



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



NOELY VICENTE RIBEIRO

**EXPANSÃO SUCROALCOOLEIRA NO BIOMA CERRADO: Tendências, cenários e
impactos**

Orientador: Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr.

Goiânia
2010

NOELY VICENTE RIBEIRO

EXPANSÃO SUCROALCOOLEIRA NO BIOMA CERRADO: Tendências, cenários e impactos

Tese apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, como pré-requisito para a obtenção do título de Doutor em Geografia

Orientador: Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr.

Goiânia

2010

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

R484e Ribeiro, Noely Vicente.
Expansão sucroalcooleira no bioma cerrado
[manuscrito]: Tendências, cenários e impactos/ Noely
Vicente Ribeiro. - 2010.
82f. : figs, tabs.

Orientador: Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás,
Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, 2010.
Bibliografia.

1. Cartografia - Cana-de-açúcar 2. Etanol 3. Modelagem
Dinâmica. 4. Bioma Cerrado . I.Título.

CDU:528.9: 633.61

NOELY VICENTE RIBEIRO

EXPANSÃO SUCROALCOOLEIRA NO BIOMA CERRADO: Tendências, cenários e impactos

Tese apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, como pré-requisito para a obtenção do título de Doutor em Geografia

Orientador: Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr.

Goiânia

2010

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: Dissertação Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor (s):		Noely Vicente Ribeiro	
E-mail:		noely.ribeiro@iesa.ufg.br	
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não			
Vínculo empregatício do autor:		Universidade Federal de Goiás	
Agência de fomento:		Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás	Sigla: FAPESQ
País:	Brasil	UF:	GO CNPQ: 08156102/0001-03
Título: EXPANSÃO SUCROALCOOLEIRA NO BIOMA CERRADO: Tendências, cenários e impactos			
Palavras-chave: Cana-de-açúcar, Etanol, Modelagem dinâmica, Bioma Cerrado			
Título em outra língua:		THE SUGARCANE EXPANSION IN THE CERRADO BIOME: Trends, scenarios and impacts	
Palavras-chave em outra língua:		Sugarcane, Ethanol, Dynamic modeling, Cerrado biome	
Área de concentração:		Natureza e Produção do Espaço	
Data defesa: (dd/mm/aaaa)		17/12/2010	
Programa de Pós-Graduação:		Geografia - IESA	
Orientador (s):		Laerte Guimarães Ferreira Jr.	
E-mail:		laerte@iesa.ufg.br	
Co-orientador (s):*			
E-mail:			

*Necessita do CPF quando não constar no SisPG

3. Informações de acesso ao documento:

Liberação para disponibilização? total parcial

Em caso de disponibilização parcial, assinala as permissões:

Capítulos. Especifique: _____

Outras restrições: _____
 Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O Sistema de Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.


 Assinatura do (s) autor (s)

Data: 14 / 03 / 2011

* Em caso de restrição, esta poderá ser mantida por até um ano a partir da data de defesa. A extensão desse prazo solicita justificativa junto à coordenação do curso. Todo resumo e metadados ficam sempre disponibilizados.

TERMO DE APROVAÇÃO

NOELY VICENTE RIBEIRO

EXPANSÃO SUCROALCOOLEIRA NO BIOMA CERRADO: Tendências, cenários e impactos

Tese defendida no Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais da Universidade Federal de Goiás, para a obtenção do grau de Doutor, aprovada em 17 de dezembro de 2010, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:



Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr. - IESA/UFG
Presidente da Banca - Orientador



Prof. Dr. João Batista de Deus - IESA/UFG
Membro titular interno



Prof. Dr. Ivanilton José de Oliveira - IESA/UFG
Membro titular interno



Prof. Dr. Edson Eyji Sano - UnB
Membro titular externo



Prof. Dr. Prof. Dr. Fausto Miliari - FCH/UFG
Membro titular externo



Prof. Dr. Cláudia Valéria de Lima - IESA/UFG
Suplente

Dedico esta tese ao meu esposo Nilson que apóia sempre as minhas conquistas pessoais e profissionais. Aos meus filhos Leonardo (meu lindo primogênito que foi meu “*helper* de doutorado” em vários momentos durante a pesquisa), Ana Clara (minha princesinha que muitas vezes chorou querendo meu colo enquanto eu escrevia) e Daniel (que ainda se encontra em meu ventre).

Aos meus pais Lourdes e Miguel que sempre me incentivaram nos estudos.

Aos meus irmãos Eduardo (*in Memoriam*), Gabriel e Márcio.

AGRADECIMENTOS

Manifesto minha gratidão à todas as pessoas que estiveram presentes direta ou indiretamente neste processo. Gostaria de expressar especiais agradecimentos:

Primeiramente a Deus, por ter me proporcionado muita perseverança para chegar até o final.

Ao meu amigo Augusto Avelino por ter me incentivado tanto a pesquisar esse tema durante o tempo que trabalhamos juntos no PREVFOGO do IBAMA - GO.

Ao meu orientador Prof. Dr. Laerte G. Ferreira, por tanta paciência, dedicação e muitas sugestões criativas, desempenhando assim uma orientação impecável durante toda a pesquisa.

Aos professores do Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia pela contribuição que me foi dada.

Aos funcionários do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais que sempre me atenderam prontamente.

Aos colegas do Programa, em especial aos amigos Levindo, Elaine e Gisleide, pelo companheirismo nos trabalhos que produzimos juntos durante o curso e pelos momentos de descontração.

Ao Laboratório de Processamento Digital de Imagens – LAPIG, por todo apoio de infraestrutura que me foi dado. Aos colegas do LAPIG, em especial, Prof. Dr. Manuel, Marlon, Genival, Joana e Fanuel pela contribuição.

Agradeço o enorme carinho e força que recebi do meu esposo Nilson em todo momento que necessitei. Ao Meu filhinho Léo que me ajudou várias vezes quando preenchia planilhas, revisava mapas, enfim, foi o meu *helper* de doutorado como ele diz com tanto orgulho.

Agradeço imensamente aos meus pais, por terem se deslocado para me ajudar com apoio logístico, praticamente tomando conta da minha família enquanto eu finalizava a tese.

Por fim, agradeço aos órgãos financiadores que me proporcionaram bolsa de pesquisa e ajuda de custo para participação em eventos, durante todo desenvolvimento do trabalho: NASA AMES, CNPq, CAPES, FAPEG e FUNAPE.

RESUMO

Devido à escassez dos combustíveis fósseis, e também em função dos atuais problemas ambientais, causados pela emissão de gases que contribuem para o efeito estufa, vêm ocorrendo uma crescente demanda mundial por uma matriz energética alternativa, renovável e sustentável. Em particular, os biocombustíveis, dentre eles o etanol, vêm se destacando como fonte de energia alternativa. No Brasil, considerado o maior país produtor e exportador de etanol de cana-de-açúcar, esta demanda deflagrou uma expansão, acelerada e pouco planejada, da cultura de cana no país, principalmente em áreas do bioma Cerrado. Neste sentido, esta pesquisa buscou, a partir de uma análise exploratória das características e padrões da cultura da cana nos dias atuais, entender os mecanismos e condicionantes fisiográficos por detrás da expansão em curso. Assumindo que a cana deverá se expandir preferencialmente em áreas de pastagens, tanto por razões econômicas quanto ambientais, apresentamos uma proposta de ordenamento para a expansão da cana-de-açúcar no bioma Cerrado, elaborado através de técnicas de análises espaciais e geoprocessamento e com base em seus padrões de distribuição e características da paisagem (relevo, uso da terra, solos, infraestrutura existente e legislação ambiental). Adicionalmente, com base em modelagem dinâmica, que considera tanto as tendências da expansão em curso, quanto à ocorrência de áreas favoráveis à presença da cana, foi gerado um cenário referente à expansão da cana-de-açúcar no Cerrado num espaço temporal de 30 anos. Os principais resultados desta tese são: a) a cana-de-açúcar possui uma significativa dependência em relação à infraestrutura existente, áreas de relevo plano e solos favoráveis ao manejo agrícola; b) é evidente o avanço da cana sobre áreas destinadas a outras culturas agrícolas; c) o modelo de ordenamento proposto possibilita uma expansão da cana-de-açúcar de 5,7 vezes em relação à área existente, sem que haja o comprometimento de outras culturas e em respeito à legislação ambiental e às áreas de vegetação nativa remanescente; d) ao contrário, e mantidas as tendências atuais, a modelagem dinâmica indica que a expansão até 2035 pode comprometer até 45% das áreas agrícolas do bioma Cerrado, aumentando essa monocultura em vários municípios e produzindo significativos impactos na ocupação de várias bacias hidrográficas do bioma. Em fato, e ainda que a expansão indicada pelos dois modelos (i.e. controlado e dinâmico) corresponda a áreas aproximadamente iguais, a localização das áreas indicadas pelo cenário controlado resulta em menos impactos sobre o meio ambiente e a segurança alimentar. Como os nossos resultados sugerem, por meio do planejamento e ordenamento do território é possível que ocorra a produção de etanol no Cerrado de maneira mais sustentável.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar. Etanol. Modelagem dinâmica. Bioma Cerrado.

ABSTRACT

Due to the shortage of fossil fuels, as well as due to the current environmental issues related to the emission of greenhouse gases, there has been a growing demand for alternative, renewable and sustainable, energy sources. In particular, biofuels, such as ethanol, are becoming more prominent each day. In Brazil, considered the largest ethanol producer and exporter in the world, such demand has triggered a fast growing (and insufficiently planned) sugarcane expansion, mostly in the Cerrado biome. Within this scope, and relying on an exploratory analysis of the characteristics and patterns of the sugarcane distribution in the Cerrado, this research aimed at understanding the underlying mechanisms and physiographic constraints behind the ongoing expansion. Assuming this expansion will be preferentially over cultivated pastures, for both economic and environmental reasons, we propose a territorial ordainment based on spatial analysis and according to major landscape attributes (i.e. relief, land-use, soil type, available infrastructure) and environmental laws. In addition, through the use of a dynamic modeling approach, accounting for both the current expansion trends, as well as the occurrence of favorable areas, we generated a sugarcane scenario up to 2035. Our main results include: a) in the Cerrado, sugarcane is highly dependent on the available infrastructure, flat terrains and mechanizable oxisols; b) sugarcane expansion is occurring at the expenses of other crop commodities; c) the proposed territorial ordainment will enable an expansion almost sixfold the current sugarcane area, without compromising other crops, the environment, or the remnant vegetation areas; d) as opposed, and kept the current trends, the scenario derived from the dynamic modeling shows that new sugarcane may take up to 45% of the agricultural areas in the Cerrado, reducing crop diversity and seriously impacting some of the biome watersheds. In spite the fact that both scenarios yield approximate the same expansion, the area on which they occur will be quite different. In fact, the so-called “constrained” scenario is likely to have less impacts on the environment and food production. Overall, our results suggest that through territorial ordainment, a substantial increase in ethanol production, in harmony with the environment and other economic activities, is possible to occur.

Keywords: Sugarcane. Ethanol. Dynamic modeling. Cerrado biome

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	- Mapa de uso e ocupação do solo no estado de Goiás, elaborado a partir de imagens Landsat 7 ETM+ obtidas em 2002.....	22
Figura 2.2	- Base de dados geográficos utilizados neste estudo.....	23
Figura 2.3	- Mapa da distribuição e ocupação da cana-de-açúcar no Brasil realizado pelo CANASAT (dados referentes ao período de 2003 a 2007). Fonte: CANASAT/INPE.....	24
Figura 2.4	- Crescimento da área plantada com cana-de-açúcar no Estado de Goiás (período de 2005-2007).....	26
Figura 2.5	- Mapa da infraestrutura do Estado de Goiás e área ocupada com de cana-de-açúcar.....	27
Figura 2.6	- Distribuição da área plantada com cana-de-açúcar em relação à localização das rodovias.....	28
Figura 2.7	- Distribuição da área plantada com cana-de-açúcar em relação à localização das usinas.....	28
Figura 2.8	- Distribuição da área plantada com cana-de-açúcar em relação à localização do poliduto.....	29
Figura 2.9	- Distribuição das áreas de plantio de cana-de-açúcar em relação às áreas de proteção e preservação ambiental.....	30
Figura 2.10	- Distribuição das áreas de plantio de cana-de-açúcar com relação ao tipo de solo.....	31
Figura 2.11	- Distribuição das áreas de plantio de cana-de-açúcar com relação ao uso do solo mapeado em 2002.....	32
Figura 2.12	- Distribuição das áreas de plantio de cana-de-açúcar com relação à declividade.....	32
Figura 3.1	- Uso e cobertura da terra no bioma Cerrado, conforme dados PROBIO, com destaque para as áreas ocupadas com cana-de-açúcar (dados CANASAT).....	40
Figura 3.2	- Distribuição da área plantada com cana-de-açúcar conforme os limites estaduais abrangidos pelo bioma Cerrado.....	41
Figura 3.3	- Área cultivada com cana-de-açúcar em relação às principais classes de cobertura e uso da terra encontradas no bioma Cerrado (conforme mapeamento PROBIO.....	42

Figura 3.4	-	Áreas de pastagens cultivadas propícias à expansão do cultivo de cana-de-açúcar no bioma Cerrado.....	44
Figura 3.5	-	Área do cenário de expansão do cultivo de cana-de-açúcar em relação à área de Cerrado nos Estados.....	45
Figura 3.6	-	Incremento na área plantada com cana-de-açúcar, para os interstícios de 2007-2008 e 2008-2009, segundo a área dos estados produtores localizada no bioma Cerrado.....	46
Figura 3.7	-	Proporção do aumento da área plantada com cana-de-açúcar em relação às áreas de pastagens mapeadas como potencialmente favoráveis e em relação às principais classes de cobertura e uso da terra, conforme mapeamento PROBIO.....	47
Figura 3.8	-	Relação entre os incrementos nas áreas ocupadas com cana-de-açúcar e os alertas de desmatamentos mapeados pelo SIAD Cerrado nos períodos de 2007-2008 e 2008-2009.....	48
Figura 4.1	-	Mapa de uso e ocupação da Terra no bioma Cerrado, elaborado a partir de imagens Landsat 7 ETM+ obtidas em 2002. Fonte: MMA/PROBIO..	57
Figura 4.2	-	Principais etapas referentes ao mapeamento da tendência da expansão da cana-de-açúcar no bioma Cerrado.....	58
Figura 4.3	-	Resultado das análises de similaridade entre a expansão do cultivo de cana-de-açúcar mapeada e simulada.....	63
Figura 4.4	-	Mapa de tendência da expansão do cultivo de cana-de-açúcar no bioma Cerrado, entre os anos de 2005 e 2035.....	64
Figura 4.5	-	Expansão do cultivo da cana-de-açúcar nos estados.....	65
Figura 4.6	-	Correlação entre a área de expansão do cultivo de cana-de-açúcar mapeada e simulada, entre os anos de 2006 a 2009.....	66
Figura 4.7	-	Mapas de tendência do cultivo de cana-de-açúcar no bioma Cerrado (a) área de cultivo em 2010, (b) área de cultivo em 2020, (c) área de cultivo em 2030 e (d) área de cultivo em 2035.....	67
Figura 4.8	-	Expansão do cultivo da cana-de-açúcar no bioma Cerrado, mapeado e simulado.....	68
Figura 4.9	-	Ocupação do cultivo de cana-de-açúcar em relação aos limites municípios do bioma Cerrado.....	69
Figura 4.10	-	Impacto da expansão do cultivo da cana-de-açúcar sobre o uso do solo no bioma Cerrado (conforme dados PROBIO.....	70

Figura 4.11	- Impacto do cultivo da cana-de-açúcar em 2035 sobre os usos do solo nos estados em 2002 (dados PROBIO).....	71
Figura 4.12	- Impacto provável do cultivo de cana-de-açúcar, até 2035, sobre bacias hidrográficas.....	72
Figura 4.13	- Impacto do cultivo da cana-de-açúcar, em 2035, sobre a conservação da biodiversidade.....	73
Figura 5.1	- Expansão da cana-de-açúcar no bioma Cerrado: Tendência e Cenário Proposto.....	80
Figura 5.2	- Expansão da cana-de-açúcar pelos estados do bioma cerrado.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Resultados (R ²) das regressões lineares entre as variáveis sócio-econômicas e uso do solo.....	33
Tabela 2.2 - Valores de p (teste t-Student) relativo à comparação entre as médias estatísticas de municípios produtores de cana-de-açúcar, com e sem usinas.....	33
Tabela 3.1 - Parâmetros e critérios utilizados na identificação de áreas favoráveis à expansão do cultivo de cana-de-açúcar no bioma cerrado.....	43
Tabela 4.1 - Organização da base de dados.....	59
Tabela 4.2 - Expansão do cultivo da cana-de-açúcar, entre 2005 e 2035, nos estados abrangidos pelo bioma cerrado.....	65
Tabela 4.3 - Uso do solo impactado pelo cultivo da cana-de-açúcar.....	70

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	15
1 - INTRODUÇÃO	17
2 - EXPANSÃO SUCROALCOOLEIRA NO ESTADO DE GOIÁS: UMA ANÁLISE EXPLORATÓRIA A PARTIR DE DADOS SÓCIO-ECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS	19
2.1 - Introdução.....	20
2.2 - Área de Estudo.....	21
2.3 - Descrição dos Dados.....	22
2.4 - Análises dos Dados.....	25
2.5 - Resultados e Discussões.....	26
2.6 - Considerações.....	33
2.7 - Referências.....	34
3 - PADRÕES E IMPACTOS AMBIENTAIS DA EXPANSÃO ATUAL DO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR: UMA PROPOSTA PARA O SEU ORDENAMENTO NO BIOMA CERRADO.....	36
3.1 - Introdução.....	37
3.2 - Distribuição Espacial da Cana-de-Açúcar no Bioma Cerrado.....	39
3.3 - Cenário para a Expansão da Cultura de Cana-de-Açúcar no Bioma Cerrado.....	42
3.4 - Cenário & realidade.....	45
3.5 - Considerações.....	48
3.6 - Referências.....	49
4 - AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO DO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BIOMA CERRADO A PARTIR DE MODELAGEM DINÂMICA DA PAISAGEM.....	54
4.1 - Introdução.....	55
4.2 - Metodologia.....	56
4.2.1 - Base de Dados Geográficos.....	58
4.2.2 - Elaboração dos Mapas de Tendência.....	60

4.2.3 - Validação dos Mapeamentos de Tendência.....	61
4.2.4 - Avaliações dos Impactos Futuros da Expansão da Cana-de-Açúcar.....	61
4.3 - Resultados.....	62
4.4 - Considerações.....	74
4.5 - Referências.....	75
5 - CONCLUSÕES.....	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
APÊNDICE 1.....	82

APRESENTAÇÃO

A presente tese de doutorado, realizada no âmbito do Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia, segue o estilo de tese em formato de artigos científicos e foi organizada da seguinte forma: 1) Introdução - onde consta uma descrição geral do tema tratado na tese, a problematização, apresentada em forma de questões científicas, bem como as hipóteses e os objetivos; 2) Desenvolvimento da tese, que compreende três artigos, resultados direto da pesquisa, os quais buscam responder as perguntas que norteiam este doutorado; 3) Considerações Gerais, onde são integrados todos os resultados obtidos no desenvolvimento da tese; 4) Apêndice - onde consta um documento cartográfico final, referente à expansão da cana-de-açúcar no bioma Cerrado.

A revisão de literatura, os procedimentos metodológicos, os resultados e as discussões constam dos artigos, elaborados de forma integrada e seqüencial.

O primeiro artigo¹ - EXPANSÃO SUCROALCOOLEIRA NO ESTADO DE GOIÁS: UMA ANÁLISE EXPLORATÓRIA A PARTIR DE DADOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS – foi elaborado tomando o estado de Goiás como uma área piloto, tendo em vista que este possui seus limites geográficos quase que totalmente inseridos no bioma Cerrado. Utilizando-se de ferramentas de geoprocessamento, foi possível descobrir a relação espacial da cultura da cana-de-açúcar com a infraestrutura existente (usinas, estradas), relevo, solos e uso da terra.

O segundo artigo² - PADRÕES E IMPACTOS AMBIENTAIS DA EXPANSÃO ATUAL DO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR: UMA PROPOSTA PARA O SEU ORDENAMENTO NO BIOMA CERRADO – foi desenvolvido tendo o primeiro como base, cujas variáveis e parâmetros analisados e validados foram utilizados na elaboração de um cenário planejado quanto à expansão potencial da cana-de-açúcar no bioma Cerrado. Em particular, este exercício de modelagem, sob a premissa de se minimizar os impactos ambientais e econômicos, teve por referência o estrito cumprimento da legislação ambiental e a expansão canavieira restrita às áreas de pastagens cultivadas no bioma.

¹ Publicado na revista Geografia, Qualis A2 nacional

² Submetido à Revista Brasileira de Cartografia (Qualis B1 nacional)

O terceiro artigo - AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO DO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BIOMA CERRADO A PARTIR DE MODELAGEM DINÂMICA DA PAISAGEM – também baseado nos parâmetros e variáveis discutidos no primeiro, teve por objetivo, a partir do uso de uma ferramenta de modelagem dinâmica, gerar cenários referentes à presença da cana no bioma Cerrado de acordo com as tendências de expansão em curso.

1 - INTRODUÇÃO

O cenário mundial apresenta uma urgente e crescente demanda por fontes alternativas de energias renováveis. Várias pesquisas apontam os biocombustíveis como uma das soluções do problema. O etanol é um dos biocombustíveis que vem sendo mais utilizado no mundo em substituição da gasolina (GOLDEMBERG, 2008).

O Brasil se destaca como um dos países líderes na produção do etanol (de cana-de-açúcar) e também da tecnologia dos carros bicombustíveis. Essa produção teve início no Brasil ainda na década de 70 do século XX, quando houve uma grande crise de petróleo no mundo e o governo brasileiro criou o PROÁLCOOL, um programa que incentivou a produção de álcool anidro (para ser misturado à gasolina) e também o desenvolvimento do carro movido a álcool. Em consequência, houve uma expansão acentuada da cultura de cana-de-açúcar no Brasil, principalmente na região Sudeste onde também foram criadas várias usinas de açúcar e álcool, hoje plenamente consolidadas. Posteriormente, com a baixa do preço do barril de petróleo e a alta no preço do açúcar, o programa governamental sofreu uma significativa desaceleração.

Em meados dos anos 2000, o risco premente de escassez dos combustíveis fósseis, a preocupação ambiental relacionada ao aumento dos gases que provocam o efeito estufa e o lançamento dos carros *flex* (movidos com gasolina e/ou álcool), fizeram com que o etanol fosse novamente demandado, pois ele passa a ser visto como uma das alternativas viáveis aos problemas em questão, e conseqüentemente ocorre uma acelerada expansão do cultivo da cana-de-açúcar, agora em direção à região Centro-Oeste e, em particular, às áreas de Cerrado, tendo em vista suas características favoráveis (solo, topografia, clima, infraestrutura).

Por outro lado, no bioma Cerrado, que recobre a maior parte da região Centro-Oeste, localizam-se grande parte das nascentes dos rios que integram as principais bacias hidrográficas do Brasil. Da mesma forma, esse bioma, considerado um dos *hotspots* de biodiversidade no mundo, abriga, em seus *habitats* severamente fragmentados, expressiva biodiversidade, em grande parte endêmica e ameaçada. Assim, uma expansão sucroalcooleira desordenada pode representar a condenação desse bioma ímpar e de grande relevância ambiental, cujos serviços ambientais aos poucos começam a ser entendidos e devidamente valorizados. Neste contexto, esta tese de doutorado buscou responder às seguintes questões:

- a) Qual a relação espacial da área ocupada com cana-de-açúcar com os aspectos fisiográficos da paisagem e a infraestrutura existente?
- c) Quais os padrões espaciais e impactos ambientais associados à atual ocupação sucroalcooleira e expansão em curso?
- c) Existe a possibilidade do cultivo da cana-de-açúcar expandir no bioma Cerrado sem a ocorrência de novos desmatamentos ou ocupação de áreas com agricultura já consolidada?
- d) Quais são as alternativas territoriais e ambientais para a expansão em curso?

