.

SILVA, K. R.; PAIVA, Y. G.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. E. M. Avaliação de interpoladores para a espacialização de variáveis climáticas na bacia do rio Itapemirim-ES. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE. Artigos, p. 3141-3146. CD-ROM, On-line, 2007.

SOARES-FILHO, B. S.; ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; CERQUEIRA, G. C.; DIAZ, M. DEL C. V.; RIVERO, S.; SOLÓRZANO, L.; VOLL, E. Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém - Cuiabá corridor. *Global Change Biology*, v. 10, n. 5 (745-764), 2004.

SOARES-FILHO, B. S.; ARAÚJO, A.; CERQUEIRA, G. C. DINAMICA – Um software para simulação de dinâmica de paisagens. In: II WNPDI - Workshop em Tratamento de Imagens (p. 1-5). Belo Horizonte: DCC, 2001.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G.; ARAÚJO, W. L.; VOLL, E. Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. In: ALBERNAZ A. L., SILVA J. M. C., VALERIANO, D. (Org.). Ferramentas para modelagem da distribuição de espécies em ambientes tropicais. Belém: Editora Museu Paraense Emílio Goeldi, 2003. 100p.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L. DINAMICA - a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, v. 154 (217-235), 2002.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L. M.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P. Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature*, v. 440, n. 23 (520-523), 2006.

THOMAS, C. D.; CAMERON, A.; GREEN, R. E.; BAKKENES, M.; et al. Extinction risk from climate change. *Nature*, v. 427 (145-148), 2004.

XIMENES, A. C.; ALMEIDA, C. M.; AMARAL, S.; ESCADA, M. I.; AGUIAR, A. P. D. Modelagem dinâmica do desmatamento na Amazônia. *Boletim de Ciências Geodésicas (UFPR)*, v. 14, n. 3 (370-391), 2008.

## APÊNDICE D

### **UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**

#### **Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento**

Programa de Monitoramento Sistemático do Bioma Cerrado

LAPIG, Conservação Internacional e The Nature Conservancy

### **RELATÓRIO TÉCNICO**



## ***VALIDAÇÃO DO SISTEMA INTEGRADO DE ALERTAS DE DESMATAMENTOS PARA O BIOMA CERRADO***

### **Equipe de campo**

Manuel Eduardo Ferreira (Coordenador)

Fanuel Nogueira Garcia

Genival Fernandes Rocha

Goiânia  
Outubro de 2008

## Resumo

Neste relatório apresentamos os resultados do trabalho de campo para a validação do Sistema Integrado de Alerta de Desmatamentos (SIAD) para a região de savanas no Brasil (conhecida também por bioma Cerrado), conduzido em outubro de 2008 nos estados de Goiás (porção nordeste) e Bahia (porção oeste). Esta validação incluiu as detecções de desmatamentos para quatro períodos (2003-2004, 2004-2005, 2005-2006 e 2006-2007), com área mínima de 25 hectares e limiar de mudança na paisagem de 30%. No total, 44 amostras (polígonos) foram inspecionados ao longo da rodovia BR-020 (direção Formosa, Goiás - Luis Eduardo Magalhães, Bahia), abrangendo três classes de uso da terra (pastagem, agricultura/reflorestamento e áreas urbanas). Os resultados indicam uma taxa de acerto para o SIAD de 79%, com a maioria dos alertas ocorrendo sobre áreas de Campo Sujo (11%) e Cerrado denso (88%). Em geral, estas áreas foram convertidas devido à expansão da agricultura (47%) e pastagem (29%), predominantemente na Bahia e em Goiás, respectivamente. Os demais 20% dos polígonos analisados foram considerados como erros de comissão, devido à sazonalidade do Cerrado e/ou à queimadas em áreas de vegetação remanescente. A respeito da ocorrência de desmatamentos, há um equilíbrio entre as amostras (30% por período), exceto para 2006-2007, com apenas 10% dos polígonos analisados. Finalmente, o estudo possibilitou um melhor entendimento sobre as paisagens naturais e antrópicas encontradas nas áreas de estudo, indicando o potencial do SIAD para o monitoramento sistemático do bioma Cerrado.

**Palavras-chave:** bioma Cerrado, validação de campo, análise da paisagem, SIAD.

## Abstract

In this report we present the results of a field activity aimed at the validation of the "Integrated Warning Deforestation System" (SIAD) for the savanna region in Brazil (locally known as Cerrado biome), held in October 2008 in the States of Goiás (northeastern portion) and Bahia (western portion). This validation included the detections from four periods (2003-2004, 2004-2005, 2005-2006 and 2006-2007), with a minimum area of 25 hectares and 30% change threshold. Altogether, 44 samples (polygons) were inspected along the BR-020 highway (Formosa, Goiás to Luis Eduardo Magalhães, Bahia direction), covering three land use classes (pasture, agriculture/forestry, and urban spread). The results indicate a rate of success for SIAD of 79%, with most alerts occurring on areas of shrub Cerrado (11%) and Cerrado woodland (88%). In general, these areas were converted due to the expansion of agriculture (47%) and pasture (29%), predominantly in Bahia and Goiás, respectively. The other 20% of the analyzed polygons were considered as commission errors due to the seasonality of the Cerrado and/or burning areas in the remnant vegetation. Regarding the deforestation occurrence, there is a balance among the samples (30% per period), except for 2006-2007, with only 10% of the polygons. Finally, the study provided a better understanding about the natural and human landscapes found in these areas, indicating the potential of SIAD for the systematic monitoring of the Cerrado biome.