Em particular, esta pesquisa estrutura-se em torno das seguintes hipóteses:

- a presença da cana-de-açúcar em áreas de Cerrado está condicionada a aspectos fisiográficos e infraestrutura instalada;
- a expansão da área plantada com cana-de-açúcar, bem como a instalação de novas usinas, tende a consolidar o padrão espacial existente, ou seja, a expansão se dará em torno do que já existe.
- o bioma Cerrado possui áreas disponíveis suficientes para tecnicamente promover a expansão da cana-de-açúcar no Cerrado, em respeito à legislação ambiental vigente, às áreas de agricultura consolidadas e às áreas com vegetação nativa remanescente no bioma.

Para validar estas hipóteses foram estabelecidos os seguintes objetivos:

- 1) analisar a distribuição geográfica da cana-de-açúcar no bioma Cerrado, buscando características da paisagem que identifiquem padrões específicos desta ocupação;
- 2) produzir um modelo utilizando ferramentas de geoprocessamento, com vistas à geração de um cenário que aponte áreas propícias para a expansão da cana-de-açúcar no bioma Cerrado, evitando impactos sobre áreas de agricultura e também áreas de vegetação remanescentes;
- 3) verificar a tendência da expansão da cultura da cana-de-açúcar no bioma Cerrado utilizando técnicas de modelagem dinâmica;

2 - EXPANSÃO SUCROALCOOLEIRA NO ESTADO DE GOIÁS: UMA ANÁLISE EXPLORATÓRIA A PARTIR DE DADOS SÓCIO-ECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS

SUGARCANE EXPANSION IN GOIÁS STATE: AN EXPLORATORY ANALYSIS BASED ON SOCIOECONOMIC AND CARTOGRAPHIC DATA

Resumo

No atual cenário de crise energética e ambiental, os biocombustíveis, principalmente aqueles derivados da cana-de-açúcar, tornam-se cada vez mais prioritários e relevantes. Neste estudo procedemos, com base em dados cartográficos e sócio-econômicos, a uma análise exploratória da ocupação da cana-de-açúcar no Estado de Goiás, o qual, em função das suas características fisiográficas, acentuado desenvolvimento econômico, infraestrutura implantada e planejada, e potencial agrícola, constitui-se em uma das principais alternativas à expansão sucroalcooleira no país. No período de 2005 a 2007, a área plantada com cana-de-açúcar, distribuída em 77 municípios, passou de 217.898,14 a 347.912,20 hectares. Conforme os nossos resultados sugerem, há uma clara dependência desta área plantada em relação à infraestrutura existente e às áreas de relevo plano e solos férteis. Da mesma forma, é também evidente o avanço da cana sobre áreas já destinadas a outros usos agrícolas. Esta expansão, contudo, tem trazido poucos impactos sobre a economia Goiana, principalmente no que diz respeito à geração de empregos. Igualmente preocupante, é a constatação de passivos ambientais em áreas de preservação permanente e naquelas consideradas prioritárias para a conservação da biodiversidade. A expectativa é de que estes resultados sirvam de base à geração de cenários futuros, os quais norteiem o planejamento e a gestão territorial em Goiás.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar. Gestão territorial. Indústria sucroalcooleira.

Abstract

In the current scenario of energy crisis and global change, the biofuels, mostly those derived from sugarcane, are becoming a higher priority each day. Within this context, in this study, based on cartographic and socioeconomic data, we perform an exploratory analysis regarding the sugarcane occupation in the State of Goiás, which, due to its physiographic characteristics as well as its prominent economic growth, existent and planned infrastructure, and agricultural potential, is a major alternative to the expansion of the ethanol production in the country. Between 2005 and 2007, the area with sugarcane, distributed over 77 municipalities, increased from 217.898,14 to 347.912,20 hectares. As our results suggest, the location of the sugarcane plantations is highly dependent on the available infrastructure, flat topography and soil fertility. Likewise, the expansion of the sugarcane over other crops is also evident. Interestingly, this expansion, which is also occurring over protected and priority areas for biodiversity conservation, has not produced significant impacts on the local economy. The expectation is that these results may help in the modeling of future scenarios, which are instrumental for the implementation of more adequate territorial policies.

Keywords: Sugarcane. Territorial policies. Ethanol production.

2.1 - INTRODUÇÃO

O Cerrado, o segundo maior bioma brasileiro, compreende onze Estados e também o Distrito Federal, totalizando uma área de 204,7 milhões de hectares, dos quais, 60,5% ainda estão cobertos por vegetação nativa (SANO et al., 2008a, p.153).

O estado de Goiás possui 97% de sua área inserida no bioma Cerrado. Sua ocupação teve início no século XVIII com as expedições dos bandeirantes, durante o ciclo do Ouro. Segundo Chaul (2000, p. 113), a procura por índios para servirem de escravos e a exploração das minas de ouro atraíram vários desbravadores, contribuindo assim para o povoamento da região. Com a decadência da mineração, um novo ciclo econômico, baseado na atividade agropecuária, passa a responder pela ocupação das terras goianas.

A agricultura em Goiás sempre foi complementar à pecuária, sendo preferencialmente destinada à subsistência. Contudo, em 1912 houve uma primeira ascensão, com a implantação de ferrovias e o desenvolvimento da economia cafeeira no Centro-Sul (CHAUL, 2000, p. 118). Nas décadas seguintes também ocorreram eventos significativos para o desenvolvimento da agricultura no estado, como a criação da Colônia Agrícola Nacional de Goiás (Cang) (SILVA, 2002, p.66).

A década de 1970 marca a modernização da agricultura, com a adoção de tecnologias para correções do solo, introdução da mecanização, viabilizado pelo relevo plano e suavemente ondulado, além da facilidade de créditos oferecidos por planos econômicos governamentais, o que resultou em aumento na produção de grãos no estado de Goiás (MEDEIROS, 1998, p. 130; GONÇALVES NETO, 2000, p. 225; BRAGA, 1998, p. 96; PIRES, 2000, p.114).

Com a crise atual do aquecimento global e a elevação do preço do petróleo, a busca por energias renováveis, como a produção do álcool etanol extraído da cana-de-açúcar, se intensificou. Tendo em vista o fato do setor sucroalcooleiro já estar consolidado na região Sudeste do Brasil, uma das alternativas à sua expansão é a região Centro-Oeste. Em particular, o estado de Goiás, devido às suas características climáticas, acentuado desenvolvimento econômico, infraestrutura implantada (ex. Porto seco de Anápolis), infraestrutura planejada (ex. polduto) e potencial agrícola (CASTRO, 2006).

Ainda que o incremento da produção sucroalcooleira em Goiás traga impactos positivos sobre a economia, vários impactos negativos também devem ser considerados. No âmbito ambiental, estes incluem a prática disseminada de queimadas à época da colheita e a demanda por novas áreas. Da mesma forma, a expansão das plantações de cana-de-açúcar sobre áreas ocupadas por outras culturas, ou mesmo sobre áreas ainda intactas, poderá ter reflexos sobre a estrutura agrária e social do estado.

Com o objetivo de melhor entendermos as características e o potencial da expansão do setor sucroalcooleiro no Estado de Goiás, neste estudo procedemos, através das funções disponíveis em sistemas de informações geográficas, à uma análise exploratória da área ocupada pelo plantio de cana-de-açúcar.

2.2 - ÁREA DE ESTUDO

O estado de Goiás, localizado na região Centro-Oeste do Brasil, encontra-se atualmente ocupado por pastagem, agricultura e remanescentes de vegetação. A pastagem se estende por todo o território goiano, totalizando 49% da área do Estado, enquanto a agricultura, que ocupa 18% da área do Estado, é predominante no sudoeste e centro-sul, distribuindo-se ainda ao longo do eixo central em direção ao norte-nordeste, através de alguns fragmentos isolados. A vegetação remanescente, preferencialmente encontrada na região nordeste, corresponde a 32% da área do Estado (figura 2.1).

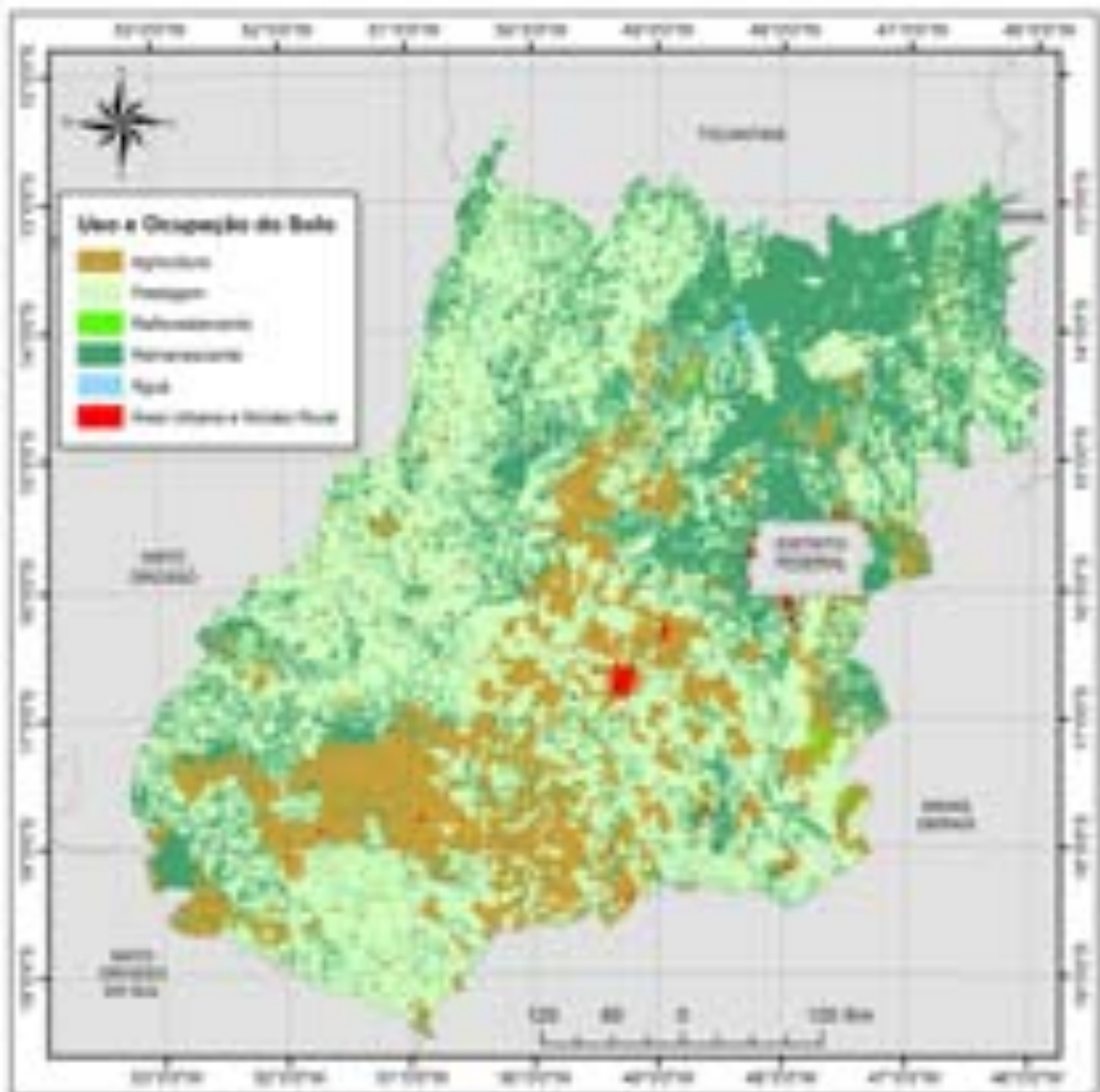


Figura 2.1 - Mapa de uso e ocupação do solo no estado de Goiás, elaborado a partir de imagens Landsat 7 ETM+ obtidas em 2002. Fonte: PDIAP/SIEG

2.3 - DESCRIÇÃO DOS DADOS

A base de dados utilizada para a realização da análise exploratória aqui proposta compreende tanto dados do projeto CANASAT, quanto dados cartográficos e socioeconômicos (figura 2.2). Os dados do CANASAT, projeto voltado ao mapeamento das áreas plantadas com cana-de-açúcar no país (CANASAT/INPE, 2007; RUDORFF et al, 2004), produzidos pelo INPE, utilizando imagens orbitais adquiridas pelo satélite sino-brasileiro CBERS-2, são disponibilizados em meio digital via internet, na página <http://www.dsr.inpe.br/canasat/>.



Figura 2.2 - Base de dados geográficos utilizados neste estudo

O CANASAT monitora alguns estados das regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país desde 2003, sendo que o estado de Goiás começou a ser monitorado a partir de 2005 (figura 2.3).



Figura 2.3 - Mapa da distribuição e ocupação da cana-de-açúcar no Brasil realizado pelo CANASAT (dados referentes ao período de 2003 a 2007). Fonte: CANASAT/INPE

Em relação aos dados cartográficos, estes compreendem nove planos de informações, organizados segundo as características físicas da área de estudo (solos, relevo, hidrografia e uso do solo), a infraestrutura existente (usinas de açúcar e álcool e sistema viário), além das áreas protegidas, áreas prioritárias para conservação da biodiversidade e limites políticos, aos quais foram associados os dados sociais e econômicos.

Todos os planos de informações do conjunto de dados cartográficos, bem como os respectivos metadados, encontram-se disponíveis na internet por meio do SIEG (Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás), que pode ser acessado no endereço www.sieg.go.gov.br (MOREIRA; FERREIRA, 2008, p. 152). Quanto ao mapa de uso e ocupação do solo, baseado na interpretação de imagens Landsat 7 ETM+ obtidas em 2001 e 2002, bem como o conjunto de 40 áreas prioritárias, estes foram gerados no âmbito do

Projeto de Identificação de Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade no Estado de Goiás (PDIAP) (SANO et al., 2008b, p. 91; SCARAMUZZA et al., 2008, p. 13).

2.4 - ANÁLISES DOS DADOS

Para a análise dos dados foram utilizadas diferentes funções topológicas, tais como proximidade, intersecção, união e extração de dados geograficamente referenciados.

Em uma primeira etapa, as áreas plantadas com cana-de-açúcar foram analisadas em relação à distância da infraestrutura existente e planejada, ou seja, as rodovias pavimentadas, o traçado do poliduto para escoamento de combustíveis e a localização das usinas de produção de açúcar e álcool no estado.

Em uma segunda etapa, as áreas ocupadas por cana-de-açúcar foram analisadas em relação à legislação ambiental. Assim, foi elaborado um mapa indicativo de áreas de preservação permanente, segundo a lei 4771 de 1965 (Código Florestal), tendo por base a distância de até 100 metros ao redor de cada corpo d'água, bem como as áreas com declividade maiores que 25°. Além disso, o plantio de cana-de-açúcar também foi analisado em relação às unidades de conservação e suas zonas de amortecimento (10 km), segundo a lei 9.985, de 2000, do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), terras indígenas e áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade.

Em uma terceira etapa, as áreas plantadas com cana-de-açúcar foram analisadas em relação às características fisiográficas, especificamente tipos de solos, relevo e uso e ocupação do solo. Estas áreas também foram avaliadas em relação aos aspectos sociais e econômicos dos 77 municípios produtores de cana-de-açúcar.

Em particular, foram considerados, conforme os respectivos limites municipais, o imposto sobre circulação de mercadorias e serviços (ICMS), o saldo de emprego (diferença entre emprego e desemprego) e o saldo da balança comercial (diferença entre a exportação e importação).

As médias de ICMS, saldo de empregos e saldo da balança comercial dos municípios onde existem implantadas usinas de açúcar e álcool e dos municípios onde ocorre apenas o plantio de cana-de-açúcar também foram comparadas utilizando o teste *t-student*. Para tanto,

foi considerada como hipótese nula (H_0) a igualdade entre as médias, conforme um nível de significância de 10%.

2.5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ainda que a cultura da cana-de-açúcar esteja presente no estado de Goiás há bastante tempo, observa-se um crescimento sistemático em sua área plantada. De 2005 a 2007, o incremento da área ocupada com cana foi de aproximadamente 37% (130.014,06 ha) (figura 2.4).

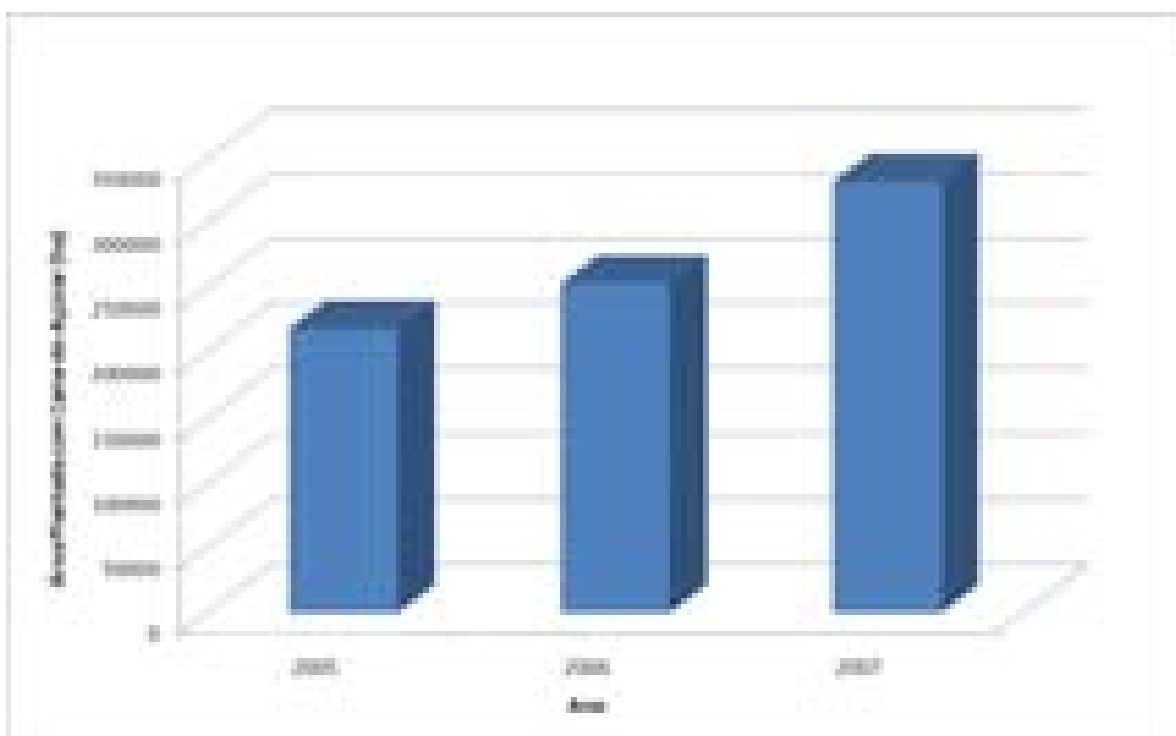


Figura 2.4 - Crescimento da área plantada com cana-de-açúcar no estado de Goiás (período de 2005-2007)

Em 2007, as áreas ocupadas com cana-de-açúcar totalizaram 347.912,20 ha, distribuídos em 77 municípios. É interessante observar que esses municípios, principalmente aqueles onde se encontram as 38 usinas de açúcar e álcool, estão situados ao longo dos principais eixos viários (figura 2.5).

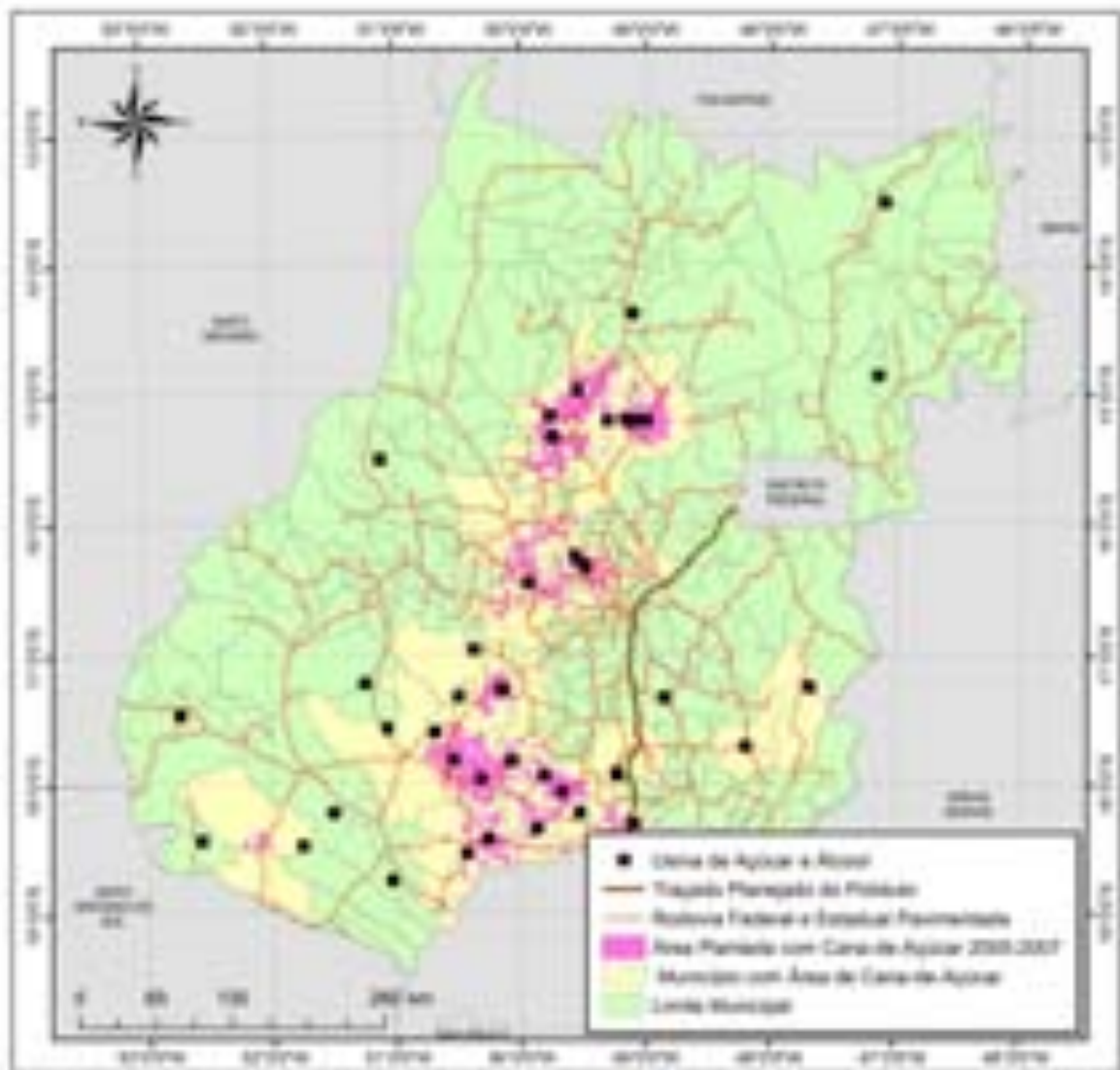


Figura 2.5 - Mapa da infraestrutura do Estado de Goiás e área ocupada com de cana-de-açúcar. Fonte: CANASAT/INPE e SIEG

Conforme mostra a figura 2.6, as áreas plantadas de cana-de-açúcar situam-se preferencialmente a uma distância de até 24 km das rodovias pavimentadas, sendo que a partir de 18 km não se observam variações significativas quanto à área acumulada.

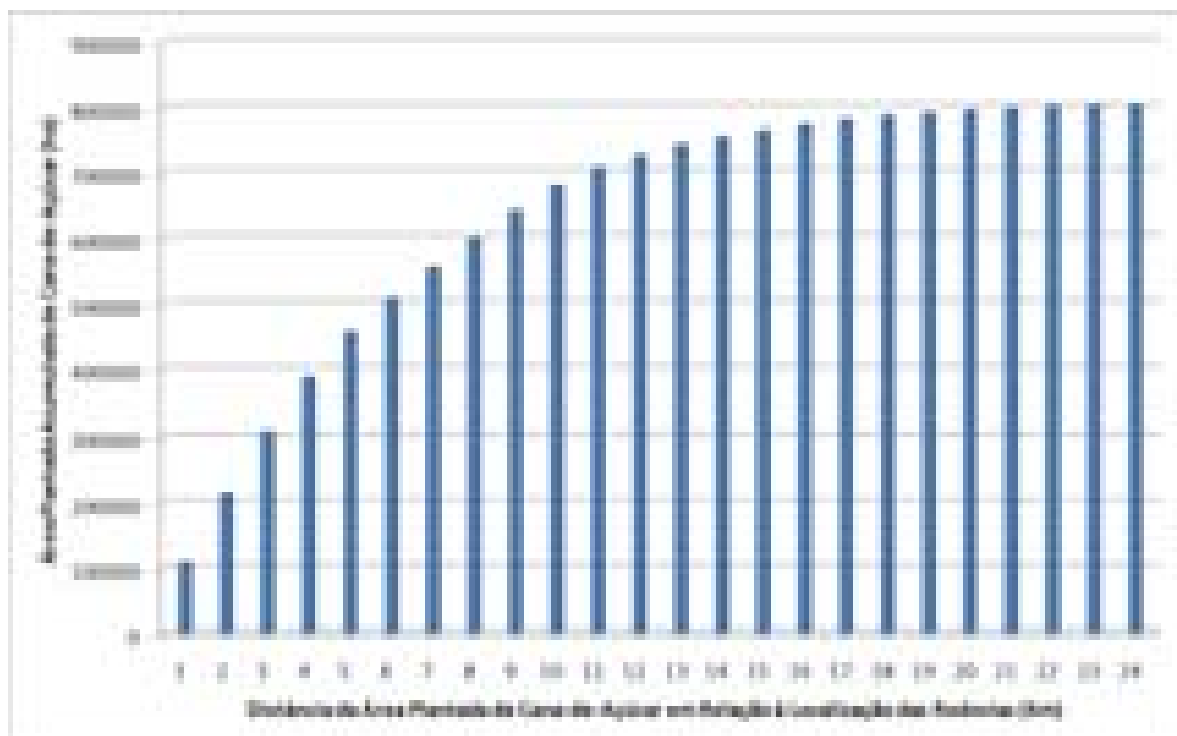


Figura 2.6 – Distribuição da área plantada com cana-de-açúcar em relação à localização das rodovias

Da mesma forma, as áreas plantadas com cana-de-açúcar tendem a se nuclearem em torno das usinas, sendo que 95% da área total ocupada com cana situam-se até 30 km de uma usina (figura 2.7).

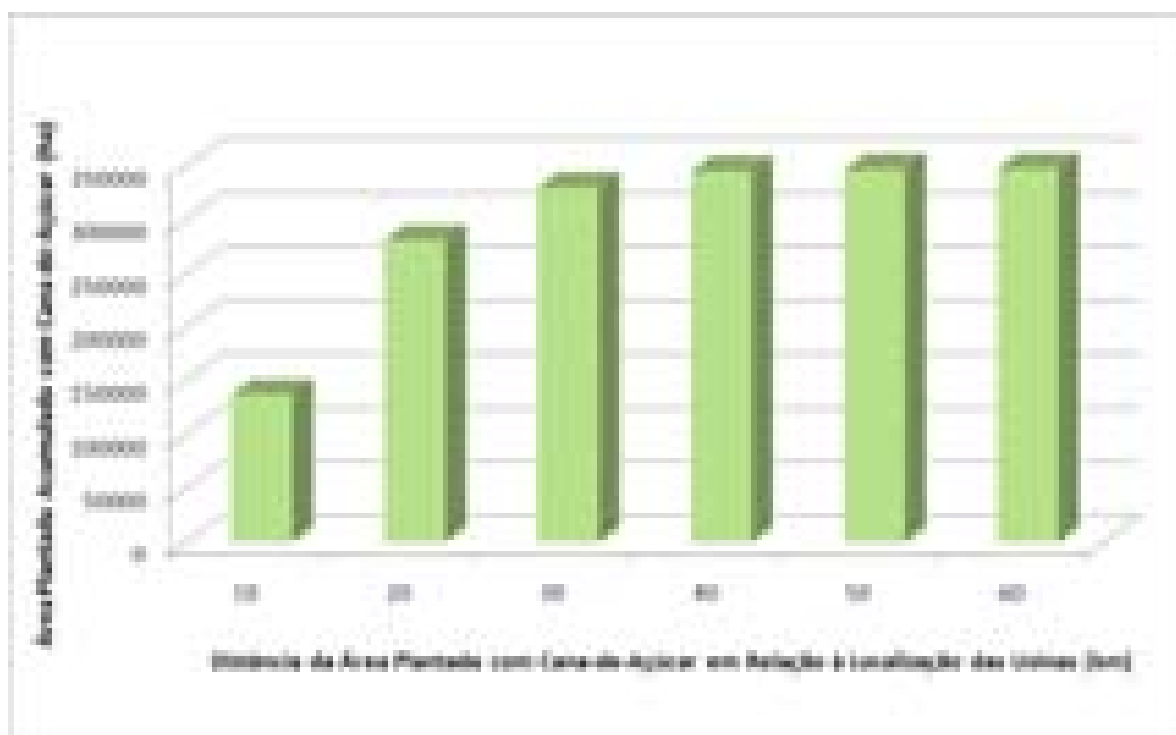


Figura 2.7 - Distribuição da área plantada com cana-de-açúcar em relação à localização das usinas

Em relação ao poliduto (planejado), as áreas plantadas de cana-de-açúcar situam-se a uma distancia de até 180 km (figura 2.8). Em fato, por ser uma estrutura recente, o poliduto ainda é uma alternativa pouco viável para o escoamento da produção. Especificamente em relação à estação de bombeamento, a ser localizada no município de Senador Canedo, 98% das usinas estarão situadas à distâncias superiores a 60 km.

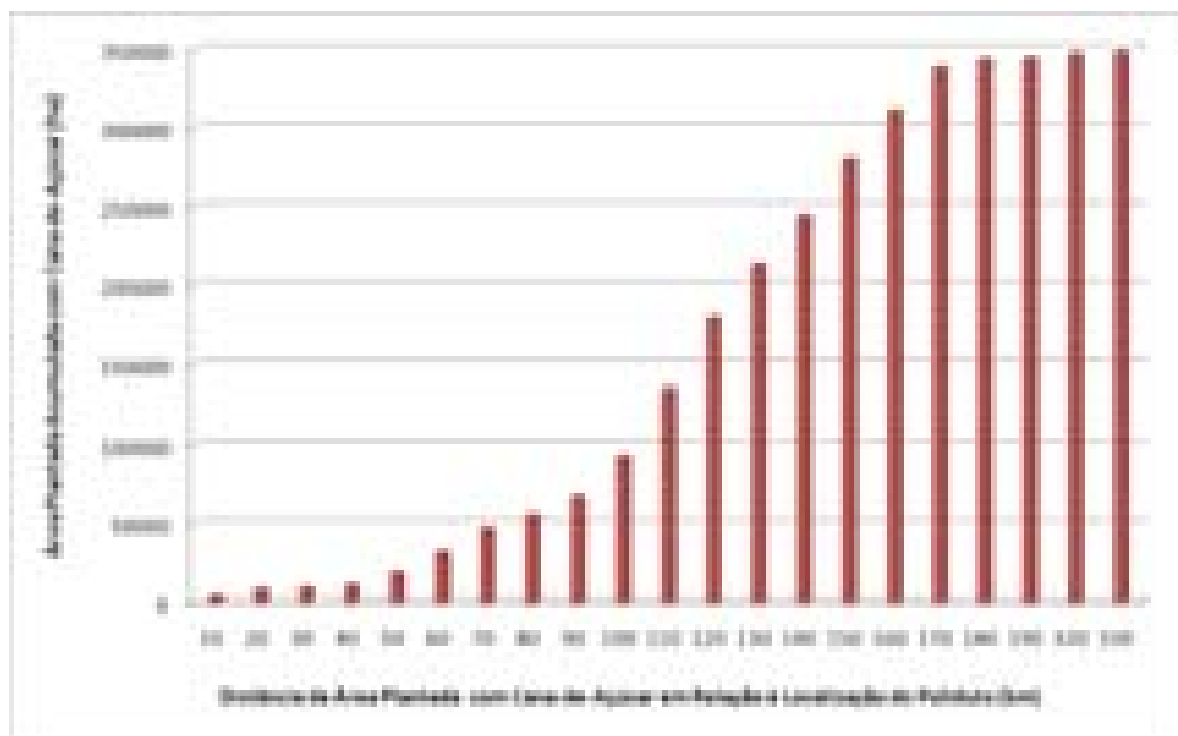


Figura 2.8 - Distribuição da área plantada com cana-de-açúcar em relação à localização do poliduto

Quanto às áreas consideradas prioritárias e/ou ambientalmente sensíveis, a cana está presente de forma significativa e aumentando sistematicamente. Em relação às unidades de conservação e terras indígenas, a cana está presente apenas nas zonas de amortecimento com distância de 10 km. Nesta, a pequena área plantada com cana-de-açúcar permaneceu constante nos anos de 2005 e 2006, sendo que em 2007 apresentou um acréscimo considerado, quase que dobrando, comparativamente aos anos anteriores. Da mesma forma, nas áreas de preservação permanente, a ocupação pela cana manteve o padrão sistemático de acréscimo ao longo dos três anos (figura 2.9).

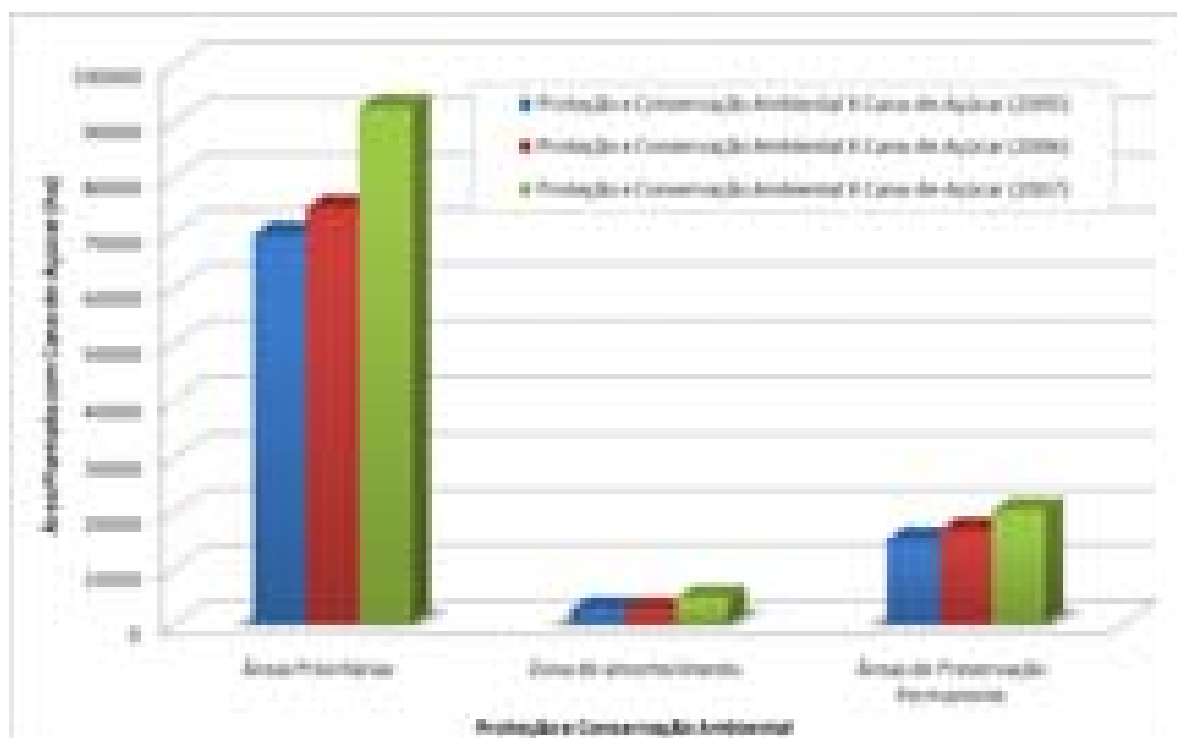


Figura 2.9 - Distribuição das áreas de plantio de cana-de-açúcar em relação às áreas de proteção e preservação ambiental

Considerando as características fisiográficas, ainda que seja possível encontrar áreas plantadas com cana-de-açúcar em praticamente todos os tipos de solos presentes em Goiás, 77% da cana plantada no estado encontram-se sobre latossolos, haja vista ser este um solo mais rico e propício para a agricultura, além de ser encontrado, caracteristicamente, em regiões mais planas (figura 2.10).

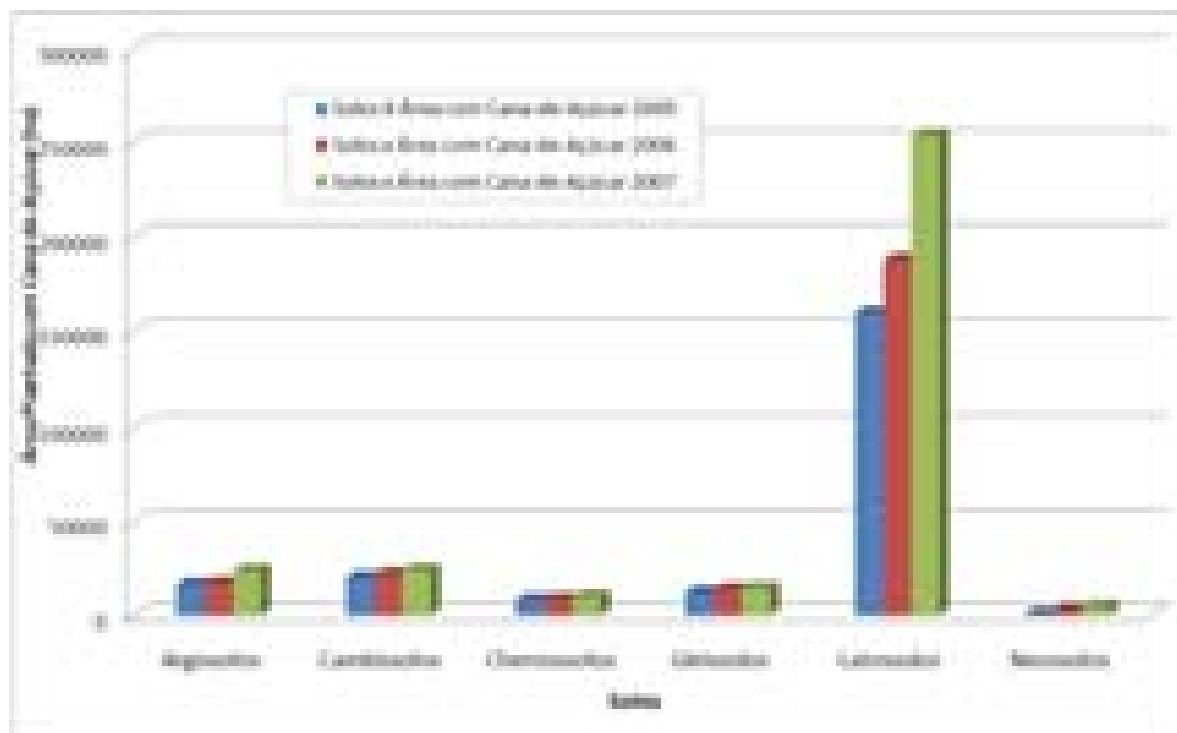


Figura 2.10 - Distribuição das áreas de plantio de cana-de-açúcar com relação ao tipo de solo

No que diz respeito ao uso e ocupação dos solos, constata-se que em torno de 78% da área com cana em 2007 coincidia com áreas mapeadas como agricultura em 2002. De fato, 66% de todo o incremento na área plantada com cana, entre 2005 e 2007, se deu sobre áreas identificadas como uso agrícola, sugerindo uma significativa substituição de cultivos. Em relação às áreas anteriormente mapeadas como pastagens e remanescentes de vegetação natural, apenas 20% e 2%, respectivamente, foram ocupadas com cana em 2007. Quanto aos incrementos sobre estas classes de uso, estes foram de 31% e 2%, respectivamente (figura 2.11).

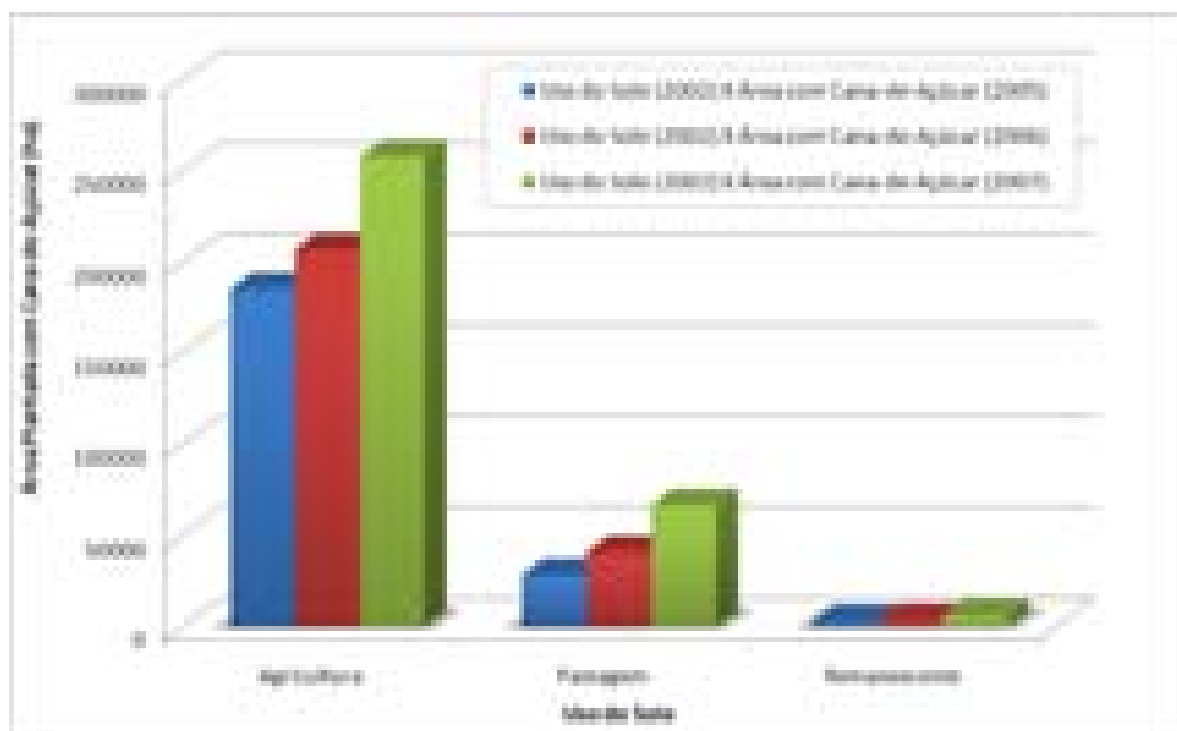


Figura 2.11 - Distribuição das áreas de plantio de cana-de-açúcar com relação ao uso do solo mapeado em 2002

Quanto ao relevo, a cana-de-açúcar concentra-se em terrenos com declividade de até 6°, como mostra a figura 12. Cerca de 97% da cana no estado de Goiás encontra-se em relevo plano, favorável à mecanização.

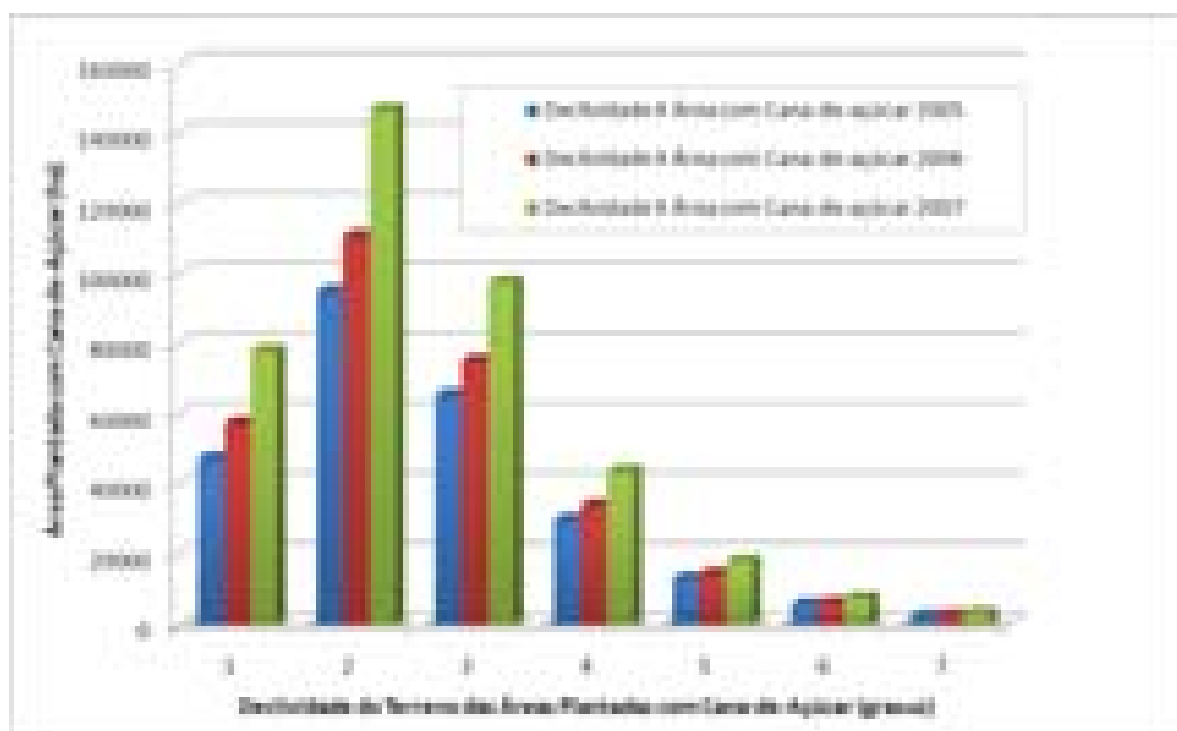


Figura 2.12 - Distribuição das áreas de plantio de cana-de-açúcar com relação à declividade

A partir de regressões lineares entre as variáveis sociais e econômicas (ICMS, saldo de emprego e saldo da balança comercial) e as variáveis de uso do solo (agricultura e pastagem) e áreas plantadas com cana, tanto nos municípios com usinas, quanto sem usinas, constata-se que a variação dos índices econômicos apresenta pouca ou nenhuma dependência em relação às classes de uso do solo consideradas (tabela 2.1).