**Keywords:** Cerrado biome, field validation, landscape analysis, SIAD.

## Introdução

Desde o início de 2008, o Sistema Integrado de Alertas de Desmatamentos (SIAD) vem sendo empregado de forma sistemática para o acompanhamento da dinâmica de ocupação humana para todo o bioma Cerrado, no âmbito da cooperação firmada entre a Universidade Federal de Goiás (via Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento - LAPIG), Conservação Internacional (CI) e The Nature Conservancy (TNC). Este sistema, desenvolvido num ambiente de SIG, realiza a comparação de imagens índice de vegetação obtidas pelo sensor MODIS (Produto MOD13Q1, 16 dias, 250m), detectando possíveis alertas de desmatamentos (polígonos) decorrentes de uma atividade antrópica, e correlacionando-os com outras variáveis socioambientais (Ferreira et al., 2007; Ferreira et al., 2008).

O esforço conjunto para monitorar este importante ecossistema passa também por um controle rigoroso dos dados gerados pelo SIAD, onde, apesar das várias etapas de filtragem (ex. eliminação de *pixels* contaminados por nuvens, inspeção visual com imagens auxiliares, etc.), erros de omissão e/ou comissão podem ocorrer.

Normalmente, as validações em campo, para sistemas de monitoramento como o SIAD, são necessárias para se aferir a precisão quanto à detecção de mudanças na cobertura vegetal via imagens de satélites (Martins e Zanon, 2007). Soma-se a isto o fato de que *in loco* o entendimento geral sobre a paisagem (natural e antrópica) é significativamente maior. Sendo assim, apresentamos neste relatório as etapas de preparação, resultados e discussões advindas da primeira atividade de campo voltada para a validação do SIAD - Cerrado, realizada entre os dias 01 e 03 de outubro de 2008, nos Estados de Goiás (região nordeste) e Bahia (região oeste).

Com propósitos semelhantes, no ano de 2005 o SIAD fora validado em áreas de fisionomia florestal na região Amazônica, mais precisamente no Estado de Rondônia, apresentando um desempenho bastante satisfatório (Ferreira et al., 2007). Restava, no entanto, testá-lo para o ambiente de savanas, cujo efeito da sazonalidade, associada no período seco à ocorrência de queimadas, dificulta a detecção dos “verdadeiros” alertas de desmatamentos.

Além do objetivo de validação do próprio SIAD, buscamos neste estudo avaliar o desempenho do sistema para duas regiões no Cerrado, distintas sob os aspectos físicos e socioeconômicos, compreendendo o nordeste Goiano, cuja presença de

pastagem é predominante, e o oeste da Bahia, região caracterizada pelo agronegócio (atualmente, um porto seco para a exportação de algodão e soja).

## **Materiais e Métodos**

### ***Área de Estudo e seleção amostral***

Os alertas de desmatamentos detectados pelo SIAD, e posteriormente selecionados para inspeção em campo, referem-se ao trecho Formosa (GO) - Luis Eduardo Magalhães (BA), conforme indicado na figura 1. Estes alertas foram obtidos em 04 períodos (2003-2004, 2004-2005, 2005-2006 e 2006-2007), sempre na primeira quinzena do mês de outubro. Outros parâmetros do SIAD (adotados neste estudo) dizem respeito à área mínima detectável e o limiar de mudança na paisagem, ajustados para 25 hectares e 30%, respectivamente.

Os critérios para a seleção dos polígonos de desmatamentos foram (1) a localização (num raio de até 5 km de estradas) e (2) a dimensão destes alertas, com área mínima de 25 hectares, independente do período de detecção (i.e., entre 2003 e 2007). Dessa forma, foram pré-selecionados 84 polígonos (equivalentes a 16 mil hectares), ao longo da rodovia BR 020 (eixo principal), conforme ilustra o mapa na figura 1.

Como esperado, alguns fatores (deparados somente *in loco*) contribuíram para uma segunda seleção destes polígonos, tais como as condições de acesso aos seus respectivos centróides (coordenada geográfica central). Em geral, tais centróides se encontravam em propriedades rurais com restrições de acesso (áreas cercadas, muito íngremes, ou com caminhos ocultados pela vegetação). Assim, de um universo amostral de 84 polígonos previamente selecionados, foi possível inspecionar 44 (52% do planejado), totalizando uma área aproximada de 13 mil hectares. Portanto, a título de validação estatística do SIAD, consideramos o universo amostral de 44 polígonos.