TABELA 2.1 - RESULTADOS (r^2) DAS REGRESSOES LINEARES ENTRE AS VARIÁVEIS SOCIOECONÔMICAS E USO DO SOLO

	ICMS			SALDO EMPREGO			SALDO DA BALANÇA COMERCIAL		
	2005	2006	2007	2005	2006	2007	2005	2006	2007
Área com Cana-de-açúcar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.06	0.03	0.03
Área com Cana-de-açúcar em municípios com usinas	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.09
Pastagem	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01
Agricultura	0.15	0.12	0.15	0.08	0.18	0.38	0.30	0.06	0.01

A comparação das médias (teste t com significância de 10% e 72 graus de liberdade) relativas ao saldo de empregos, saldo da balança comercial e ICMS, indica que, à exceção do saldo da balança comercial, não há diferença significativa entre os municípios produtores de cana-de-açúcar, com ou sem usinas implantadas (tabela 2.2).

TABELA 2.2 - VALORES p (TESTE t -STUDENT) RELATIVO À COMPARAÇÃO ENTRE AS MÉDIAS ESTATÍSTICAS DE MUNICÍPIOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, COM E SEM USINAS

VARIÁVEIS	2005	2006	2007
Saldo de Empregos	0.32	1.56	1.43
Saldo da Balança Comercial	3.14	1.75	1.36
ICMS	0.76	0.60	0.68

2.6 - CONSIDERAÇÕES

Neste estudo, buscamos caracterizar e analisar a área ocupada com cana de açúcar no estado de Goiás, em relação a diferentes condicionantes fisiográficos e ambientais, bem como socioeconômicos.

Os nossos resultados confirmam a inequívoca dependência da área plantada com cana-de-açúcar em relação à infraestrutura existente e às áreas de relevo plano e solos férteis. Da

mesma forma, fica evidente o ritmo acelerado com o qual esta cultura avança em Goiás, principalmente sobre áreas já destinadas a outros usos agrícolas.

Por outro lado, não há, até o momento, contribuição significativa decorrente desta expansão sobre a economia Goiana, tanto no que diz respeito à circulação de riquezas, quanto à geração de empregos. Igualmente preocupante, é a constatação de passivos ambientais em áreas de proteção permanente e naquelas consideradas prioritárias para a conservação da biodiversidade.

Assim, é imprescindível o planejamento quanto à ocupação de novas áreas, bem como o monitoramento sistemático, por meio de dados orbitais, cartográficos e censitários das áreas já ocupadas, ou em processo de ocupação.

Neste sentido, o conjunto de informações geradas neste trabalho constitui-se em importante subsídio para a avaliação das tendências, a curto e médio prazo, quanto à expansão da cana-de-açúcar no estado de Goiás. Com base nestas tendências, se pode exercer uma governança ambiental e territorial pró-ativa, a qual permita antecipar vários problemas relacionados à indústria sucroalcooleira, já observados, tanto em Goiás, quanto em outros estados da federação.

2.7 - REFERÊNCIAS

BRAGA, M. L. S. As Políticas Desenvolvimentistas e Ambientais Brasileiras e seus Impactos na Região dos Cerrados. In: DUARTE, L. M. G.; BRAGA, M. L. S. (Org.). **Tristes Cerrados: Sociedade e Biodiversidade**. Brasília: Paralelo 15, 1998. p. 93-123.

CHAUL, N. F. Marcha para o Oeste. In: SILVA, L. S. D. (Org.) **Relações Cidade – Campo: Fronteiras**. Goiânia: Ed. UFG, 2000. p. 113-125.

INPE/CANASAT – Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/mapdsr/>>. Acesso: 10 agosto 2007.

MEDEIROS, S. A. F. Agricultura Moderna e Demandas Ambientais: O caso da Sustentabilidade da Soja nos Cerrados. In: DUARTE, L. M. G.; BRAGA, M. L. S. (Org.). **Tristes Cerrados: Sociedade e Biodiversidade**. Brasília: Paralelo 15, 1998. p. 127-145.

MOREIRA, M. L. O.; FERREIRA, N. C. Base de Dados Geográficos para a Gestão Territorial e Ambiental do Estado de Goiás. In: FERREIRA L. G. (Org.). **A encruzilhada socioambiental: biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado**. Goiânia: Ed. da UFG. 2008. p. 151-168.

NETO, W. G. Mudanças no Estado e na Política Agrícola Brasileira(1970- 1990). In: SILVA, L. S. D. (Org.) **Relações Cidade – Campo: Fronteiras**. Goiânia: Ed. UFG, 2000. p. 199-245.

PIRES, M. O. Programas Agrícolas na Ocupação do Cerrado. **Sociedade e Cultura**, Goiânia, v.3, n.1 e 2, p. 111-131, jan/dez. 2000.

RUDORFF, B. F. T., et al, **Estimativa de Área Plantada com Cana-de-Açúcar em Municípios do Estado de São Paulo por Meio de Imagens de Satélites e Técnicas de Geoprocessamento: Ano Safra 2004/2005**. INPE. São José dos Campos, 2004.

SANO, E. E., et al. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.43, n.1, p.153-156, jan. 2008a.

SANO, E. E., et al. Padrões de Cobertura de Solos do Estado de Goiás In: FERREIRA L. G. (Org.). **A encruzilhada socioambiental: biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado**. Goiânia: Ed. da UFG. 2008. p. 91-106.

SCARAMUZZA, C. A. M. et al, Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade em Goiás. In: FERREIRA L. G. (Org.). **A encruzilhada socioambiental: biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado**. Goiânia: Ed. da UFG. 2008. p. 13-66.

SILVA, S. D. Um outro olhar sobre o lugar: a Cang no tempo da fronteira. **Sociedade e Cultura**, Goiânia, v.5, n.1, jan/jun. 2002. p. 65-79.

3 - PADRÕES E IMPACTOS AMBIENTAIS DA EXPANSÃO ATUAL DO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR: UMA PROPOSTA PARA O SEU ORDENAMENTO NO BIOMA CERRADO

PATTERNS AND ENVIRONMENTAL IMPACTS OF THE CURRENT SUGARCANE EXPANSION : A PROPOSAL FOR ITS TERRITORIAL ORDAINMENT IN THE CERRADO BIOME

Resumo

Vários países do mundo atualmente estão em busca de uma matriz energética mais sustentável. Os biocombustíveis tem se apresentado como uma alternativa muito forte, com destaque para o etanol da cana-de-açúcar, haja vista sua maior produtividade. Assim, e dado o aumento da demanda pelo etanol da cana-de-açúcar no Brasil e no mundo, a expansão desta cultura tem sido inevitável, com o bioma Cerrado cotado para se tornar o maior produtor de etanol derivado da cana. Assumindo que a cana irá se expandir preferencialmente em áreas de pastagens, tanto por razões econômicas e ambientais, neste trabalho, apresentamos um ordenamento para a expansão da cana-de-açúcar no bioma Cerrado, ordenamento este que foi elaborado utilizando técnicas de análises espaciais e geoprocessamento, levando em conta a distribuição atual da cana-de-açúcar, seus fatores condicionantes na paisagem (relevo, uso da terra, solos, infraestrutura existente) e a legislação ambiental. Como resultado, obtivemos um cenário onde a expansão potencial corresponde à 5,7 vezes a área existente, em conformidade à legislação ambiental e sem que haja comprometimento de outra culturas.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar. Etanol. Ordenamento territorial. Bioma Cerrado.

Abstract

Many different countries in the world are currently seeking for more efficient and sustainable sources of energy. The biofuels are certainly the most attractive alternative, with emphasis on the sugarcane derived ethanol for its high productivity. Thus, and considering the increasing demand for ethanol in Brazil and elsewhere, sugarcane expansion is unavoidable, particularly in the Cerrado biome. Assuming that the sugarcane will expand preferentially over cultivated pastures, for both economic and environmental reasons, in this work we propose, through spatial analysis techniques, an ordainment for this expansion, based on the current sugarcane distribution and landscape constraint factors (such as topography, land-use, soil type, available infrastructure, etc), as well as in compliance with the environmental legislation. Such approach yielded a potential expansion area sixfold the area already in use, in harmony with the environment and without compromising other agricultural crops.

Keywords: Sugarcane. Ethanol. Territorial ordainment. Cerrado biome.

3.1 - INTRODUÇÃO

Com a busca incessante por uma matriz energética mais sustentável, devido à escassez do petróleo e às mudanças climáticas, tem ocorrido um significativo aumento de pesquisas relacionadas aos biocombustíveis. A União Europeia determinou para 2010 a obrigatoriedade da mistura de 5,75% de etanol em todos os países-membros, e de pelo menos 10% para todos os combustíveis veiculares até 2020. Como apenas menos da metade da meta para 2010 foi atingida, a EU terá que aumentar sua produção ou até pensar em importação (Ponti e Gutierrez, 2009; MDIC, 2008). Nos EUA, o *Energy Policy Act* de 2005 estabeleceu meta de 7,5 bilhões de galões para o consumo nacional de biocombustíveis (mais comumente o etanol) até 2012. Outros países, como Canadá, Austrália, Japão, China, Coreia, Indonésia e Índia, também possuem propostas de adição de etanol na gasolina (NEVES E CONJERO, 2007; JANK, 2007; UNICA, 2010). No Brasil a mistura obrigatória é de até 25% de etanol em toda a gasolina comercializada (MDIC, 2008).

Como a cana-de-açúcar apresenta maior produtividade de etanol, comparativamente ao milho e a beterraba (GOLDEMBERG e GUARDABASSI, 2009; MASIERO e LOPES, 2008; JANK, 2007; JANK, 2010), o Brasil se posiciona como o maior produtor e exportador mundial de etanol de cana-de-açúcar. Segundo Goldemberg (2008), o programa de etanol no Brasil (o qual já se encontra consolidado) tem substituído aproximadamente 1,5% de toda a gasolina usada no mundo, e este número pode dobrar com o curso da expansão. Se a taxa atual de crescimento da produção de etanol no Brasil continuar e se outros países produtores de cana-de-açúcar (Índia, China, Tailândia, Paquistão, México, Colômbia e África do Sul) seguirem o modelo adotado pelo Brasil, é possível que até 10% de toda a gasolina usada no mundo possa ser substituída nos próximos 15-20 anos.

A expansão do setor sucroalcooleiro nos últimos anos também resultou em uma maior demanda por áreas para cultura de cana-de-açúcar. Para que essa expansão ocorra de forma ordenada no país, minimizando problemas em relação ao meio ambiente e também em relação à segurança alimentar, o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA, em parceria com outros ministérios, coordenou uma pesquisa, realizada por meio de um consórcio entre órgãos governamentais e universidades, a qual teve como resultado o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar no Brasil - ZAE, aprovado e regulamentado na forma de um decreto, o qual determina ao Conselho Monetário Nacional o estabelecimento

de normas para as operações de financiamento ao setor sucroalcooleiro, nos termos do zoneamento (BRASIL, 2009).

Segundo Manzatto et al. (2009), os biomas Pantanal e Amazônia foram excluídos do zoneamento, haja vista as respectivas fragilidades ecológica e às suas características ambientais, pouco favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar. Foram excluídas também as terras com declividade superior à 12%, observando-se a premissa da colheita mecânica e sem queima para as áreas de expansão; as áreas com cobertura vegetal nativa; as áreas de proteção ambiental; as terras indígenas; remanescentes florestais; dunas; mangues; escarpas e afloramentos de rocha; reflorestamentos; as áreas urbanas e de mineração.

Diante desses parâmetros adotados pelo ZAE da cana-de-açúcar, as áreas qualificadas como as mais indicadas para expansão compreendem aquelas atualmente em produção agrícola intensiva, produção agrícola semi-intensiva, lavouras especiais (perenes, anuais) e pastagens. Esse estudo foi feito com base no mapeamento dos remanescentes florestais em 2002, realizado pelo Probio-MMA (SANO et al, 2007) . Ainda de acordo com Manzatto et al. (2009), estima-se que o país dispõe de cerca de 64,7 milhões de hectares de áreas aptas à expansão do cultivo com cana-de-açúcar, sendo que destes, 37,2 milhões de hectares são áreas cultivadas com pastagens, em 2002.

O Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES), que atua como principal agente financiador da expansão dos biocombustíveis e do setor sucroalcooleiro, em particular, aponta, em coerência com a sua política de investir em atividades ambientalmente sustentáveis, para uma expansão sobre áreas degradadas, ao mesmo tempo em que seja capaz de promover a recuperação ambiental de matas ciliares, nascentes e áreas de Reserva Legal, (MELLO; CANEPA; COSTA., 2010). Contudo, duas grandes questões sobre a expansão da cana-de-açúcar no Brasil, bastante preocupantes, precisam ser melhor estudadas: a) a área apresentada pelo ZAE como potencial para expansão, encontra-se preferencialmente no bioma Cerrado e b) pouco se sabe sobre a efetiva localização das pastagens degradadas no bioma.

Neste sentido, este artigo analisa em detalhe a atual distribuição da cana-de-açúcar no bioma Cerrado, bem como propõe, à luz dos parâmetros do ZAE Brasil e da infraestrutura existente, um ordenamento para a expansão da cana-de-açúcar no bioma Cerrado sobre as áreas de pastagens cultivadas.

3.2 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BIOMA CERRADO

Considerado o segundo maior bioma brasileiro, o Cerrado, está distribuído em 10 estados brasileiros, mais o Distrito Federal, totalizando uma área de 204,7 milhões de hectares. Conforme mapeamento realizado no âmbito do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica (PROBIO), com base em imagens Landsat – TM de 2002, 60,5% da área do bioma ainda estavam cobertos por vegetação nativa, enquanto as áreas de agricultura e pastagem ocupam cerca de 10% e 29% da área total do bioma, respectivamente (SANO et al., 2007; SANO et al., 2010).

Como se pode observar na figura 3.1, uma área de aproximadamente 32.700 km², até o ano de 2007, era ocupada com plantações de cana-de-açúcar, área esta que compreende principalmente a região centro sul do bioma, em particular as porções do bioma localizadas no estado de São Paulo.

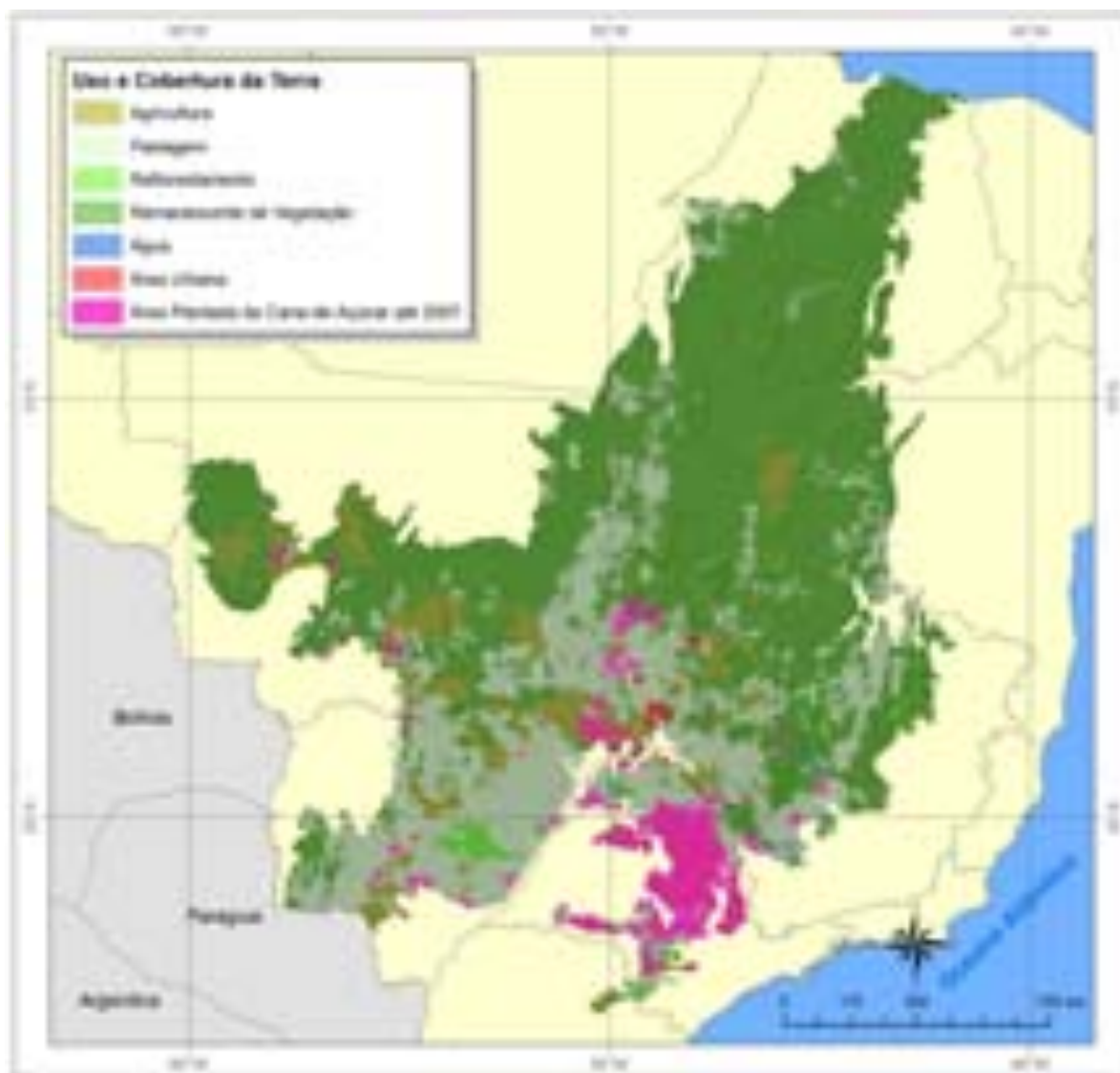


Figura 3.1 – Uso e cobertura da terra no bioma Cerrado, conforme dados PROBIO, com destaque para as áreas ocupadas com cana-de-açúcar (dados CANASAT).

O mapeamento da cultura de cana-de-açúcar tem sido realizado, de forma sistemática, no âmbito do projeto CANASAT, uma iniciativa do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em conjunto com a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz (Esalq/USP) e o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC). O principal objetivo desse projeto é mapear as áreas cultivadas com cana-de-açúcar com base em imagens de sensoriamento remoto ópticas passivas (ex. CBERS CCD). O CANASAT teve início com o mapeamento das áreas de cana do estado de São Paulo, para as safras 2003/04 e 2004/05. Posteriormente, já na safra de 2005/06, o mapeamento foi estendido para os estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Paraná, os quais são os principais produtores de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil (RUDORFF e SUGAWARA,

2007; SILVA et al., 2009). Todos os mapeamentos e dados de área cultivada estão disponibilizados no site <www.dsr.inpe.br/canasat>.

As áreas com cultura de cana-de-açúcar no Bioma Cerrado concentram-se nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, conforme pode ser visto na figura 3.2.



Figura3.2 – Distribuição da área plantada com cana-de-açúcar conforme os limites estaduais abrangidos pelo bioma Cerrado. Fonte (CANASAT)

Em relação às principais classes de cobertura e uso da terra, aproximadamente 72,08% e 23,10% da área plantada com cana-de-açúcar, ou seja, 23.172,09 e 7.426,33 km², coincidiam com áreas ocupadas por agricultura e pastagem, respectivamente, sendo que 3,35% (1.075,69 km²) situavam-se sobre áreas mapeadas em 2002 como remanescentes de Cerrado (figura 3.3).

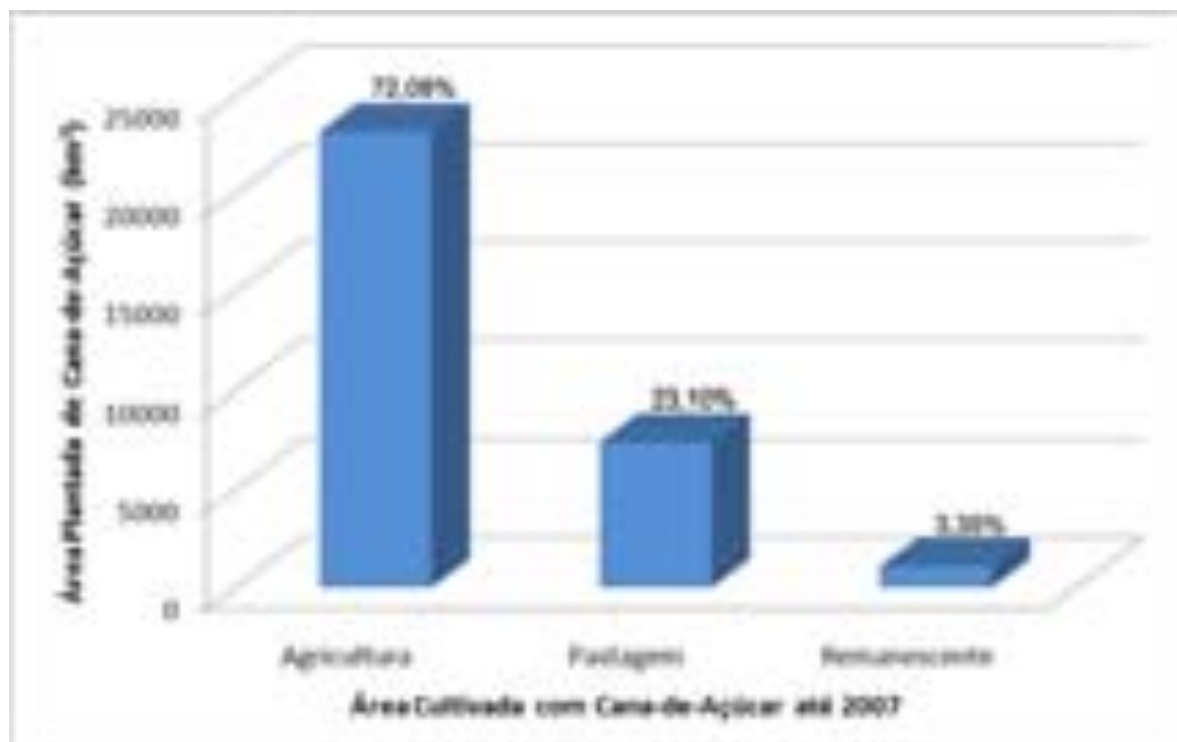


Figura 3.3 – Área cultivada com cana-de-açúcar em relação às principais classes de cobertura e uso da terra encontradas no bioma Cerrado (conforme mapeamento PROBIO)

Da mesma forma, ressalta-se a presença de cana-de-açúcar nas chamadas áreas prioritárias para conservação da biodiversidade (SCARAMUZZA et al., 2008; MACHADO; PAGLIA; FONSECA, 2010; MMA, 2007) (10,42% ou 3408.53 km²) e no entorno (até 10 km) das unidades de conservação (29% ou 9052.19 km²). Outro impacto observado diz respeito à pronunciada ocorrência de incêndios em áreas plantadas com cana-de-açúcar, dos quais resultam significativas emissões de aerossóis e gases de efeito estufa (LONGO et al., 2009). Em 2007, dos 6058 focos de calor detectados em áreas de agricultura, 47,35% (2869) coincidiram com áreas mapeadas como cana-de-açúcar. Em relação às áreas queimadas em 2007, conforme mapeamento obtido a partir do produto MODIS MCD45A1 (ROY et al. 2005, BOSCHETTI et al. 2006), aproximadamente 1.236,53 km² de áreas cultivadas com cana-de-açúcar (0,96%) foram queimadas, de um total de 128.501,20 km² de cicatrizes de queimadas encontrados sobre o conjunto de remanescentes e áreas convertidas do bioma Cerrado.

3.3 - CENÁRIO PARA A EXPANSÃO DA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR NO BIOMA CERRADO

Como observado em Ribeiro; Ferreira, L. Ferreira, N., (2010), a presença da cana-de-açúcar está condicionada a certos fatores da paisagem, bem como à existência de

infraestrutura. Especificamente em relação ao estado de Goiás, observou-se que os 3.479,12 km² plantados com cana estão preferencialmente distribuídos sobre latossolos (77% de toda a área plantada), com topografia plana a levemente ondulada (97 % de toda a área plantada) e situados até 30 km das usinas de álcool e açúcar (95% de toda a área plantada).

Com base nestes resultados, bem como nos critérios preconizados no ZAE Brasil, procedeu-se à identificação das áreas favoráveis à expansão do cultivo da cana-de-açúcar, por meio da intersecção geográfica entre todas as variáveis de interesse, considerando a expectativa de que esta ocorra principalmente sobre áreas de pastagens, como sugerem Mello; Canepa; Costa, (2010) (tabela 3.1).

TABELA 3.1 – PARÂMETROS E CRITÉRIOS UTILIZADOS NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS FAVORÁVEIS À EXPANSÃO DO CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO BIOMA CERRADO.

Variáveis Utilizadas	Parâmetros
Distância para proteção de rodovias	>= 100m
Distância para proteção de Áreas de Preservação Permanente	>= 100m
Declividade	<= 6°
Distância para proteção de remanescente	>= 200m
Distância para proteção de áreas urbanas e outras localidades	>= 1km
Distância para proteção de aeroportos	>= 6km
Distância para proteção de Unidades de Conservação	>= 10km
Distância de usinas de açúcar e álcool	<= 30km
Solo	= Latossolo
Uso do Solo	= Pastagem

Conforme pode ser observado na figura 3.4, uma área aproximada de 187.682,8 km² (33,70% da totalidade de pastagens cultivadas no bioma Cerrado) apresenta-se propícia à expansão da cana-de-açúcar, considerando a legislação ambiental vigente (Brasil, 1965), a existência de infraestrutura e proximidade das usinas em funcionamento e planejadas, e atributos da paisagem variando dentro de certos limites.



Figura 3.4 - Áreas de pastagens cultivadas propícias à expansão do cultivo de cana-de-açúcar no bioma Cerrado

Em relação às três categorias de pastagens identificadas por Ferreira et al. (2010), em função da produtividade primária líquida, a maior parte desta expansão (50,72%) situa-se nas pastagens de qualidade intermediária (tipo 2), enquanto que aproximadamente 24% e 26% das áreas de pastagens favoráveis ao aumento das lavouras de cana situam-se sobre pastagens de qualidade superior e qualidade inferior, respectivamente.

Esta área de expansão potencial, preferencialmente concentrada nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais (figura 3.5), corresponde a 5,7 vezes a área ocupada com cana até 2007. Assim, é interessante observar que um aumento da lotação bovina no bioma Cerrado, das atuais 1,5 cabeças por hectare (considerando um rebanho de 8.869.738 de cabeças) (IPEADATA, 2010) para 2,2 cabeças por hectares, viabilizaria a expansão da cultura

de cana-de-açúcar, sem comprometer o rebanho bovino atual, a agricultura e os remanescentes de vegetações nativas existentes no cerrado.

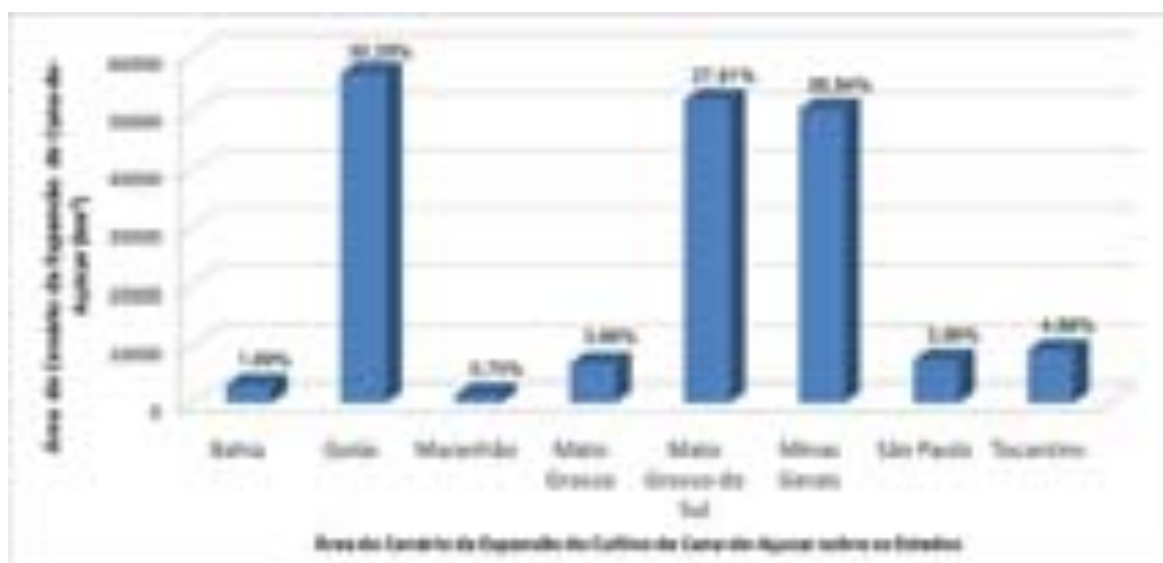


Figura 3.5 – Área do cenário de expansão do cultivo de cana-de-açúcar em relação à área de Cerrado nos estados.

3.4 - CENÁRIO & REALIDADE

Conforme a figura 3.6, o incremento na área plantada de cana de açúcar entre 2007 e 2008 (7.265,83 km²) e entre 2008 e 2009 (3.988,65 km²) ocorreu principalmente no estado de São Paulo, seguido de Goiás.

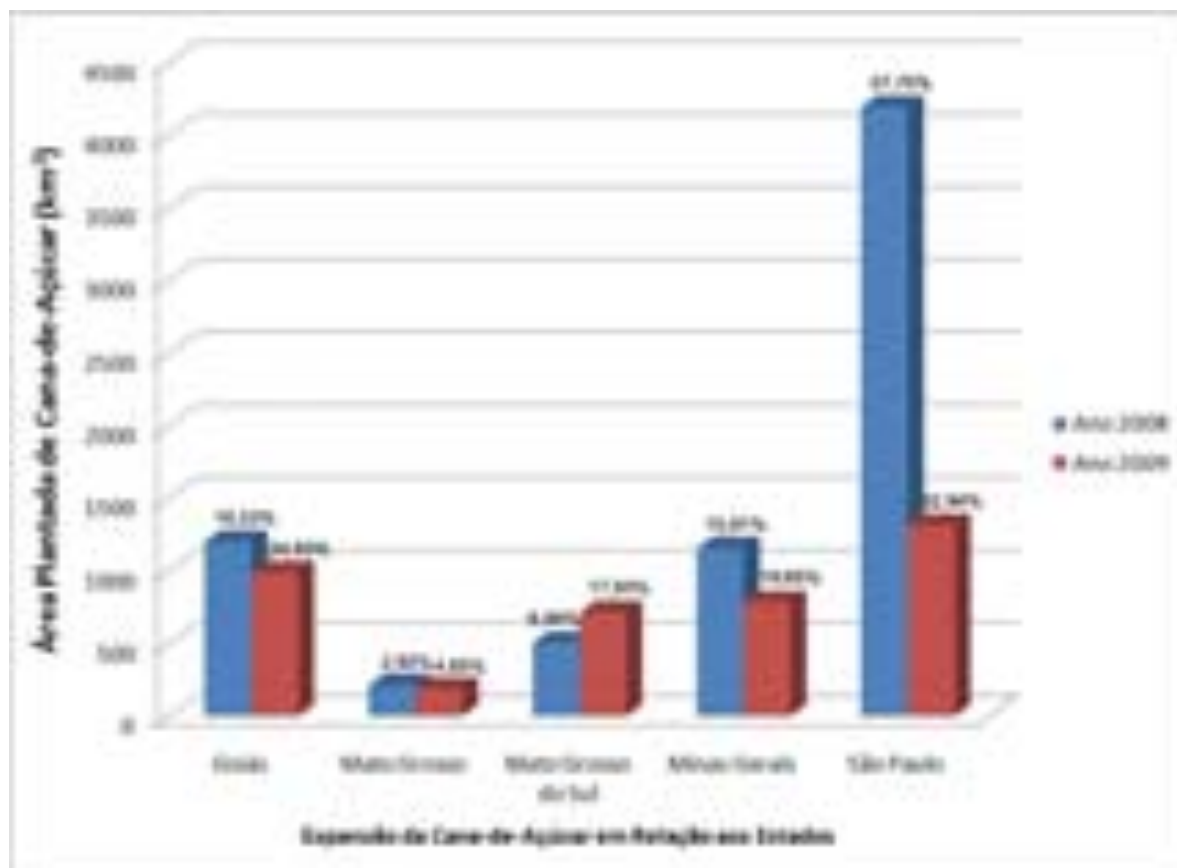


Figura 3.6- Incremento na área plantada com cana-de-açúcar, para os interstícios de 2007-2008 e 2008-2009, segundo a área dos estados produtores localizada no bioma Cerrado

É interessante observar que, para os períodos 2007-2008 e 2008-2009, a maior parte dos incrementos em área (62,71% e 45,09%) ocorre sobre as áreas identificadas como agricultura em 2002, indicando pronunciada substituição de culturas (figura 7). Em relação às áreas de pastagens mapeadas como favoráveis à expansão, estas concentram 21,61% e 37,12% do aumento em área nos dois períodos analisados, enquanto que as pastagens em geral concentram percentuais ligeiramente maiores (30,28% e 46,74%), o que sugere o avanço da cana sobre pastagens pouco apropriadas, seja do ponto de vista ambiental (ex. solos menos férteis etc.), seja do ponto de vista legal (ex. aumento da cana sobre áreas de proteção permanente). Também é importante considerar os pequenos incrementos (3,38% e 5,59%, respectivamente) sobre áreas mapeadas como remanescentes em 2002, conforme ilustra a figura 3.7.

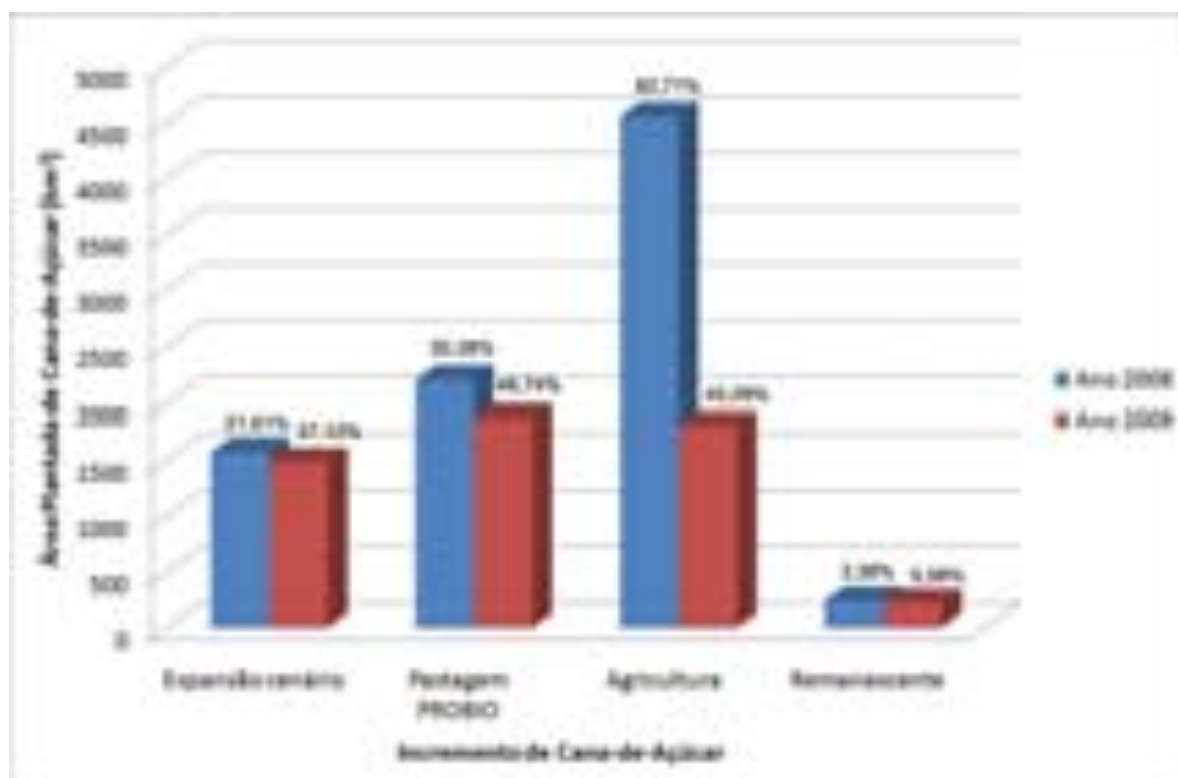


Figura 3.7 – Proporção do aumento da área plantada com cana-de-açúcar em relação às áreas de pastagens mapeadas como potencialmente favoráveis e em relação às principais classes de cobertura e uso da terra, conforme mapeamento PROBIO

Ainda em relação à cobertura vegetal nativa remanescente, 0,70% e 0,50% do incremento na área plantada com cana-de-açúcar tangencia ou coincide, respectivamente com os alertas de desmatamentos mapeados pelo Sistema Integrado de Alerta de Desmatamentos (SIAD Cerrado) (FERREIRA et al., 2007; ROCHA et al., 2010) para os períodos de 2007-2008 e 2008-2009, confirmando que, ainda que de forma pouco significativa, a expansão da cana-de-açúcar também está ocorrendo em detrimento direto ao desmatamento de áreas ainda preservadas de Cerrado (figura 3.8).

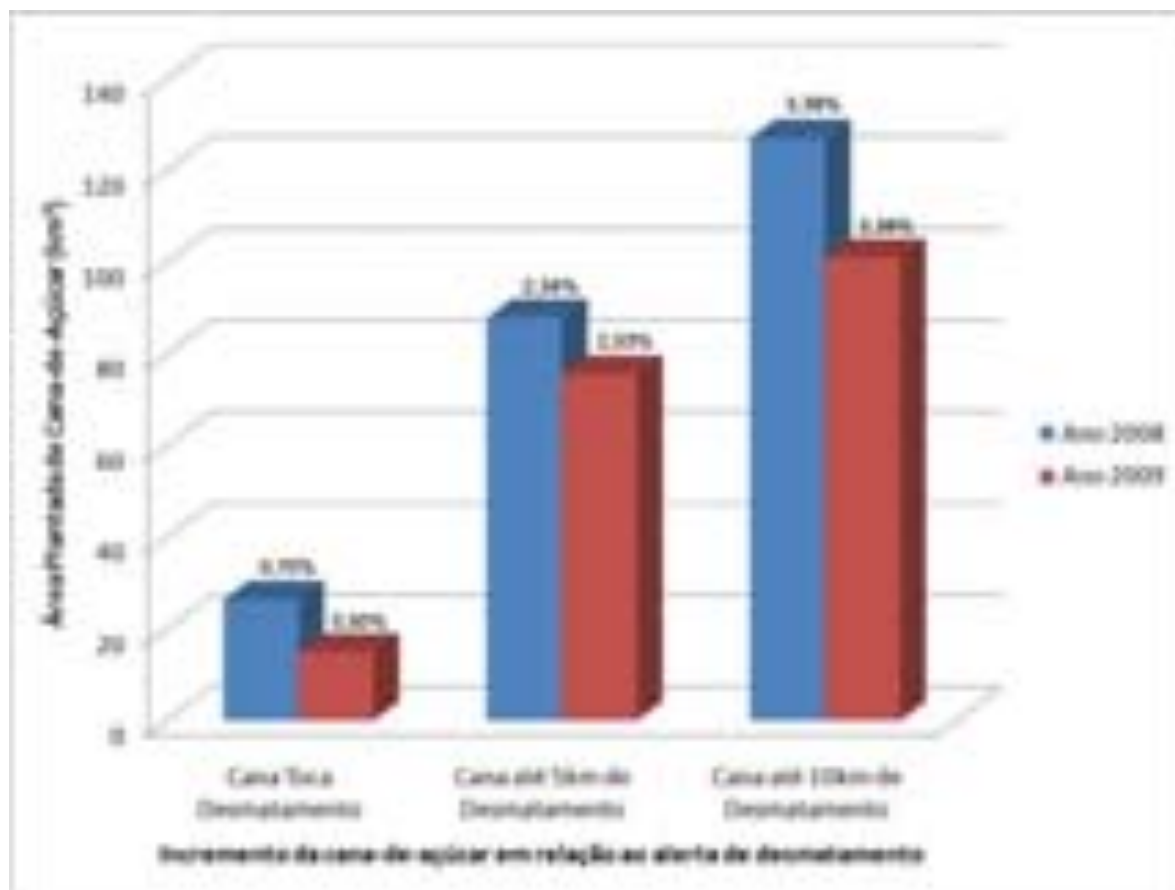


Figura 3.8 – Relação entre os incrementos nas áreas ocupadas com cana-de-açúcar e os alertas de desmatamentos mapeados pelo SIAD Cerrado nos períodos de 2007-2008 e 2008-2009

3.5 - CONSIDERAÇÕES

Este estudo buscou obter um retrato, tão detalhado quanto possível, sobre a presença atual da cana-de-açúcar no bioma Cerrado, bem como sobre a expansão potencial desta cultura. Conforme os nossos resultados demonstram, a presença da cana no Cerrado apresenta alguns impactos ambientais negativos, em função da proximidade com áreas protegidas ou prioritárias à conservação da biodiversidade, associação com queimadas e expansão sobre áreas remanescentes.

Em relação à expansão da área plantada com cana-de-açúcar, esta pode ser de até seis vezes a área ocupada atualmente, conforme os critérios definidos pelo Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar no Brasil – (ZAE Brasil) e a expectativa de que esta expansão seja restrita às áreas de pastagens. Assim, os impactos ambientais serão minimizados, passíveis de controle e assimiláveis a médio e longo prazo. Da mesma forma, os impactos sobre a atividade pecuária também podem ser compensados, caso a opção de ocupação preferencial de pastagens degradadas seja efetivamente buscada, bem como ocorra

o aumento da produtividade bovina. De fato, caso a lotação bovina aumente das atuais 1,5 para 2,2 cabeças por hectare, o protagonismo internacional que se busca em relação ao etanol não comprometerá o papel do Brasil no setor pecuário, cujo rebanho bovino é o maior do mundo (CNPQ, 2009).

Por outro lado, ao validar-se este cenário de expansão, confrontando-o com os incrementos em área plantada entre 2007 e 2008 e entre 2008 e 2009, observa-se que a cana-de-açúcar avança principalmente sobre áreas já cultivadas e até mesmo sobre áreas remanescentes. Em relação à substituição de pastagens, esta ocorre, em parte, sobre áreas pouco favoráveis, tanto do ponto de vista legal, quanto ambiental.

A expectativa é de que tais constatações possam servir de alerta, induzindo a um maior monitoramento e fiscalização. Como se demonstra neste estudo, por meio da análise integrada de imagens de sensoriamento remoto, dados censitários e demais bases cartográficas disponíveis, tanto este monitoramento, quanto uma efetiva governança territorial são possíveis, em curto prazo e à baixos custos. Só assim pode-se esperar a produção de biocombustíveis em larga-escala, sem o comprometimento da biodiversidade remanescente e sem o comprometimento da produção de alimentos. Seguindo-se com rigor a legislação ambiental, e tendo por referência critérios técnico-científicos e de desenvolvimento sustentável, certamente a expansão sucroalcooleira em curso trará impactos positivos ao bioma Cerrado, principalmente no que diz respeito à infraestrutura, hoje insuficiente para atender às demandas do desenvolvimento regional.

3.6 - REFERÊNCIAS

BOSCHETTI, L. et al., 2006, **A sampling method for the retrospective validation of global burned area products**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, **44**, pp. 1765-1774.

BRASIL. **LEI Nº 4.771, DE 15 DE SETEMBRO DE 1965**. Institui o novo Código Florestal. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 16 set. 1965. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771compilado.htm> . Acesso: 10 de setembro de 2010.

BRASIL. **DECRETO Nº 6.961, DE 17 DE SETEMBRO DE 2009.**

Aprova o zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar e determina ao Conselho Monetário Nacional o estabelecimento de normas para as operações de financiamento ao setor sucroalcooleiro, nos termos do zoneamento. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 set. 2009. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Decreto/D6961.htm>. Acesso: 10 de setembro de 2010.

CNPC - Conselho Nacional de Pecuária de Corte - National Beef Cattle Council (2009). **Balanco de Pecuária Bovídea de Corte: 1994-2009.** Disponível em:<<http://www.cnpc.org.br/arquivos/Balanco.xls>>. Acesso: 01 de novembro de 2010.

FERREIRA, L. G. et al. **Cultivated pastures in the Brazilian savanna: biophysical characteristics and fire occurrence as observed by moderate resolution satellite.** International Journal of Remote Sensing, 2010 (em processo de revisão).

FERREIRA, N. C. et al. **An operational deforestation mapping system using MODIS data and spatial context analysis.** International Journal of Remote Sensing (Print), v. 28, p. 47-62, 2007.

GOLDEMBERG, J ; GUARDABASSI, P . **Are biofuels a feasible option?.** Energy Policy, v. 37, p. 10-14, 2009.

GOLDEMBERG, J. **The Brazilian biofuels industry.** Biotechnology for Biofuels, v. 1/6, p. 1-6, 2008.

INPE/CANASAT. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/mapdsr/>>. Acesso: 10 de agosto de 2007.

IPEADATA. Disponível em: < <http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso:

JANK, M. S. et al. **Dinâmica e perspectiva dos Biocombustíveis no Brasil e no Mundo.** ICONE. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.iconebrasil.com.br/arquivos/noticia/1266.pdf>>. Acesso em: 20 de setembro de 2010.

JANK, M. S. **AS TENDÊNCIAS DOS BIOCOMBÚSTÍVEIS NO BRASIL** *Diálogos Capitais 2010: O Brasil e a Energia do Amanhã*. FAAP. São Paulo, 2010. Disponível em: <www.unica.com.br> . Acesso: 20 de setembro de 2010.

LONGO, K. et al. **Regional representativity of AERONET observation sites during the biomass burning season in South America determined by correlation studies with MODIS Aerosol Optical Depth**. *Journal of Geophysical Research*, v. 114, p. D13301, 2009.

MACHADO, R. B.; PAGLIA A. P.; FONSECA R. L. **Áreas e paisagens prioritárias no Cerrado, Pantanal e Amazônia**. Conservação Internacional – Brasília - DF. Disponível em:<
http://www.conservation.org.br/publicacoes/files/6_Areas_Cerrado_Pant_Amaz_Paglia.pdf>.
Acesso: 08 de outubro de 2010.

MANZATTO C. V. et al. (Org.). **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar** — Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2009. 55 p.: il.

MASIERO, G. ; LOPES, H. **Etanol e biodiesel como recursos energéticos alternativos: perspectivas da América Latina e da Ásia**. *Revista Brasileira de Política Internacional*, v. 2, p. 60-79, 2008.

MELLO, E. B.; CANEPA, E. L., COSTA, M. M. **Visões Ambientais para o Financiamento de Biocombustíveis no Brasil** Departamento de Meio Ambiente do BNDES. Disponível em:<
http://www.conservation.org.br/publicacoes/files/15_Finaciamento_Biocombust_BNDES.pdf
>. Acesso: 13 de outubro de 2020.