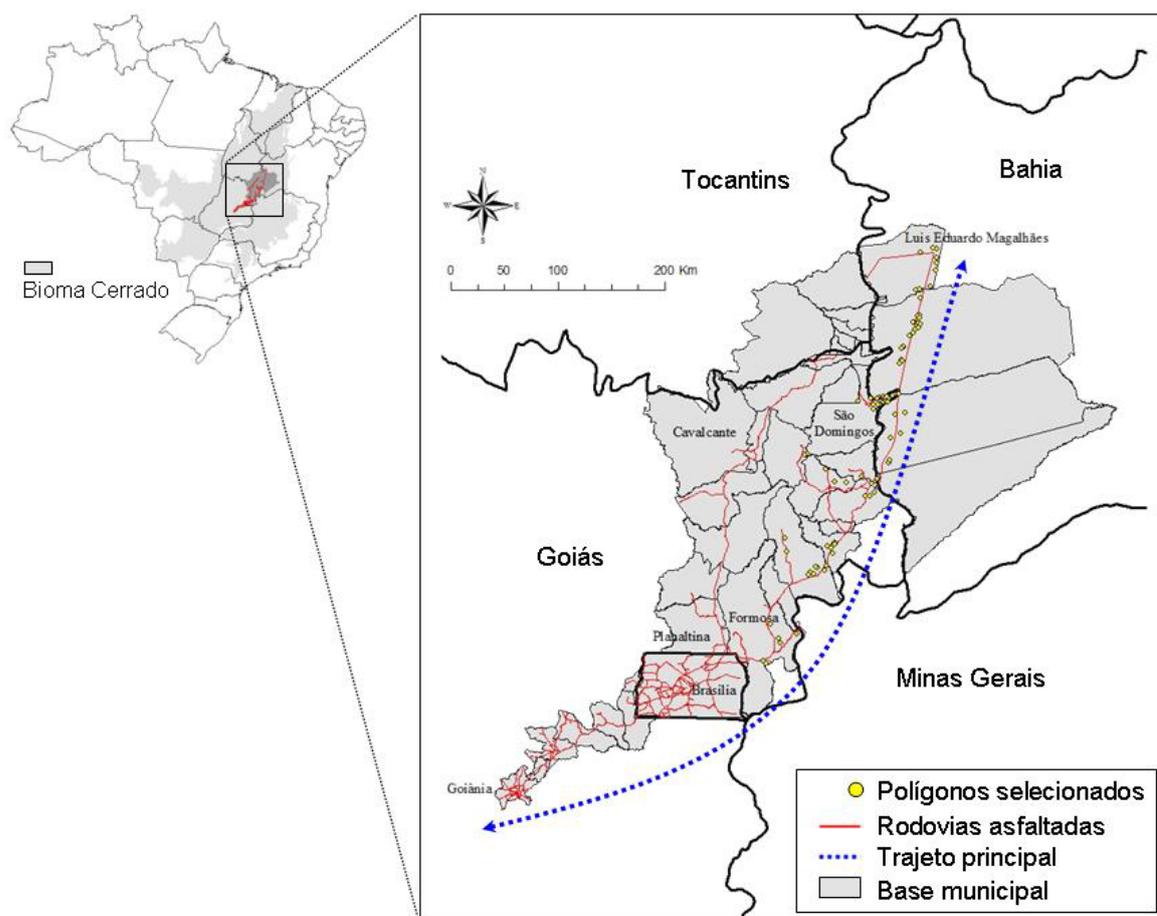


Figura 1. Área de estudo. (A) Cenas do sensor MODIS sobre o limite do bioma Cerrado, empregadas na detecção dos alertas de desmatamentos. (B) Cenas do sensor CBERS-CCD sobre o limite do Cerrado, empregadas na validação visual dos alertas. (C) Detalhe das áreas percorridas em campo para a validação do SIAD, com destaque para os pontos de desmatamentos pré-selecionados para esta análise.

## Resultados e Discussão

### *As Paisagens naturais e antrópicas*

Quanto à caracterização das paisagens analisadas (naturais e antrópicas), dois padrões foram identificados, os quais estão relacionados com as categorias de desmatamentos validados em campo (i.e., agricultura/reflorestamento, pastagem e expansão urbana).

A primeira, no nordeste Goiano, é caracterizada por um relevo mais movimentado, com superfícies planas a fortemente onduladas, onde as áreas de Cerrado são normalmente destinadas para a agricultura de pequeno porte (mecanizada ou não) e para a pastagem nativa. Geralmente, os polígonos deste grupo apresentam áreas menores do que aqueles observados no Estado da Bahia (segundo grupo de polígonos). Mais ao norte do Estado, percorrendo os municípios

de Flores de Goiás, Posse e São Domingos, a paisagem vai ganhando gradativamente as formas admiráveis do Vão do Paranã, com uma geomorfologia pontuada por superfícies de aplainamento mais recentes, morros/colinas e afloramentos rochosos. Conseqüentemente, a declividade dos terrenos se acentua consideravelmente (entre 10 e 15°), enquanto a fertilidade do solo decai, restringindo o uso antrópico às atividades de pastagem e culturas de subsistência, intercaladas com áreas de reflorestamento de eucalipto (atendendo a demanda por lenha e móveis). A figura 2 ilustra esta paisagem em Goiás.