MDIC - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR **Brasil, EUA e UE divulgam relatório sobre especificação de biocombustíveis. 2008** *Disponível em:*<
<http://www.mdic.gov.br/portalmDIC/sitio/interna/noticia.php?area=1¬icia=7977>>. Acesso: 11 de outubro de 2010.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **PORTARIA MMA Nº 09, de 23 DE JANEIRO DE 2007**. Reconhece como áreas prioritárias para a conservação, utilização

sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira as áreas que menciona. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 24 jan. 2007.

NEVES, M. F. ; [CONEJERO, M. A.](#) . **Sistema Agroindustrial da Cana: Cenários e Agenda Estratégica**. Revista de Economia Aplicada, v. 11, p. 587-604, 2007.

PONTI L.; GUTIERREZ A. P. **Overview on Biofuels From a European Perspective** . Bulletin of Science Technology & Society 2009 29: 493

[RIBEIRO, N. V.](#) ; FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C. **Expansão sucroalcooleira no estado de Goiás: uma análise exploratória a partir de dados sócio-econômicos e cartográficos**. Geografia (Rio Claro. Impresso), v. 35, p. 331-344, 2010.

ROY, D. P. et al. 2005, **Prototyping a global algorithm for systematic fire affected area mapping using MODIS time series data**. *Remote Sensing of Environment*, **97**, pp. 137–162.

RUDORFF, B. F. T.; [SUGAWARA, L. M.](#) . **Mapeamento da cana-de-açúcar na Região Centro-Sul via imagens de satélite**. Informe Agropecuário (Belo Horizonte), v. 28, p. 79-86, 2007.

SANO, E. E. et al. **Mapeamento de cobertura vegetal do Bioma Cerrado: estratégias e resultados**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 33p. – Documentos Cerrados, ISSN 1517-5111;190

SANO, E. E. et al. **Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil**. Environmental Monitoring and Assessment (Print), v. 166, p. 113-124, 2010.

SCARAMUZZA, C. A. M. et al. **Áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade em Goiás**. In: Ferreira, L.G.. (Org.). A encruzilhada socioambiental: biodiversidade, economia e sustentabilidade no Cerrado. Goiânia, GO: Editora da Universidade Federal de Goiás, 2008, v. , p. 13-66.

SILVA, W. F. et al. **Análise da expansão da área cultivada com cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil: safras 2005/2006 a 2008/2009**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2009, Natal - RN. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos : INPE, 2009. p. 467-474.

UNICA. **Coréia do Sul quer aumentar em mais de quatro vezes parcela de bioenergia na matriz até 2030.** 2010. Disponível em: <
<http://www.unica.com.br/noticias/show.asp?nwsCode=%7BB08DE801-2404-4193-8A42-62F355A70973%7D>> Acesso: 20 de setembro de 2010.

4 - AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO DO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BIOMA CERRADO UTILIZANDO MODELAGEM DINÂMICA DA PAISAGEM

ASSESSING SUGARCANE EXPANSION IN THE CERRADO BIOME USING DYNAMIC MODELING OF THE LANDSCAPE

Resumo

Devido à crescente demanda por fontes alternativas de energia renováveis capazes de minimizar a emissão de gases de efeito estufa, a produção de etanol vem aumentando no Brasil, demandando grandes extensões de terra, principalmente do Cerrado brasileiro, para o cultivo de cana-de-açúcar. Por outro lado, a expansão do cultivo da cana-de-açúcar no bioma Cerrado, sem as devidas normatizações e planejamento, pode resultar em significativas consequências negativas para a biodiversidade, os recursos hídricos e os serviços ambientais em geral. Especificamente, este trabalho, a partir de uma modelagem dinâmica, que considera tanto as tendências da expansão em curso, quanto à ocorrência de áreas favoráveis à presença da cana, se propõe a avançar sobre o conhecimento de áreas potencialmente favoráveis à expansão canavieira no bioma Cerrado. Os nossos resultados indicam, até 2035, um aumento de 500% na área plantada com cana atualmente, o qual poderá comprometer em até 45% as áreas agrícolas do bioma Cerrado, cujo resultado será o predomínio da monocultura de cana em vários municípios, com significativos impactos sobre várias bacias hidrográficas do bioma.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar. Etanol. Modelagem dinâmica. Bioma Cerrado. Bacias hidrográficas.

Abstract

Due to the increasing demand for alternative sources of energy, renewable and able to minimize the emission of greenhouse gases, the ethanol production is growing fast in Brazil, at the expense of large extensions of land being rapidly occupied by sugarcane, especially in the Cerrado biome. On the other hand, such expansion, without proper planning, will certainly threaten the biodiversity, the water resources and other Cerrado environmental services. Within this context, in this work, focused on a dynamic modeling approach, which accounts for both the current trends, as well as the availability of suitable land, we propose a thorough understanding on how the sugarcane front may move across time and space. Our results show that the sugarcane area may increase fivefold up to 2035, and that, without proper territorial ordainment, approximately 45% of the current agricultural area may be replaced by sugarcane, inducing a dangerous monoculture over wide areas, in addition to severe impacts to many of the Cerrado watersheds.

Keywords: Sugarcane. Ethanol. Dynamic modeling. Cerrado biome. Hydrographic basins.

4.1 - INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os biocombustíveis têm sido considerados por inúmeros setores da sociedade como uma das mais promissoras alternativas de energia renovável capaz de diminuir a dependência por combustíveis fósseis e conseqüentemente diminuir também a emissão de gases de efeito estufa (FARRELL et al, 2006; RAGAUSKAS et al, 2006). Devido aos altos preços do petróleo e as vantagens ambientais, têm ocorrido incentivos governamentais para a produção de biocombustíveis em várias partes do mundo (KAMMEN et al., 2008), sendo que a produção global praticamente triplicou, passando de 18.1 bilhões de litros em 2000, para cerca de 60.5 bilhões de litros em 2007. Os líderes da produção mundial são Estados Unidos (43%), Brasil (32%), e a União Européia (15%) (COYLE, 2007). Entre os biocombustíveis mais utilizados estão o biodiesel e o etanol, produzido principalmente a partir da cana-de-açúcar, milho e beterraba (CADENAS e CABEZUDO, 1998). Em relação ao etanol derivado da cana, o Brasil ocupa lugar de destaque, haja vista ser o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido pela Índia, China, Tailândia, Paquistão e México (FAO, 2010).

Apesar dos reconhecidos benefícios ambientais dos biocombustíveis, muitas são as preocupações em relação aos impactos sobre a biodiversidade, sobre os recursos hídricos e sobre a produção de alimentos. Por outro lado, e ainda que sejam necessárias políticas que minimizem estes impactos, ainda existem poucas disposições legislativas, a nível global, voltadas ao ordenamento da expansão de áreas agrícolas para a produção de biocombustíveis (GROOM e GRAY, 2007).

A produção e utilização de biocombustíveis sem as devidas normatizações e planejamentos, podem resultar em significativas conseqüências negativas para a biodiversidade, haja vista a diminuição de *habitats* e o comprometimento de serviços ambientais, afetados pelo uso de agrotóxicos, degradação do solo e do clima, além dos impactos associados ao transporte, refinação e queima (COOK; BEYEA; KEELER, 1991; WORLDWATCH INSTITUTE, 2006; GROOM e GRAY, 2007). A degradação de recursos hídricos durante os processos de cultivo e processamento de biocombustíveis também geram significativos impactos sobre o meio ambiente (BERNDES, 2002; NAS, 2007).

No estado de Goiás, em apenas dois anos, entre 2005 e 2007, ocorreu uma expansão de 37% das áreas cultivadas com cana-de-açúcar, sendo aproximadamente 66% de todo este

incremento ocorreu sobre áreas identificadas como uso agrícola, o que sugere uma significativa substituição de cultivos. Em relação às áreas de pastagens e remanescentes de vegetação natural, os incrementos neste período foram de 31% e 2%, respectivamente (RIBEIRO; FERREIRA, L. e FERREIRA, N., 2010a).

A necessidade de se ordenar a expansão em curso do cultivo da cana-de-açúcar no Brasil motivou, por iniciativa do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA, em parceria com o Ministério do Meio Ambiente - MMA, a elaboração do Zoneamento Agroecológico – ZAE da Cana-de-açúcar, com base em características edafo-climáticas, topografia, situação da cobertura vegetal, localização de áreas protegidas e presença de áreas urbanas e de mineração (MANZATTO et al., 2009). Neste zoneamento, os biomas Pantanal e Amazônia foram excluídos como áreas de expansão, haja vista suas fragilidades e peculiaridades ambientais, pouco favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar.

Especificamente em relação ao bioma Cerrado, Ribeiro et al. (2010b) elaboraram um cenário para a expansão da cana-de-açúcar no Cerrado sobre áreas atualmente ocupadas com pastagens cultivadas, levando em consideração o cumprimento da legislação ambiental, a localização das usinas de açúcar e álcool em funcionamento, o sistema viário, a ocorrência de latossolos e as áreas de relevo plano (até 6° de declividade). A área para expansão da cana-de-açúcar apontada no cenário foi de 187.682,8 km², cerca de 5 vezes a área cultivada até 2009, que era de 39.963,07 km², de acordo com o mapeamento do CANASAT/INPE (RUDORFF et al., 2004; SILVA et al., 2009).

Este artigo busca avançar sobre o conhecimento de áreas potencialmente favoráveis à expansão canavieira no bioma Cerrado. A partir de uma modelagem dinâmica, que leva em consideração tanto as tendências da expansão em curso, quanto a ocorrência de áreas favoráveis à presença da cana, apresentamos um cenário progressivo da presença da cana (até o ano de 2035), em relação ao qual são avaliados, para diferentes unidades de análise, os impactos e padrões de distribuição da cana-de-açúcar no bioma Cerrado.

4.2 - METODOLOGIA

Conforme o mapeamento do Bioma Cerrado realizado no âmbito do PROBIO – Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (SANO et al., 2008), baseado em imagens de satélite Landsat (2002), o Cerrado possuía

2008. Nesta etapa, também foi avaliado o nível de similaridade entre os mapas de tendência obtidos a partir das expansões ocorridas de 2005 a 2007 e de 2005 a 2009. Na última etapa, a partir dos mapas de tendência baseados nos incrementos de 2005 a 2009, foram realizadas avaliações dos impactos futuros da expansão da cana-de-açúcar sobre o bioma Cerrado. A figura 4.2 ilustra o relacionamento entre estas cinco etapas.

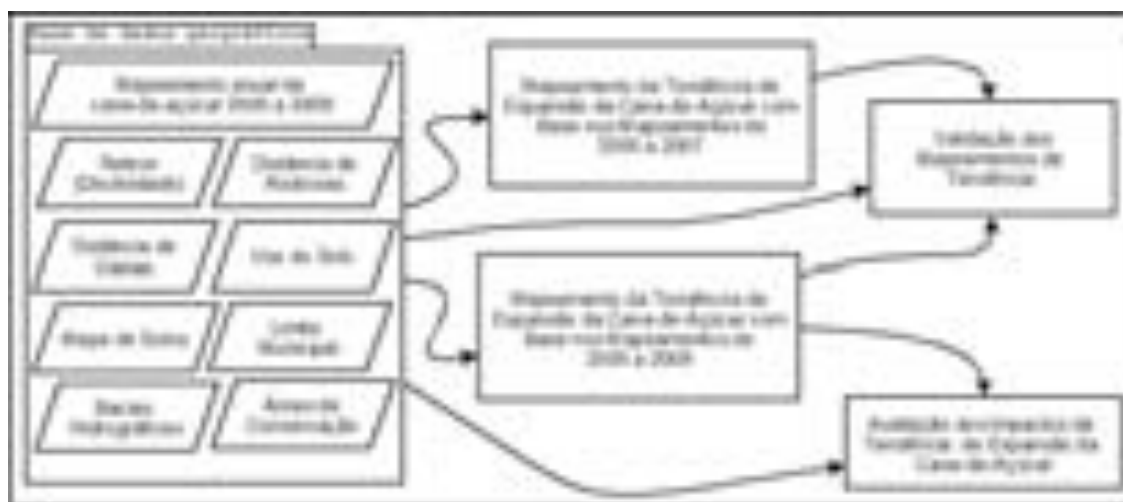


Figura 4.2 – Principais etapas referentes ao mapeamento da tendência da expansão da cana-de-açúcar no bioma Cerrado

4.2.1 - Base de Dados Geográficos

A base de dados geográficos foi organizada a partir da integração de dados oriundos de várias instituições públicas. Os diversos planos de informação que integraram a base de dados foram utilizados em vários momentos do trabalho, i.e. na geração dos mapas de tendência da expansão da cana-de-açúcar, na validação destes mapas e também na avaliação dos possíveis impactos referentes às tendências identificadas (tabela 4.1).

Os dados do mapeamento anual da cana-de-açúcar, bem como o mapa de localização das usinas de açúcar e álcool, foram elaborados pelo projeto CANASAT, que tem por objetivo mapear as áreas plantadas de cana-de-açúcar no país (CANASAT/INPE, 2010; RUDORFF et al., 2004; SILVA et al., 2009), e disponibilizados em meio digital via internet, através da página <http://www.dsr.inpe.br/canasat/>.

TABELA 4.1 – ORGANIZAÇÃO DA BASE DE DADOS

Fonte	Dado	Utilização
INPE/CANASAT	Mapeamento 2005	Mapa de tendência de expansão
	Mapeamento 2006	Validação do mapa de tendência
	Mapeamento 2007	Mapa de tendência da expansão e validação
	Mapeamento 2008	Validação do mapa de tendência
	Mapeamento 2009	Mapa de tendência de expansão e validação
	Localização de usinas	Mapa de tendência de expansão
SRTM/NASA	Declividade	Mapa de tendência de expansão
Rodovias/PNLT	Distancia de rodovias	
IBGE e EMBRAPA	Solos	
PROBIO	Uso do Solo	Mapa de tendência de expansão e
IBGE	Limite Municipal	Análise dos impactos da expansão da
SRH/MMA	Bacias Hidrográficas	cana-de-açúcar no bioma Cerrado

O mapa de declividade foi elaborado utilizando os dados altimétricos derivados das imagens SRTM (BERRY, P.; GARLICK, J.; SMITH, R., 2007; MEDEIROS, L.; FERREIRA, N.; FERREIRA, L., 2009), disponibilizados pelo Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite da EMBRAPA, no âmbito da Coleção “Brasil em Relevo” (www.relevobr.cnpm.embrapa.br). Quanto ao mapa de solos, disponível para consulta *online*, através do *link* <http://mapas.ibge.gov.br/solos/viewer.htm>, este foi elaborado pela Diretoria de Geociências do IBGE, por meio do Departamento de Recursos Naturais e das Divisões de Geociências, e pela EMBRAPA Solos - Centro Nacional de Pesquisas de Solos, a partir de compilações, conversão para o meio digital e de levantamentos de solos produzidos pelo Projeto RADAMBRASIL.

Em relação às rodovias, optou-se pelo mapa elaborado durante o Plano Nacional de Logística e Transportes - PNLT, uma iniciativa do Ministério dos Transportes, em cooperação com o Ministério da Defesa, por meio do CENTRAN - Centro de Excelência em Engenharia de Transportes. No que diz respeito aos limites municipais, foram selecionadas as folhas topográficas na melhor escala disponível nas diversas regiões do País, conforme a situação vigente da Divisão Político-Administrativa do Brasil – DPA, referente ao ano-base 2000, elaborada pelo Departamento de Cartografia do IBGE.

Os limites das bacias hidrográficas utilizados nesta pesquisa correspondem àqueles definidos a partir do sistema de codificação de bacias hidrográficas, denominado Ottobacias. Foram utilizadas as ottobacias de nível cinco (GALVÃO; MENESES, 2005), obtidas junto à

Agência Nacional das Águas (ANA/MMA), por meio do *site* www.ana.gov.br. Ainda no âmbito do Ministério do Meio Ambiente, foram obtidos os limites das áreas prioritárias para conservação da biodiversidade, das unidades de conservação federais e estaduais de proteção integral e de uso sustentável, bem como informações sobre a cobertura e uso dos solos, conforme o mapeamento realizado pelo PROBIO (SANO et al., 2008; SANO et al., 2010).

4.2.2 - Elaboração dos Mapas de Tendência

A elaboração dos mapas de tendência da expansão do cultivo da cana-de-açúcar no bioma Cerrado foi realizada com a utilização do programa computacional DINAMICA-EGO versão 1.4.0 (RODRIGUES et al., 2007), concebido como uma plataforma 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/>). Este programa emprega o método de modelagem que simula a dinâmica de uma paisagem, baseado no modelo estocástico de autômatos celulares (SOARES-FILHO et al., 2001 e 2002; FERREIRA et al., 2009), por meio do qual, calcula-se a probabilidade da expansão de um determinado evento que ocorre no espaço, de acordo com a sua condição prévia e do arranjo espacial das células vizinhas, conforme um conjunto de regras de transição (SOARES-FILHO et al., 2003). Para a realização da modelagem propriamente dita, todos os dados foram transformados para estrutura matricial (*raster*), com as células reamostrados para a resolução espacial de 350 metros.

Com todos os dados organizados, a primeira etapa de processamento consistiu no cálculo da matriz de transição, envolvendo os mapas de 2005 e 2007 de cultivo de cana, e posteriormente os mapas de 2005 e 2009. O resultado do cálculo da matriz de transição entre o estado T_1 (2005) e T_2 (2007) foi uma taxa de 1% de mudança, num intervalo de dois anos, ou 0,5% para cada ano. No caso da transição entre o estado T_1 (2005) e T_2 (2009), a taxa de mudança foi de 2%, sugerindo que a taxa de expansão do cultivo da cana-de-açúcar no bioma Cerrado vem se mantendo em 0,5%.

Após a obtenção da matriz de transição, procedeu-se à definição, com base no “método de pesos de evidências”, dos pesos das variáveis explicativas em relação ao mapa de mudanças na paisagem. Este método identificou as probabilidades (*a priori* e *a posteriori*) de ocorrência da expansão do cultivo da cana-de-açúcar em face da ocorrência prévia de outro evento, denominado evidência (CÂMARA et al., 2001; FERREIRA et al., 2009). 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 rodovias e distância de usinas) ou de cada classe das variáveis categóricas (ex. classes de declividade, solos e uso do solo) para a ocorrência da expansão do cultivo de cana-de-açúcar. Foram calculadas as correlações entre as variáveis explicativas, obtendo-se um valor médio para a correlação de 0,23, com desvio-padrão de 0,096. Isto significa que as variáveis consideradas na análise influenciam a expansão da cana-de-açúcar de diferentes maneiras e, portanto, todas as variáveis devem ser consideradas no mapeamento da tendência de expansão do cultivo de cana-de-açúcar. A influência destas variáveis foi expressa por meio de mapas de probabilidade de futuras áreas para o cultivo de cana-de-açúcar.

As etapas finais consistiram de simulações para a geração dos cenários futuros (ou seja, modelos de expansão do cultivo de cana-de-açúcar para 30 anos, a partir do estado T1 “ano de 2005” do cultivo da cana-de-açúcar) e às validações do modelo de mudança.

4.2.2 - Validação dos Mapeamentos de Tendência

De posse dos mapas de cultivo de cana-de-açúcar dos anos de 2006 até 2009, e dos mapas de tendência dos mesmos anos obtidos por meio da modelagem dinâmica, para os intervalos 2005-2007 e 2005-2009, foi possível avaliar o nível de similaridade entre os mapas obtidos pela modelagem e pelo mapeamento a partir de observação de dados orbitais (CANASAT). Foram avaliadas as porcentagens de coincidências espaciais entre os dados observados e os mapas calculados, considerando também a vizinhança da modelagem dinâmica de 1 pixel (350 metros), 2 pixels (700 metros), 3 pixels (1050 metros) e 4 pixels (1400 metros). Após os cálculos das porcentagens de coincidências para cada uma das quatro faixas de vizinhança, foram calculados os valores médios das similaridades para cada ano. Da mesma forma, foi avaliado o nível de correlação entre o total de área do cultivo mapeado e o calculado pela modelagem dinâmica a nível de microrregiões.

4.2.3 - Avaliações dos Impactos Futuros da Expansão da Cana-de-Açúcar

Utilizando os mapas anuais de tendência da expansão da cana-de-açúcar sobre o bioma Cerrado, de 2006 a 2035, deu-se início aos processos de avaliações dos impactos que esta expansão pode causar sobre o bioma Cerrado. Foram realizadas análises espaciais topológicas

considerando o uso do solo, a fim de se verificar quais os tipos de uso de solo serão impactados no futuro e também o nível de impacto que a expansão terá diretamente sobre as áreas cobertas com vegetação nativa remanescentes de cerrado. Da mesma forma, foram realizadas análises espaciais entre os mapas de tendência de expansão com os municípios, a fim de se detectar os municípios que podem ter suas áreas geográficas com alto grau de ocupação pelo cultivo da cana-de-açúcar, bem como as bacias hidrográficas que também poderão ser altamente impactadas até o ano de 2035.

4.3 - RESULTADOS

Os dois mapas de tendência resultantes para o ano de 2035 são muito parecidos. Enquanto o mapa de tendência produzido com base nos mapeamentos do CANASAT de 2005 e 2007 apresenta uma expansão na área para cultivo de cana-de-açúcar de 162.160,60 km², o mapa de tendência com referência nos mapeamentos do CANASAT de 2005 e 2009 apresenta uma área de 156.184,81 km², i.e. uma diferença em área de apenas 3,7%.

Os mapas de tendência de 2006 a 2009 foram avaliados em relação aos mapeamentos de cultivo de cana-de-açúcar elaborados pelo projeto CANASAT/INPE. A figura 4.3 ilustra os resultados das análises de similaridade espacial entre os mapas de tendência obtidos utilizando as áreas cultivadas com cana-de-açúcar de 2005 e 2007 e, também 2005 e 2009, com os resultados produzidos pelo CANASAT/INPE, para os anos de 2006, 2007, 2008 e 2009.

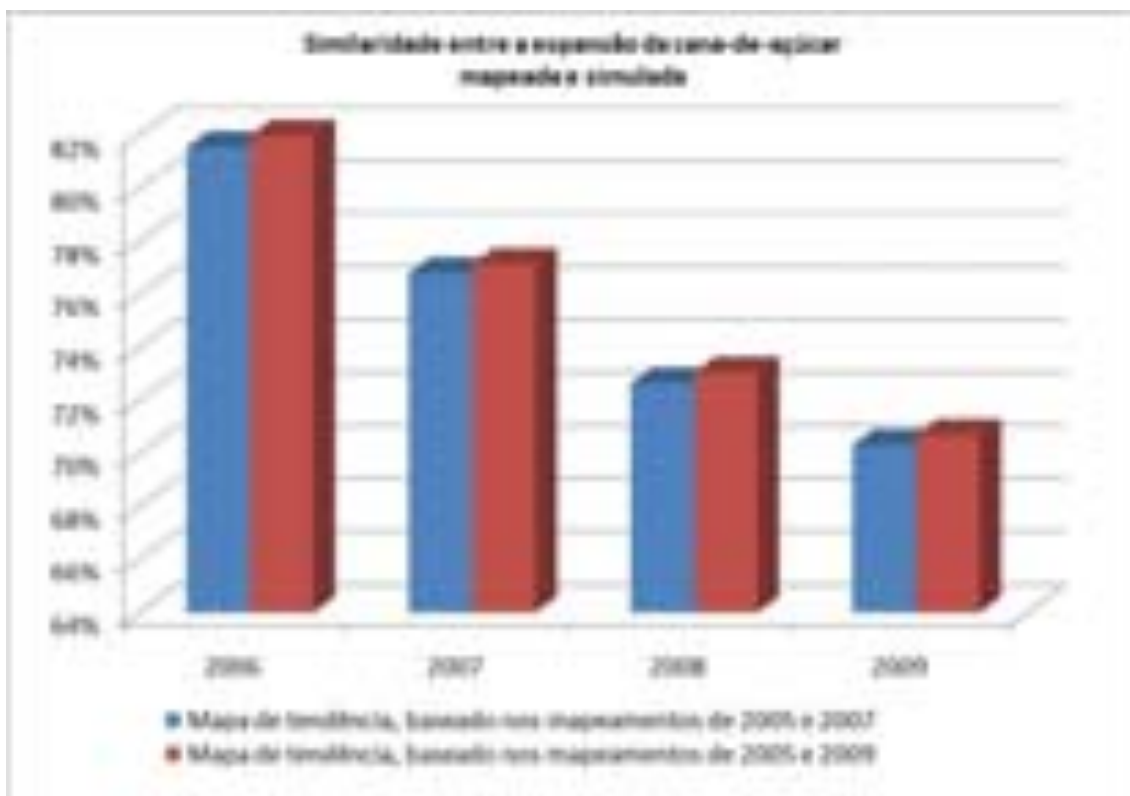


Figura 4.3 – Resultado das análises de similaridade entre a expansão do cultivo de cana-de-açúcar mapeada e simulada.

É possível observar nesta figura que as similaridades entre os mapas variam de 83% a 72%, sendo que a similaridade diminui, conforme o tempo se distânciava de 2005. A figura 3 mostra também que os mapas de tendência baseados nos mapeamentos dos anos de 2005 e 2009 apresentam similaridade ligeiramente maior que os mapas de tendência baseados nos anos de 2005 e 2007. Esta pequena diferença ocorreu provavelmente devido ao maior intervalo de tempo adotado. Desta forma, após a realização desta primeira avaliação, foram adotados os mapas de tendência baseados no intervalo temporal de 2005 a 2009.

A figura 4.4 apresenta o resultado do mapa de tendência, a partir dos mapeamentos do CANASAT/INPE de 2005 e 2009, ilustrando a possível expansão do cultivo da cana-de-açúcar sobre o Cerrado, entre os anos de 2005 e 2035. Conforme o mapa do ano de 2005, o cultivo de cana-de-açúcar ocupava a área de 25.801,26 km², ou seja, 1,2% da área deste bioma. Em 2035, o cultivo de cana-de-açúcar poderá ocupar uma área de até 162.160,60 km², ou seja, 7,95% da área do bioma. Portanto, em 30 anos, o cultivo de cana-de-açúcar no bioma, poderá se expandir em 628,50%.

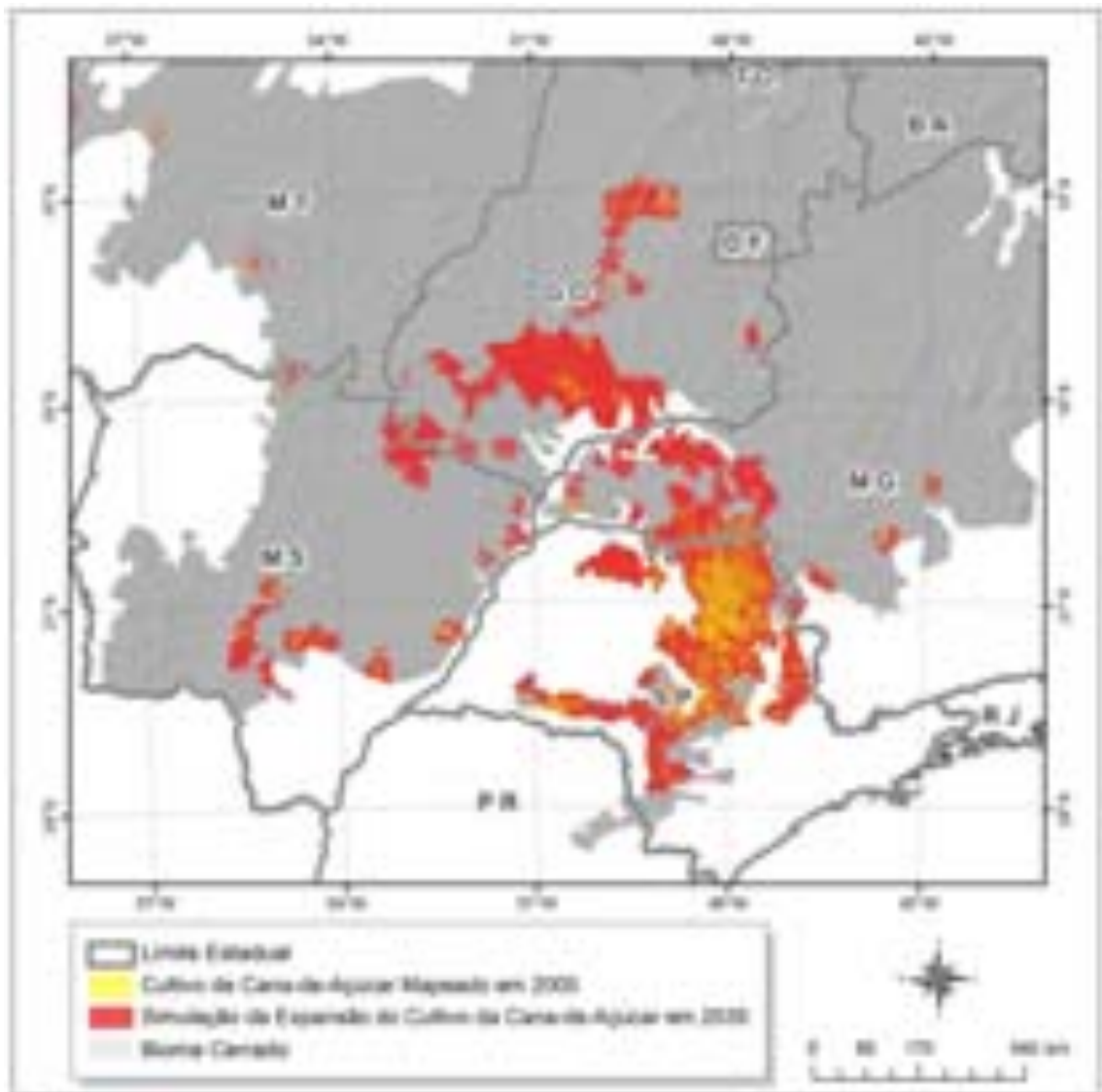


Figura 4.4 – Mapa de tendência da expansão do cultivo de cana-de-açúcar no bioma Cerrado, entre os anos de 2005 e 2035

É possível observar também na mesma figura, que nos estados de Goiás, Minas Gerais e São Paulo poderão ocorrer as maiores expansões do cultivo de cana-de-açúcar. No ano de 2035, o cultivo de cana-de-açúcar poderá ocupar 78,2% do Cerrado paulista, 8% do Cerrado mineiro e 13% do Cerrado goiano. Em 2005, o cultivo de cana-de-açúcar ocupava 23,98% da área do Cerrado paulista, 0,68% da área do cerrado mineiro, e 0,64% da área do Cerrado goiano.

A figura 4.5 e tabela 4.2 ilustram a dramática expansão do cultivo da cana-de-açúcar que poderá ocorrer nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, entre 2005 e 2035. Em termos proporcionais, a maior expansão será observada em Goiás.

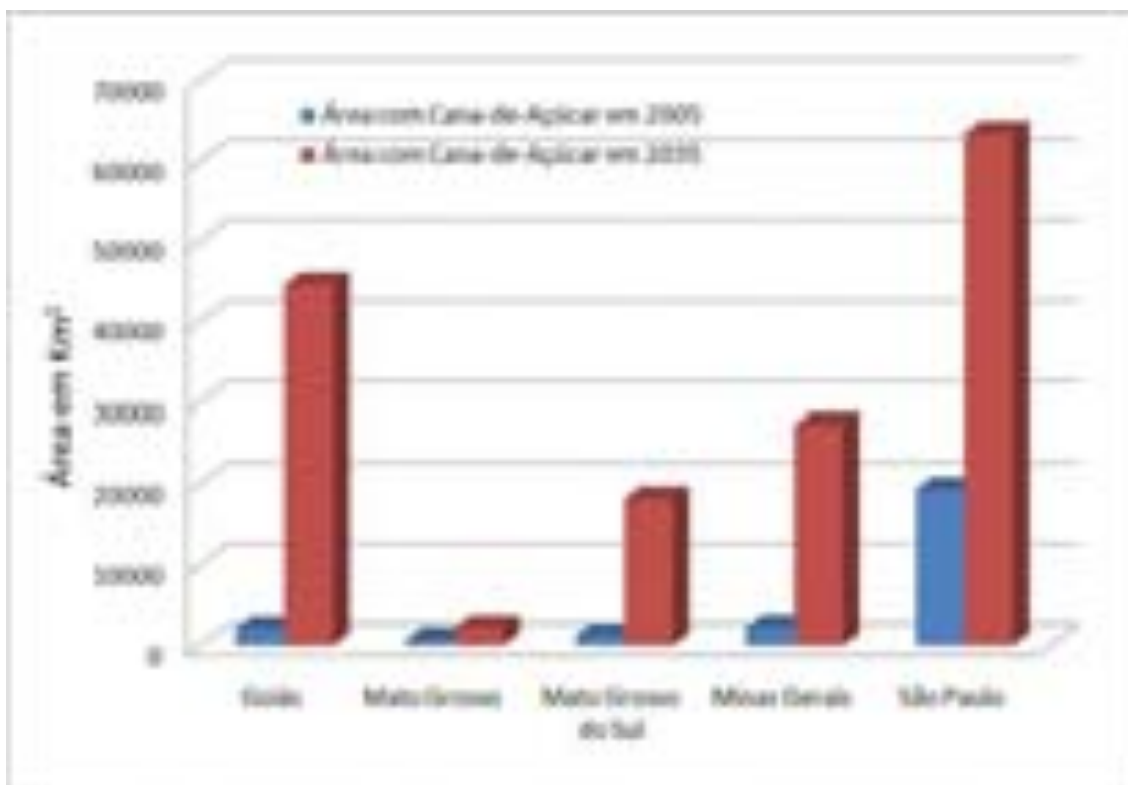


Figura 4.5 – Expansão do cultivo da cana-de-açúcar nos estados

TABELA 4.2 – EXPANSÃO DO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR, ENTRE 2005 E 2035, NOS ESTADOS ABRANGIDOS PELO BIOMA CERRADO

Estado	Expansão da Área Cultivada entre 2005 e 2035
Goiás	2.103,80%
Mato Grosso	313,48%
Mato Grosso do Sul	1.499,22%
Minas Gerais	1.206,46%
São Paulo	326,04%

A validação do mapeamento de tendência foi realizada por meio da análise de regressão entre a área média mapeada, nos anos de 2006 a 2009 para as microrregiões do bioma Cerrado, e a área média simulada pela plataforma DINAMICA-EGO para os mesmos anos. Conforme mostrado na figura 4.6, aproximadamente 96% da variação na área simulada, entre 2006 e 2009, é explicada por meio da variação na área mapeada para o mesmo período.

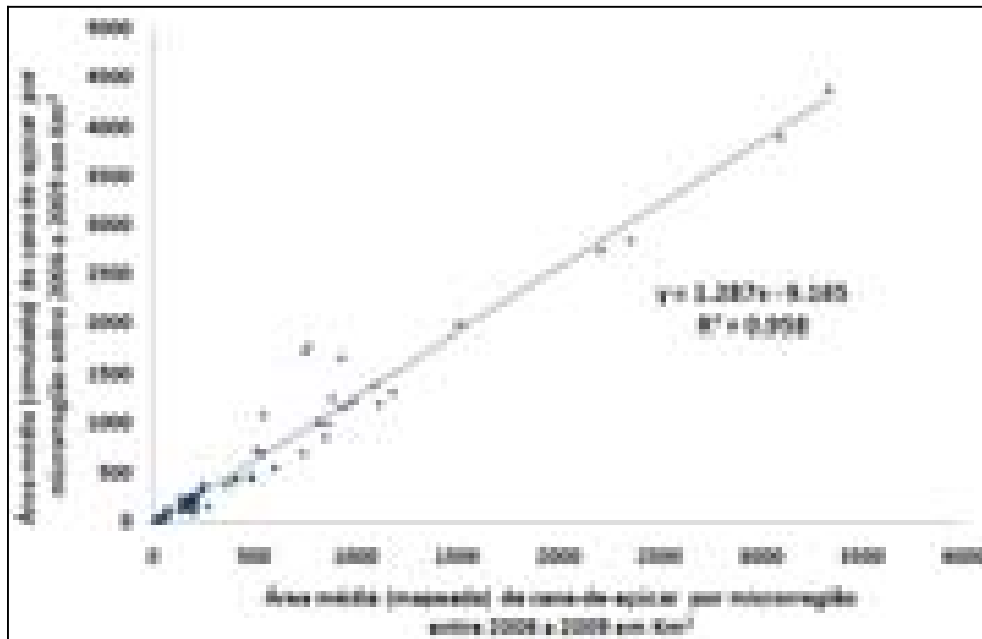


Figura 4.6 – Correlação entre a área de expansão do cultivo de cana-de-açúcar mapeada e simulada, entre os anos de 2006 a 2009

Ao todo, foram produzidos 30 mapas de tendência da expansão do cultivo da cana-de-açúcar sobre o bioma Cerrado, de 2006 até 2035. A figura 4.7 apresenta quatro destes mapas, com destaque para os anos de 2010, 2020, 2030 e 2035.

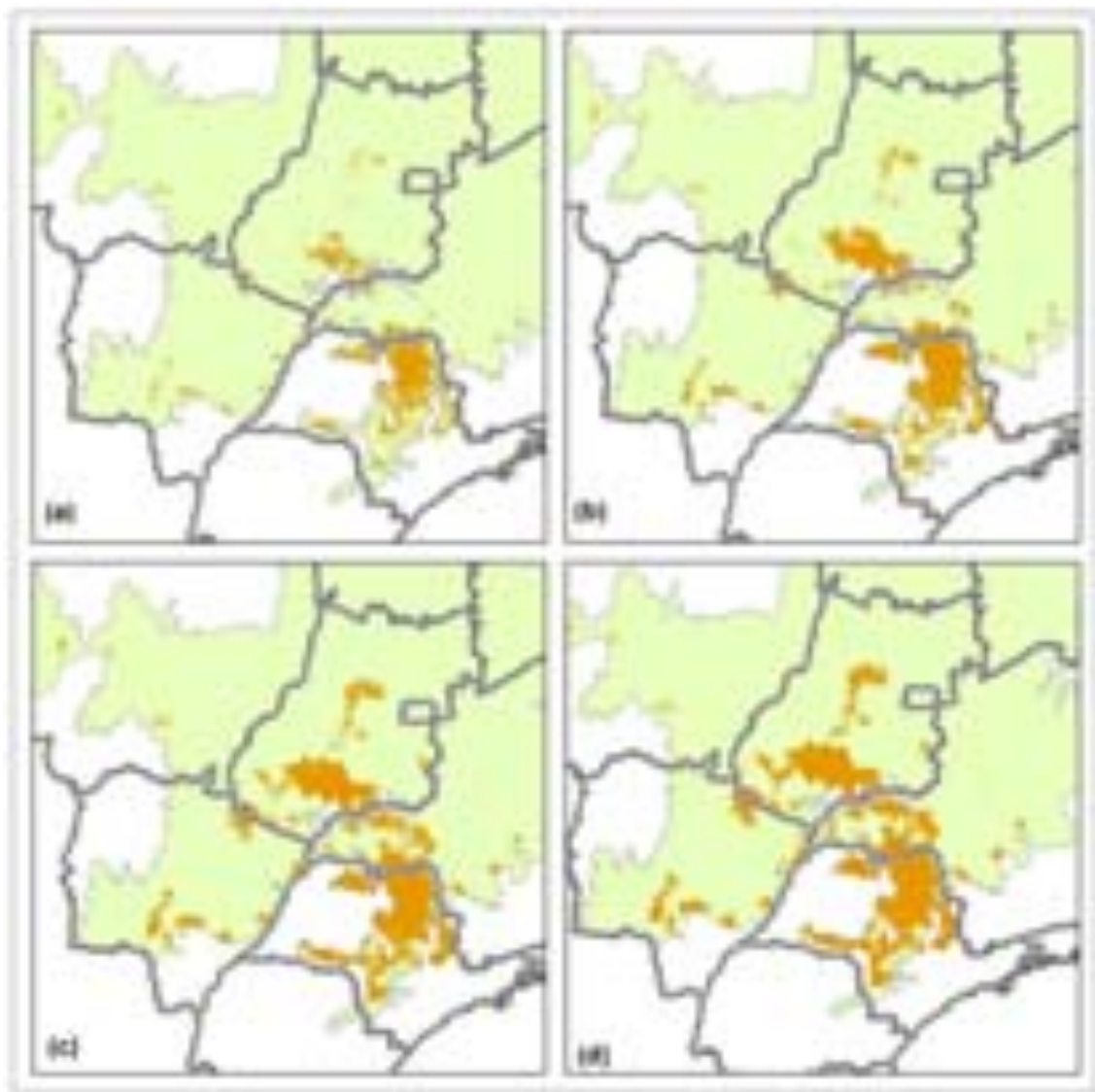


Figura 4.7 – Mapas de tendência do cultivo de cana-de-açúcar no bioma Cerrado (a) área de cultivo em 2010, (b) área de cultivo em 2020, (c) área de cultivo em 2030 e (d) área de cultivo em 2035

A figura 4.8 mostra como vem ocorrendo a expansão da área de cultivo da cana-de-açúcar no cerrado, e como esta expansão poderá ocorrer até 2035. É possível observar na figura, que a taxa de expansão mapeada é praticamente a mesma da obtida pela simulação da expansão do cultivo da cana-de-açúcar até 2035. Observa-se uma anomalia na expansão entre 2009 e 2010, que pode ser explicada pela alteração na estrutura dos arquivos. Enquanto entre 2005 e 2009 foram utilizados arquivos vetoriais produzidos pelo projeto CANASAT/INPE, com base no processamento de imagens orbitais CBERS/CCD, com resolução espacial de 20 metros, a partir de 2010, os mapas são simulados a partir de dados com resolução espacial de 350 metros. Por outro lado, a partir de 2010 a taxa de expansão volta ao patamar anterior e permanece constante.



Figura 4.8 – Expansão do cultivo da cana-de-açúcar no bioma Cerrado, mapeado e simulado

Após a elaboração e avaliação dos mapas de tendência, foram realizadas algumas análises dos possíveis impactos que a expansão do cultivo de cana-de-açúcar poderá causar no bioma Cerrado. A figura 4.9 mostra que até o ano de 2006, 35 municípios, todos localizados no estado de São Paulo, possuíam mais da metade de suas áreas territoriais ocupadas com o cultivo de cana-de-açúcar. No ano de 2035, 202 municípios, localizados nos estados de São Paulo, Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul possuirão mais da metade de suas áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Em 2006 apenas um município tinha mais de 90% de seu território ocupado com o cultivo de cana-de-açúcar. Em 2035, a quantidade de municípios que poderá ter mais de 90% de seu território ocupado com cultivo de cana-de-açúcar passará para 105.

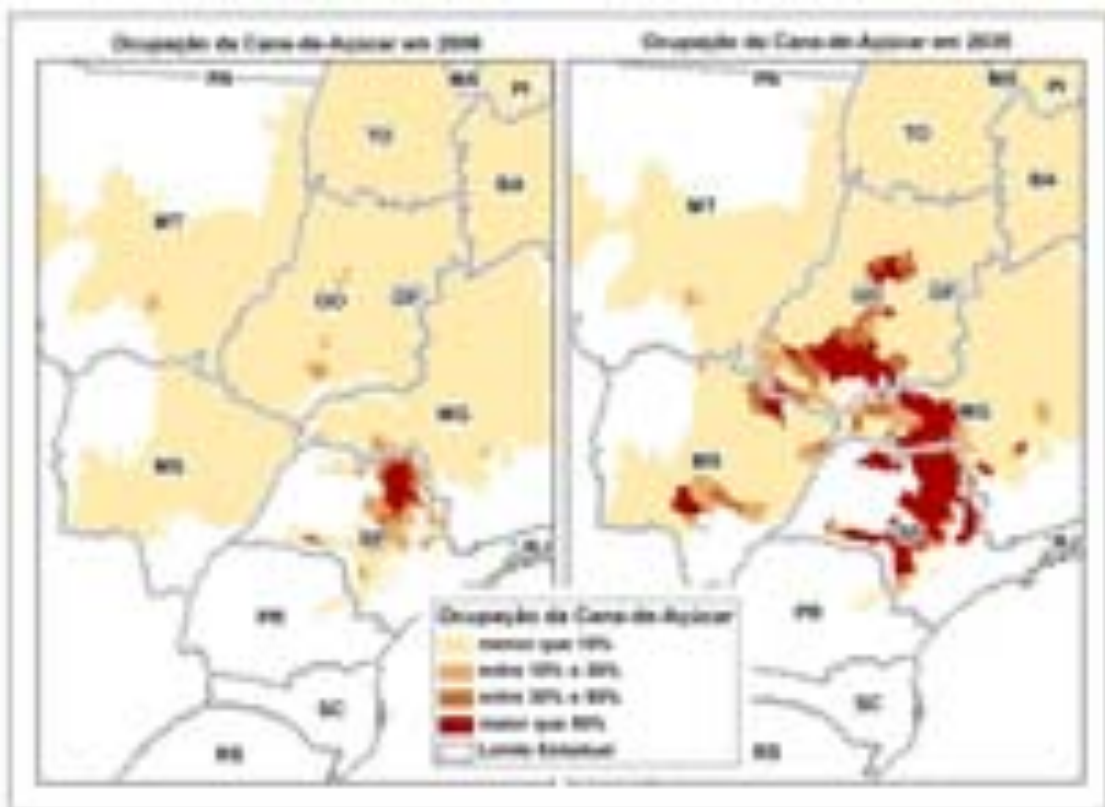


Figura 4.9 – Ocupação do cultivo de cana-de-açúcar em relação aos limites municípios do bioma Cerrado

É importante lembrar que atualmente grande parte dos municípios que serão ocupados com o cultivo de cana-de-açúcar em 2035 já apresentam pouca quantidade de remanescentes de vegetação nativa, por conta das conversões em pastagens e áreas agrícolas. Da mesma forma, a grande ocupação desses municípios pelo cultivo de cana-de-açúcar induzirá a concentração de atividades produtivas e também poderá induzir o aumento na concentração de terras.

A figura 4.10 e a tabela 4.3 demonstram que até o ano de 2035, o cultivo de cana-de-açúcar tenderá a ocorrer sobre áreas já ocupadas com agricultura, provavelmente temporárias, e pastagens (conforme dados PROBIO). É importante observar que as áreas agrícolas sofrerão maior ocupação, seguida das áreas de pastagens. As áreas de remanescentes poderão sofrer um pequeno impacto, pois a área onde a cana-de-açúcar tende a ocupar até 2035 já se encontra sob forte pressão antrópica.



Figura 4.10 – Impacto da expansão do cultivo da cana-de-açúcar sobre o uso do solo no bioma Cerrado (conforme dados PROBIO)

Comparando-se a expansão do cultivo da cana-de-açúcar com o mapa do PROBIO, verifica-se que 45,87% das áreas agrícolas e 8,37% de pastagens no cerrado, poderão ser ocupadas com cana-de-açúcar até 2035, o que pode, por sua vez, induzir a novos desmatamentos com vistas à suprir as demandas das commodities agrícolas e pecuária.