No Estado da Bahia (segundo grupo de polígonos), já se aproximando do município de Luis Eduardo Magalhães (importante centro para o agronegócio), é notável a diferença no que diz respeito à topografia (bastante plana, devido à presença dos chapadões), assim como no padrão de uso da terra, marcado por grandes propriedades agrícolas (soja e algodão). Trata-se de uma região estratégica para o agronegócio, desenvolvida num entroncamento entre Brasília (DF), Palmas (TO) e Salvador (BA). Por outro lado, é uma região em contínua expansão sobre os remanescentes do Bioma Cerrado, conforme os dados obtidos em campo. A figura 3 ilustra esta paisagem na Bahia.



Figura 2. Paisagem no Vão do Paranã. Terrenos mais íngremes (gradiente A - D) impedem uma agricultura mecanizada nestes trechos.



Figura 3. Paisagem típica na região ao oeste da Bahia. A topografia plana, associada aos processos de correção dos solos (calagem) e modernos maquinários, propicia um cenário único em termos de agronegócio no país. (A) Divisa entre Goiás e Bahia. (B) e (D) fazendas de algodão (produção recém-colhida). (C) indústria de beneficiamento de algodão e soja (multinacional).

### ***Estatísticas - Validação***

Em geral, dos 44 polígonos vistoriados em campo, 35 foram confirmados como categoria de desmatamento, o equivalente a uma taxa de acerto para o SIAD de 79%. Ainda sobre este total, 21 polígonos estão diretamente relacionados com agricultura (47%), 13 foram identificados como novas áreas de pastagem (29%) e apenas um identificado como expansão urbana (loteamento) (figura 4).

Nas áreas convertidas para pastagem, o fator fogo foi identificado em três destes polígonos (23%), todos no Estado de Goiás. Nas áreas convertidas para a agricultura, apenas um polígono foi caracterizado como reflorestamento com eucalipto. Nas demais áreas agrícolas, as culturas predominantes foram a soja e o algodão (esta última concentrada no oeste da Bahia). No período de realização deste estudo (outubro de 2008), não foi constatada a presença de culturas de cana-de-açúcar em nenhuma das regiões analisadas.

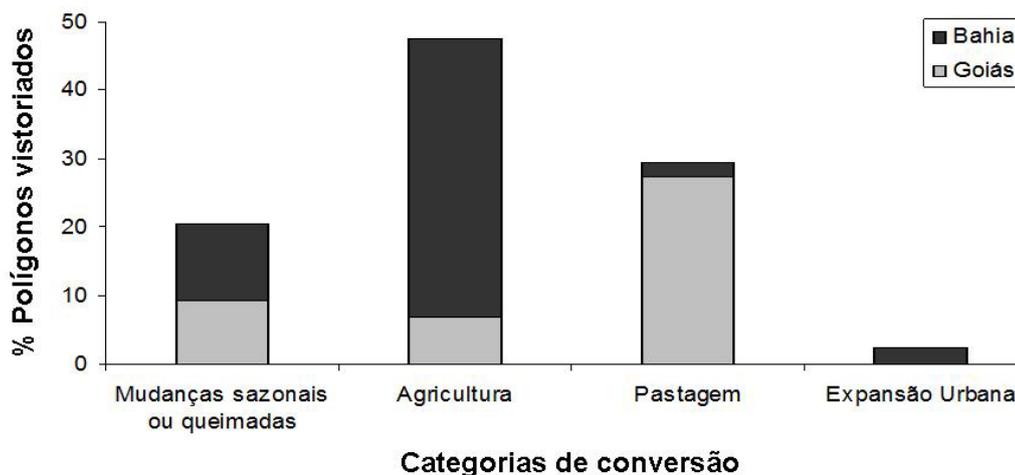


Figura 4. Distribuição dos polígonos vistoriados em campo de acordo com a categoria de conversão (uso da terra) e Estado. A classe *mudanças sazonais ou queimadas* representa os erros de comissão. As classes *agricultura*, *pastagem* e *expansão urbana* representam os alertas confirmados como desmatamentos no Cerrado.

Em relação aos desmatamentos por Estado (figura 4), é na Bahia (região oeste) que se encontra o maior número de polígonos destinados à agricultura, totalizando 18 alertas de desmatamento nesta categoria. Em Goiás, ao contrário, este número foi de apenas 03 polígonos. Por outro lado, a categoria de pastagem prepondera em Goiás (região nordeste), com um total de 12 polígonos, para apenas 01 na Bahia. Tais números confirmam as aptidões de cada Estado/região.

Ainda em relação ao gráfico da figura 4, os falsos alertas do SIAD (i.e., erros de comissão) ficaram equilibrados (e controlados) para ambas as regiões, provavelmente porque as fisionomias de Cerrado e o clima sazonal são semelhantes. Dos 44 polígonos vistoriados em campo, 09 foram caracterizados como mudanças sazonais ou queimadas (20%). Embora detectados pelo SIAD como prováveis desmatamentos (i.e., com redução significativa do índice de vegetação NDVI), uma parte destas áreas representavam mudanças sazonais da cobertura vegetal nativa (no caso, 05 polígonos). Outros 04 polígonos foram caracterizados em campo como prováveis queimadas em Cerrado nativo, sem indicativos da ocupação antrópica.

Quanto aos períodos de detecção dos polígonos vistoriados (2003-2004, ..., 2006-2007), o gráfico na figura 5 indica um equilíbrio entre estes, com exceção para o último período, o qual apresentou um número bem inferior de detecções. Nota-se que os polígonos referentes ao período 2004-2005 se concentraram no Estado da Bahia, indicando uma fase mais intensa de desmatamentos (confirmados em campo), normalizada nos períodos posteriores.

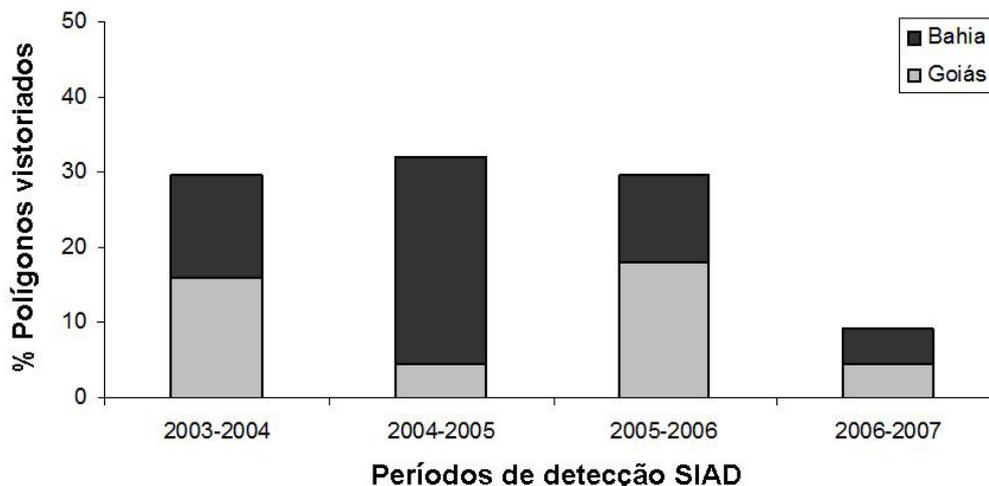


Figura 5. Distribuição dos polígonos vistoriados em campo de acordo com o período de detecção do SIAD e Estado.

Sobre esta diferença de polígonos em 2004-2005 entre os dois Estados/regiões, e com base na tabela 1, observa-se que a área total desmatada na Bahia (10.027 hectares, considerando apenas os polígonos inspecionados) é significativamente maior do que a área total dos desmatamentos em Goiás (2.974 hectares).

Ainda com base na tabela 1, verificam-se diferenças significativas quanto à área máxima, área média, desvio padrão e Coeficiente de variação (CV) entre os polígonos vistoriados nestas duas regiões. Tais diferenças são, em parte, explicadas pelo desenvolvido agronegócio no oeste da Bahia, alavancado pela topografia apropriada para grandes plantios, infraestrutura e localização; este CV mais elevado (1,25) indica uma maior variação nas dimensões destes polígonos de desmatamento (pequenas e grandes expansões). Ao contrário, no nordeste Goiano, devido à ausência destas variáveis, preponderam-se os polígonos menores, com maior regularidade na dimensão (CV = 0,96), destinados à expansão da pastagem, agricultura familiar e reflorestamentos.

Tabela 1. Discriminação estatística dos polígonos vistoriados em campo, divididos em grupo 1 (nordeste de Goiás) e grupo 2 (oeste da Bahia).

	<b>Grupo 1 (Goiás)</b>	<b>Grupo 2 (Bahia)</b>
Nº de polígonos/grupo	19	25
Área mínima (ha)	27,65	27,80
Área máxima (ha)	507,96	1903,00
Área total (ha)	2.974,26	10027,91
Área média (ha)	156,54	401,12
Desvio padrão	151,00	502,87
Coeficiente de variação	0,96	1,25

Quanto às classes de Cerrado convertidas para as categorias de uso analisadas (figura 4), e de acordo com o mapa do PROBIO<sup>1</sup> (Sano et al., 2008), foi constatado uma concentração dos alertas de desmatamentos em áreas de Campo Sujo e Cerrado Típico, com 11% e 88% do total de polígonos vistoriados, respectivamente (figura 6).

Esta tendência de conversão em áreas de Cerrado com fisionomia arbustiva e arbórea é explicada, em parte, pela predominância destas classes nas regiões selecionadas para a validação. Assim, os alertas de desmatamentos em áreas de Campo Sujo (mais arbustivo) ficaram restritos ao Estado de Goiás (região nordeste, mais declivosa, com solos menos desenvolvidos), enquanto que os desmatamentos em Cerrado Típico (mais arbóreo) predominaram no Estado da Bahia (região oeste, mais plana, com solos mais desenvolvidos) (figura 6). De qualquer forma, os dados evidenciam uma concentração dos desmatamentos sobre estas espécies vegetais com característica lenhosa, devido ao apelo comercial que as mesmas possuem nas regiões analisadas (no momento, uma elevada demanda por carvão vegetal).

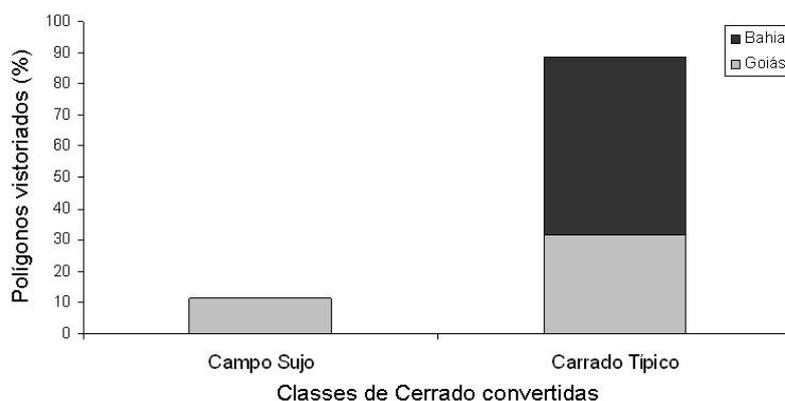


Figura 6. Distribuição dos alertas de desmatamentos confirmados em campo de acordo com a classe de Cerrado e Estado.

As figuras abaixo (figuras 7 a 14) ilustram as categorias de conversão do Cerrado detectadas pelo SIAD e confirmadas em campo (i.e., desmatamentos para expansão da pastagem, agricultura e área urbana), além dos alertas interpretados erroneamente como atividades antrópicas (i.e., mudanças sazonais da vegetação ou queimadas em áreas nativas de Cerrado).

<sup>1</sup>PROBIO. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira, concluído em 2007. Mapa dos biomas disponível em [http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm/?/](http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm?/) >.



Figura 7. Exemplo de área convertida para agricultura (expansão), em Correntina, Bahia.

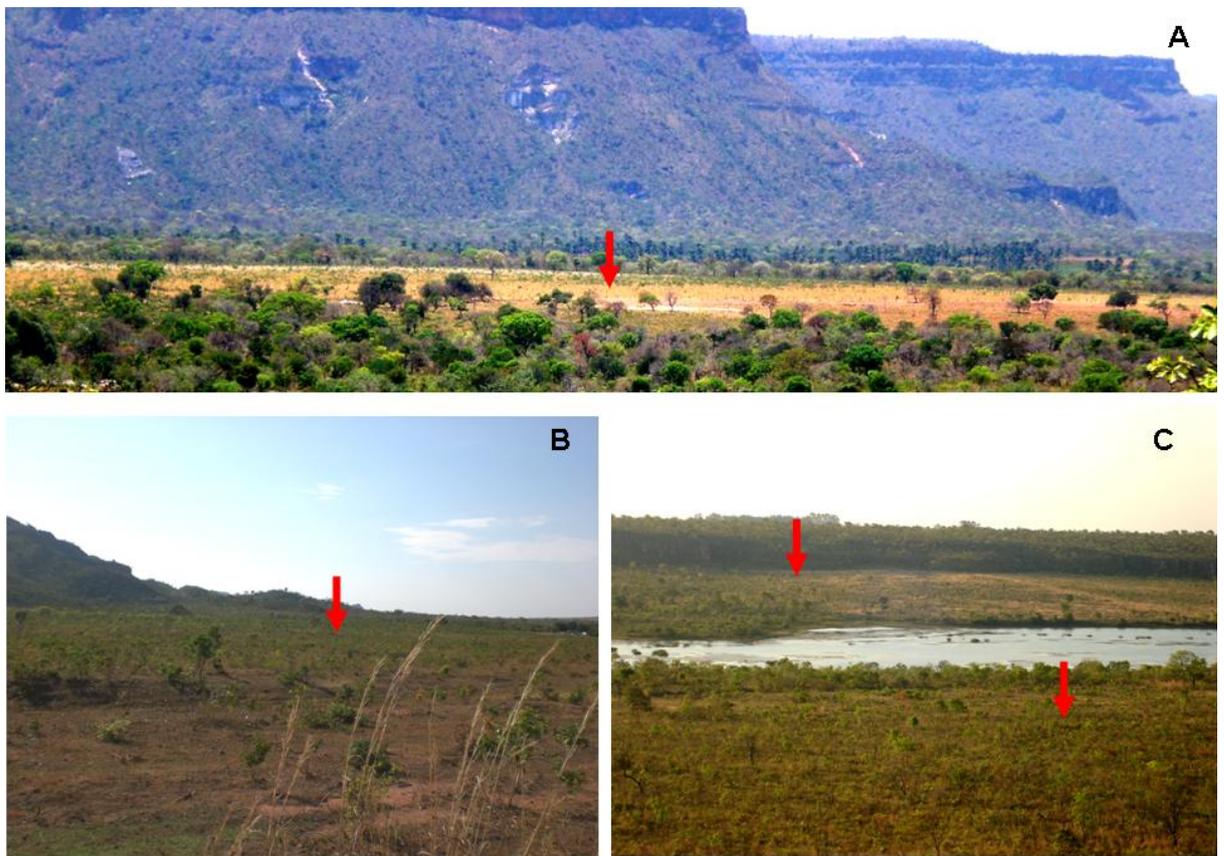


Figura 8. Exemplos de áreas de Cerrado convertidas para pastagem. (A) e (B) Áreas modificadas no Vão do Paranã, Goiás. (C) Área modificada em São Desidério, Bahia.



Figura 9. Área convertida para a agricultura em São Domingos, Goiás. (A) Integrantes da equipe de campo em área com resquício de queimada utilizada para expansão da área agrícola. (B) Área de Cerrado danificada, sem aparente uso. (C) Área ao fundo de um Cerrado nativo, pronta para o plantio. (D) Peças encontradas junto a esta área, indicando o uso de trator no processo de desmatamento.



Figura 10. Área em Posse, Goiás, convertida para plantio de eucaliptos, em função da demanda por lenha na região.



Figura 11. Área de Cerrado desmatada em Luis Eduardo Magalhães, Bahia, destinada (naquele momento) ao plantio de soja. (A) e (B) Preparação do solo para o plantio. (C) Equipe de campo da UFG. (D) Área ao lado, aparentando modificação antrópica, com restos de troncos de Cerrado.



Figura 12. Área de Cerrado desmatada em São Desidério, Bahia, próxima aos exemplos da figura 11. (A) Expansão e preparação do solo para o plantio. (B) Área ao lado, já em uso agrícola.



Figura 13. Área de Cerrado desmatada para a implantação de um loteamento privado em Luis Eduardo Magalhães, Bahia. No detalhe da foto esquerda, (1) área recém-desmatada e (2) Cerrado nativo (ao fundo), com risco de desmatamento.



Figura 14. Áreas identificadas em campo como “falsas” detecções. (1) Efeito da sazonalidade do Cerrado (Vão do Paranã, Guarani de Goiás, Goiás). (2) Área de encosta sob condição de queimada ou efeito da sazonalidade (Formosa, Goiás).

### ***Tendências de Ocupação***

Ao longo desta atividade de campo, percorrendo regiões um tanto discrepantes em termos de ocupação antrópica e preservação ambiental, tivemos a chance de observar o atual cenário de conversão do Cerrado no nordeste de Goiás e oeste da Bahia (referente ao mês de outubro/2008).

Neste sentido, e a despeito dos polígonos de desmatamentos do SIAD validados em campo, outros 27 pontos de GPS foram coletados, com respectivos registros fotográficos, visando acompanhar os novos desmatamentos em curso, com suas respectivas motivações socioeconômicas.

Como confirmado por este estudo (e por outras pesquisas correlatas), a região do oeste Baiano se destaca atualmente no país, não só pelo grande desenvolvimento na agricultura, mas também nas soluções encontradas para o beneficiamento e escoamento de sua produção (figura 15).



Figura 15. Sistema agrícola no oeste da Bahia. (A) grandes propriedades/empresas agrícolas. (B) armazenamento da produção (no caso, o algodão) em estratégicos portos secos. (C) Empresas de beneficiamento agrícola. (D) Estrutura viária e torres de distribuição de energia (boa infraestrutura).

Desde a implantação do município de Luis Eduardo Magalhães (início da década de 1990), esta região vem sendo uma das responsáveis pelo avanço da fronteira agrícola no bioma Cerrado (porção leste/nordeste). Hoje, parte dos desmatamentos realizados no nordeste Goiano visa atender algumas demandas na região supracitada, principalmente no comércio de madeira (lenha para as usinas de beneficiamento de soja e algodão).

Por conta desta necessidade energética, tornou-se comum nessa região a substituição do Cerrado por plantios de eucaliptos. A produção de carne (e derivados) em Goiás tem atendido também a este crescente mercado. O gráfico na figura 16 ilustra a distribuição destes pontos por Estado (área de estudo) e por categoria de motivação.

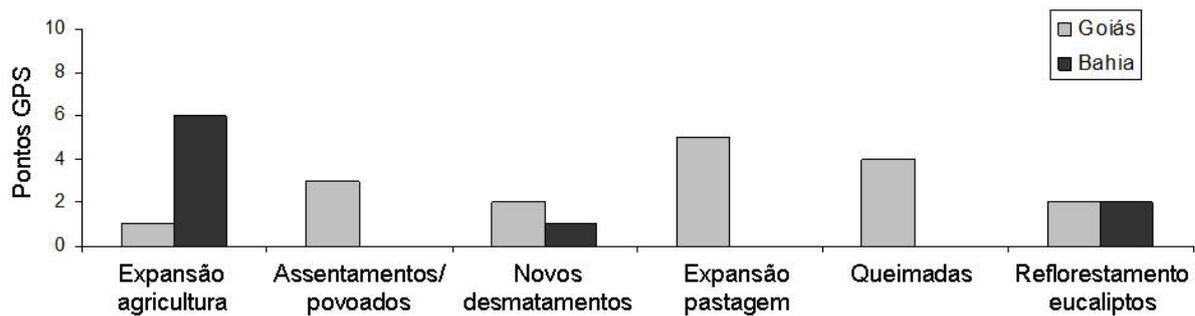


Figura 16. Distribuição dos pontos extras de GPS entre as categorias de motivação dos desmatamentos – regiões nordeste de Goiás e oeste da Bahia.

Com base nessa análise (gráfico da figura 16), observa-se uma clara tendência de expansão da agricultura na Bahia, enquanto que em Goiás a criação de gado continua sendo uma atividade principal por estas bandas do Estado. Com um menor desenvolvimento agrícola e um maior índice de pobreza (atributos que também não garantem a preservação do Cerrado), é nesta região que são encontrados alguns assentamentos rurais ou pequenos povoados, conforme ilustrado na figura 17.



Figura 17. Exemplo de assentamento rural encontrado na área de estudo. Neste caso, trata-se de um acampamento em propriedade com 450 famílias, distribuídas em quase 10 mil hectares (Vão do Paranã, Goiás).

Quanto aos reflorestamentos com eucalipto, estes tendem para as duas regiões visitadas, ainda que novos desmatamentos sejam proeminentes em Goiás (figura 16). Aliás, para estas novas áreas convertidas, a queimada tem sido um instrumento recorrente, como ilustrado na figura 18.



Figura 18. Exemplos de conversão do Cerrado, com o uso de queimadas, para o plantio de eucalipto (Vão do Paranã, Goiás). (A) (B) (C) Seqüência demonstrando a atividade de desmatamento com o fogo. (D) Área próxima, já substituída pelo plantio de eucalipto.

### Considerações Finais

Com base nos resultados e discussões apresentadas, foi possível avaliar o potencial do SIAD para o monitoramento contínuo e sistemático dos desmatamentos no bioma Cerrado.

Os dados indicam uma taxa de acerto das detecções (para o ambiente de savana) na ordem de 79%. Esta taxa pode ser considerada excelente, sobretudo para um sistema que utiliza imagens de resolução espacial moderada (MODIS, 250 metros), abrangendo em cada etapa de monitoramento (ou período) uma área de 2 milhões de km<sup>2</sup> (ou seja, todo o bioma Cerrado).

Além da validação do próprio sistema, os resultados trazem um melhor entendimento acerca dos processos de ocupação nas regiões avaliadas. Este entendimento pode contribuir para o acompanhamento de outras regiões no

Cerrado, ainda que com diferenças no que diz respeito às variáveis motivadoras para a conversão antrópica (ex. aspectos físicos e socioeconômicos).

Por fim, espera-se que este estudo (o primeiro de uma série) contribua para o aperfeiçoamento do SIAD Cerrado, sobretudo quanto à metodologia empregada na fase de inspeção visual dos alertas de desmatamentos. A etapa de inspeção, atualmente realizada para todo o bioma com base em imagens de maior resolução espacial (ex. CBERS e Landsat), poderá ser feita por amostragem, dotando o sistema de uma maior agilidade e precisão nos dados divulgados.

### **Agradecimentos**

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais (CIAMB), da Universidade Federal de Goiás (UFG), atendendo também à parceria entre o Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG), Conservação Internacional (CI) e The Nature Conservancy (TNC), cujo objetivo é a análise dos padrões espaciais e temporais dos desmatamentos no bioma Cerrado. Agradecemos à UFG/LAPIG, pelo apoio logístico e operacional, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsas de estudo aos autores, nas categorias Doutorado, Graduação (PIBIC) e Mestrado, respectivamente.

### **Referências Bibliográficas**

FERREIRA JÚNIOR, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v. 30 (379-390), 2008a.

FERREIRA, N. C.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; HUETE, A. R.; FERREIRA, M. E. An operational deforestation mapping system using MODIS data and spatial context analysis. *International Journal of Remote Sensing*, v. 28, p. 47-62, 2007.

MARTINS, L. K. P.; ZANON, P. C. F. Uso de geotecnologias na proteção da biodiversidade. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, 13., 2007, Florianópolis. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 4029-4036. CD-ROM, On-line. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.14.35.44/doc/4029-4036.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2008.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO J. L.; FERREIRA JÚNIOR, L. G. Mapeamento semidetalhado (escala de 1:250.000) da cobertura vegetal antrópica do bioma Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 1, p. 153-156, 2008.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)