TABELA 4.3 – USO DO SOLO IMPACTADO PELO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Uso do Solo	em 2006 (km ²)	em 2035 (km ²)	Expansão
Agricultura	20.482,97	94.992,33	463.76%
Pastagem	5.859,46	51.364,57	876.61%
Remanescente	845,03	5.261,20	622.60%

A figura 4.11 ilustra os possíveis impactos da expansão da cana-de-açúcar sobre a agricultura, a pecuária e os remanescentes de vegetação nativa nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e São Paulo. Em Minas Gerais o maior impacto poderá ocorrer sobre as pastagens, ainda que haja indícios de impactos significativos sobre a agricultura.

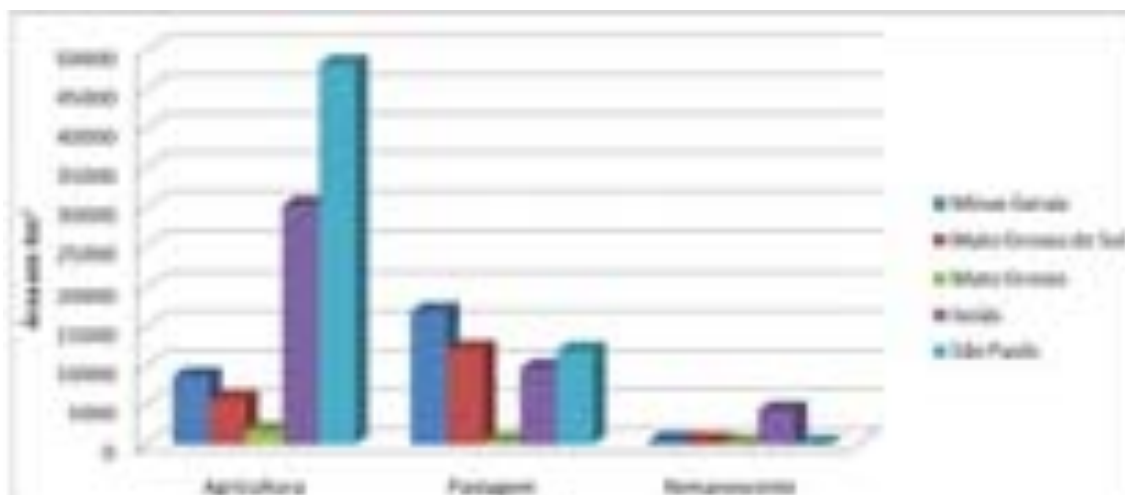


Figura 4.11 – Impacto do cultivo da cana-de-açúcar em 2035 sobre os usos do solo nos estados em 2002 (dados PROBIO)

No caso do estado do Mato Grosso do Sul, será seguido o mesmo padrão de Minas Gerais. Por outro lado, nos estados de Mato Grosso, Goiás e São Paulo, o maior impacto poderá ocorrer sobre as áreas agrícolas e menos na pastagem. No caso dos remanescentes de vegetação nativa, os maiores impactos diretos poderão ocorrer no estado de Goiás.

Neste trabalho, foi avaliado também o impacto da tendência do cultivo de cana-de-açúcar sobre as bacias hidrográficas no bioma Cerrado. O resultado desta avaliação está ilustrado na figura 4.12. É possível observar que as bacias dos rios dos Bois, Mogi-Guaçú, Pardo e parte da bacia do rio Grande poderão ser ocupadas em mais de 40% de suas áreas por cana-de-açúcar.

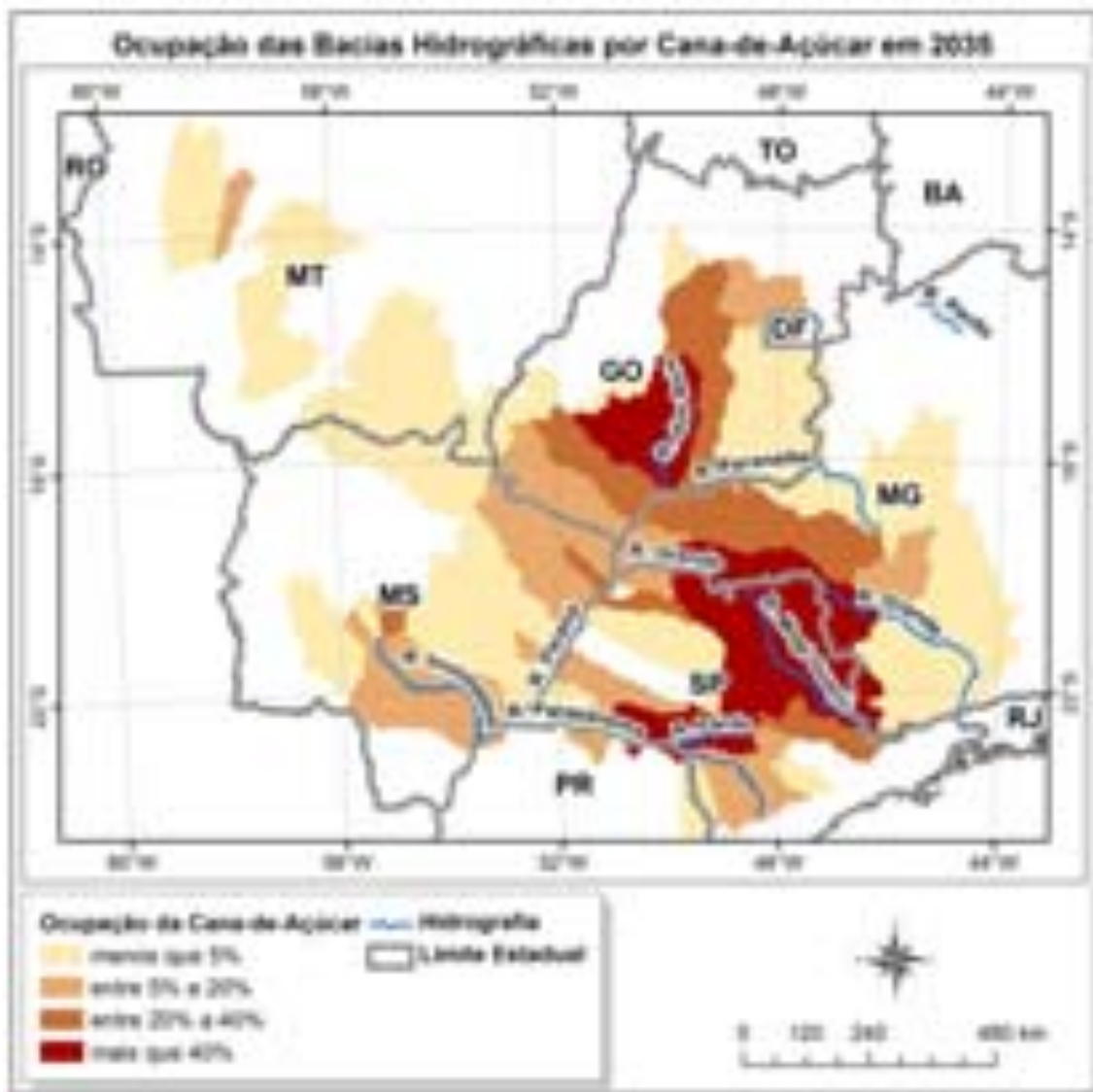


Figura 12 – Impacto provável do cultivo de cana-de-açúcar, até 2035, sobre bacias hidrográficas.

É importante observar também que as bacias dos rios Paranaíba, Paraná, Paranapanema e Invinheima também poderão sofrer impactos significativos. Sobre essas bacias hidrográficas, já muito antropizadas, a expansão do cultivo de cana-de-açúcar poderá gerar demanda adicional de água para irrigação. Além disso, o processo industrial poderá gerar grandes quantidades de resíduos que poderão impactar os recursos hídricos locais e regionais.

Em relação aos impactos sobre a conservação da biodiversidade, e considerando as unidades de conservação de proteção integral e de uso sustentável (aproximadamente 8% do bioma Cerrado) e áreas prioritárias (38% da área do bioma), até o ano de 2035, uma extensão de 2.874,89 km² de Áreas de Proteção Ambiental (APA) no estado de São Paulo poderão ser

ocupada com cana-de-açúcar (figura 13). Atualmente, o mapeamento do CANASAT/INPE de 2009, quando cruzado com as unidades de conservação, já aponta uma sobreposição de 1.150,54 km² com as mesmas Áreas de Proteção Ambiental do estado de São Paulo. A figura 4.13 também mostra que a cana poderá chegar bem próxima de unidades de conservação nos estados de Goiás e Minas Gerais.

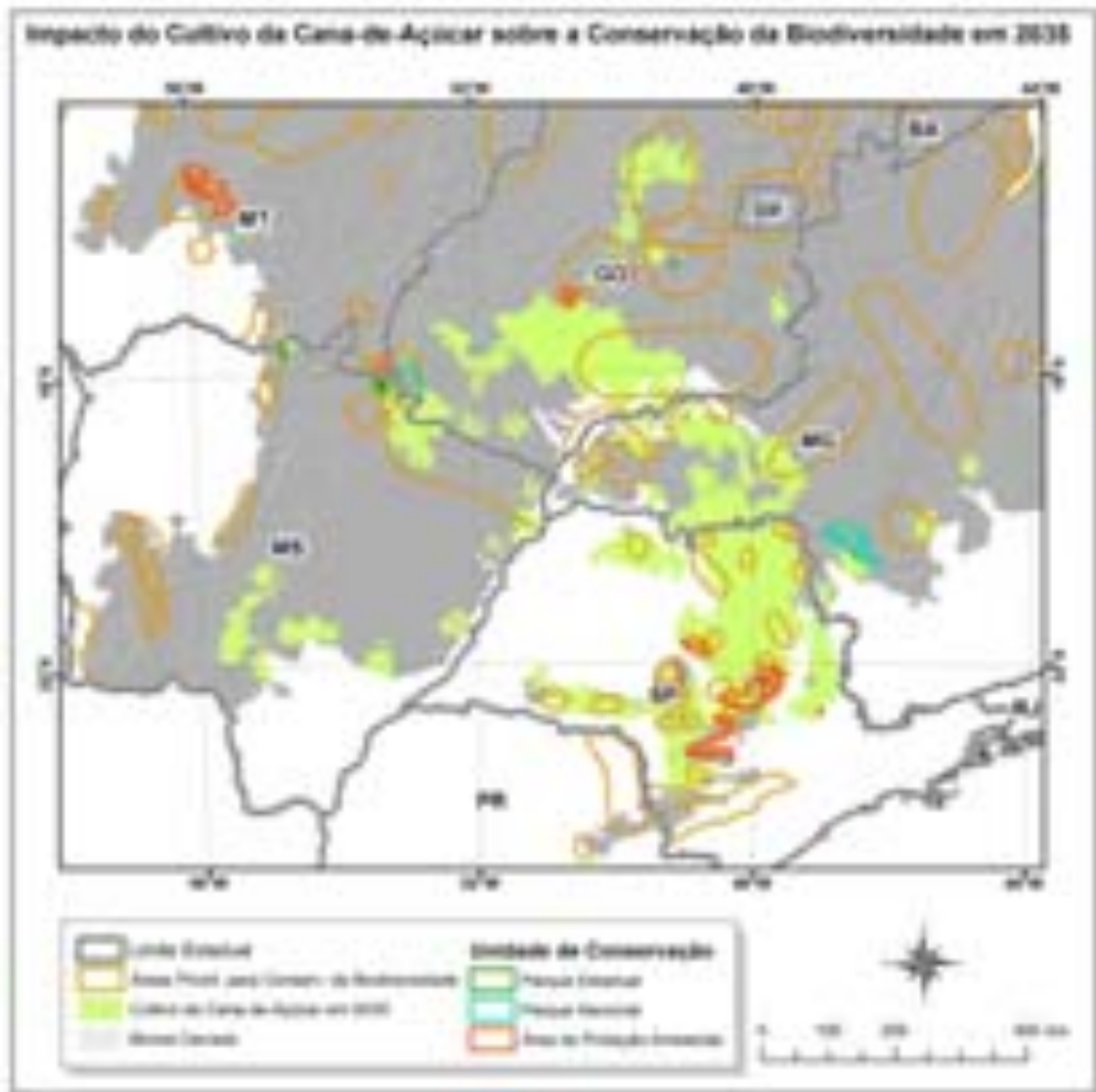


Figura 4.13 – Impacto do cultivo da cana-de-açúcar, em 2035, sobre a conservação da biodiversidade

Em relação às áreas prioritárias para conservação, até 2035, 37.244,89 km² poderão ser ocupados por cana-de-açúcar. O mapeamento do CANASAT/INPE de 2009, quando cruzado com estas áreas, já indicava uma sobreposição de 7.814,02 km².

4.4 - CONSIDERAÇÕES

A modelagem dinâmica é essencial para produzir informações geograficamente referenciadas a respeito do possível ordenamento da paisagem no futuro. Essas informações são de extrema importância, pois fornecem subsídios para avaliação das consequências futuras de atividades que vem sendo exercidas na atualidade, sendo possível então avaliar os custos e benefícios (ambientais, institucionais, econômicos e sociais) das transformações que podem ocorrer na paisagem.

Neste trabalho, a partir da aplicação de modelagem dinâmica sobre a expansão do cultivo de cana-de-açúcar entre 2005 e 2009 e considerando variáveis da paisagem tais como relevo, infraestrutura, solos e uso do solo, obteve-se a estimativa da expansão da cana-de-açúcar no bioma Cerrado até 2035. Mantidas as tendências atuais e importância relativa das variáveis ambientais e socioeconômicas, a área ocupada com cana passará dos atuais 25.801,26 km² (em 2005) para 162.160,60 km² (em 2035). Um salto de 628,50% em 30 anos.

Entre os impactos desta expansão, ressalta-se a substituição de aproximadamente 46% e 8% das áreas atualmente destinadas à agricultura e pecuária, respectivamente. Em relação à vegetação remanescente, os nossos resultados apontam 5.261,20 km² de novos desmatamentos em função do avanço da cana. Da mesma forma, esta expansão também trará impactos significativos sobre as bacias hidrográficas, além de comprometer a sociedade e a economia dos municípios, por meio da diminuição da diversidade de empregos e a concentração de terras nos municípios.

A modelagem dinâmica considerou apenas os impactos diretos da expansão do cultivo da cana-de-açúcar sobre a paisagem, não sendo considerados os impactos indiretos. Por exemplo, a diminuição das áreas agrícolas pode causar um significativo impacto na produção de grãos, que resultará no aumento de preços desses produtos. Isso induzirá a substituição das pastagens e áreas remanescentes pela implantação de novas e extensas áreas agrícolas. A diminuição das pastagens também poderá resultar em sérios impactos sobre a vegetação nativa do Cerrado.

Neste sentido, novos exercícios de modelagem da paisagem deverão considerar múltiplas variáveis de entrada, tais como cana-de-açúcar, áreas de pastagens e áreas agrícolas, a fim de se estimar os impactos diretos e indiretos. É importante também considerar que os

resultados obtidos neste estudo estão diretamente relacionados às variáveis da paisagem e à taxa da expansão do cultivo da cana-de-açúcar sobre esta, não tendo sido consideradas variáveis econômicas e mercadológicas. O trabalho pressupõe que a expansão atual da cana-de-açúcar é o reflexo das variáveis econômicas, afinal ela ocorre com o intuito de aumentar a oferta de etanol no mercado, haja vista o aumento da demanda por esse biocombustível ao longo dos últimos anos.

Esta demanda, em particular, pode ser significativamente aumentada, tendo em vista a adoção do biocombustível por vários países desenvolvidos, ou ainda retroceder ou entrar em estagnação, caso sejam desenvolvidas outras formas mais sustentáveis de energia. Desta forma, existe uma grande incerteza relacionada com a variável tempo na modelagem dinâmica, o que pode fazer com que a expansão determinada neste estudo ocorra muito antes de 2035, ou fique bem aquém da área total estimada.

A inclusão de variáveis econômicas, bem como de taxas de crescimento variáveis ao longo do tempo, pode reduzir tais incertezas. Alternativamente, a geração de cenários anuais, sistematicamente validados em relação às estimativas satelitárias, pode facilitar a convergência de resultados em relação a períodos mais prolongados.

4.5 - REFERÊNCIAS

AGENCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso: 08 de agosto de 2010.

BERNDES, G. **Bioenergy and water—implications of large-scale bioenergy production for water use and supply**. *Global Environmental Change* 12:253–271. 2002.

BERRY, P.A.M.; GARLICK, J.D.; SMITH, R.G. **Near-global validation of the SRTM DEM using satellite radar altimetry**. *Remote Sensing of Environment*, v.106, p.17-27, 2007.

CADENA, A.; CABEZUDO, S.: **Biofuels as Sustainable Technologies: Perspectives for Less Developed Countries**. Elsevier *Technological Forecasting and Social Change* 58, 83–103. New York, 1998.

CÂMARA, G. et al. **Técnicas de inferência geográfica**. In: *Inferência geográfica e suporte à decisão* (Cap. 9). São José dos Campos: INPE, 2001. 49 p.

CANASAT/INPE . Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/mapdsr/>>. Acesso: 10 de setembro de 2010.

COOK, J. H., J. BEYEA; KEELER, K. H. **Potential impacts of biomass production in the U.S. on biological diversity**. Annual Reviews of Energy and Environment 16:401–431, 1991.

COYLE, W. **The future of biofuels: A global perspective**. Amber Waves, 5, 24-29, 2007.

FAO (United Nations Food and Agricultural Organization). **FAOSTAT**, 2010. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/default.aspx>>. Acesso: 13 de setembro de 2010.

FARRELL, A. E. et al. **Ethanol can contribute to energy and environmental goals**. Science **311**:506–508, 2006.

FERREIRA, M. E. **Modelagem da Dinâmica de Paisagem do Cerrado. Tese de Doutorado. Ciências Ambientais**, Universidade Federal de Goiás-UFG. Goiânia-GO, 2009.

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, 12; 2005, Goiânia (GO). Anais... Goiânia (GO), 2005. p. 2511-2518.

GROOM, J. M.; GRAY, M. E., Townsend A. P. **Biofuels and Biodiversity: Principles for Creating Better Policies for Biofuel Production**. Conservation Biology, Volume 22, No. 3, 602–609. Society for Conservation Biology. 2007.

KAMMEN, D. M. et al **Energy and greenhouse impacts of biofuels: A framework for analysis**. Paper presented at the OECD Roundtable on Biofuels, Paris, France, (2008).

MANZATTO C. V. et al. (Org.). **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar** — Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2009. 55 p.: il.

MEDEIROS, L. C.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. G. **Avaliação de Modelos Digitais de Elevação para Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas**. Revista Brasileira de Cartografia. no 61/02, p. 137-151, 2009.

NAS (National Academy of Sciences).. **Water implications of biofuels production in the United States**. National Academy Press, Washington, D.C., 2007. Disponível em: <http://books.nap.edu/openbook.php?record id=12039> Acesso: 12 de outubro de 2010).

RAGAUSKAS, A. J., et al. **The path forward for biofuels and biomaterials**. Science **311**:484–489. 2006.

RIBEIRO, N. V.; FERREIRA, L. G. E FERREIRA, N. C. . **Expansão sucroalcooleira no estado de Goiás: uma análise exploratória a partir de dados sócio-econômicos e cartográficos**. Geografia (Rio Claro. Impresso), v. 35, p. 331-344, 2010a.

RIBEIRO, N. V.; FERREIRA, L. G. E FERREIRA, N. C. **Padrões e impactos ambientais da expansão atual do cultivo da cana-de-açúcar: uma proposta para seu ordenamento no bioma Cerrado**. No Prelo, 2010b.

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.

RUDORFF, B. F. T., et al, **Estimativa de Área Plantada com Cana-de-Açúcar em Municípios do Estado de São Paulo por Meio de Imagens de Satélites e Técnicas de Geoprocessamento: Ano Safra 2004/2005**. INPE. São José dos Campos, 2004.

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.

SANO, E. E. et al. **Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil**. Environmental Monitoring and Assessment (Print), v. 166, p. 113-124, 2010.

SILVA, W. F. et al. **Análise da expansão da área cultivada com cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil: safras 2005/2006 a 2008/2009**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2009, Natal - RN. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos : INPE, 2009. p. 467-474.

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. 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.; 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.

WORLDWATCH INSTITUTE.. **Biofuels for transport: global potential and implications for sustainable agriculture and energy for the 21st century**. Worldwatch

Institute, Washington, D.C., 2006. Disponível em:

<http://www.worldwatch.org/system/files/EBF038.pdf>. Acesso: 12 de outubro de 2010.

5 - CONCLUSÕES

O cultivo da cana-de-açúcar vem se expandindo rapidamente pelo bioma Cerrado. Somente no estado de Goiás, entre 2005 e 2007, a expansão ocorrida foi de 37%. Tanto em Goiás, como no bioma Cerrado em geral, o cultivo de cana-de-açúcar vem ocorrendo em áreas de relevo plano com latossolos. Em relação às principais classes de cobertura e uso da terra, aproximadamente 72% e 23% da área plantada com cana-de-açúcar, ocorreram sobre áreas ocupadas, até 2002, por agricultura e pastagem, respectivamente, sendo que pouco mais de 3% ocorreram sobre áreas ocupadas, em 2002, com remanescentes de Cerrado. Observou-se também que o cultivo da cana-de-açúcar ocorre em regiões onde existe infraestrutura para transporte rodoviário, à distâncias de até 60 km das usinas de açúcar e álcool.

Se a expansão da cana-de-açúcar continuar à mesma velocidade dos últimos anos e conforme os mesmos padrões geográficos, entre os anos de 2005 e 2035, a área cultivada passará de 25.801,26 km², para 162.160,60 km², ou seja, em 30 anos, o cultivo de cana-de-açúcar no bioma Cerrado, poderá se expandir em 628,50%, passando a ocupar uma porção equivalente a 7,95% do bioma. Em 30 anos, essa expansão poderá gerar significativos impactos sobre as atuais áreas agrícolas produtoras de grãos, pois aproximadamente 46% dessas áreas poderão ser ocupadas com cana-de-açúcar. Além disso, algumas importantes bacias hidrográficas do bioma serão ocupadas por essa monocultura. Ainda que a cana-de-açúcar não tenha causado significativos impactos diretos sobre as áreas de vegetação nativa remanescente, no futuro, a substituição de quase metade das áreas cultivadas com grãos no bioma poderá induzir ao desmatamento de áreas preservadas no Cerrado.

Devido aos impactos atuais e futuros da cana-de-açúcar sobre o bioma Cerrado, nesta tese propomos um cenário planejado, onde a expansão da cana-de-açúcar é permitida somente sobre as áreas de pastagens e em respeito à legislação ambiental. De acordo com este cenário, o qual prioriza os relevos planos, os latossolos e as proximidades de infraestruturas de transporte e processamento industrial, a cana-de-açúcar poderá ocupar 187.682,8 km², ou seja, 33,70% da totalidade de pastagens cultivadas no bioma Cerrado, sendo que 26%, 50% e 24% dessas pastagens são consideradas, respectivamente, de baixa, média e alta produtividade

Tocantins, Maranhão e Bahia. O cenário indica também uma expansão bastante significativa no Mato Grosso do Sul e menor no Cerrado paulista. A figura 5.2, ilustra quantitativamente a expansão da cana-de-açúcar, conforme cenário e tendências, pelos estados do bioma.

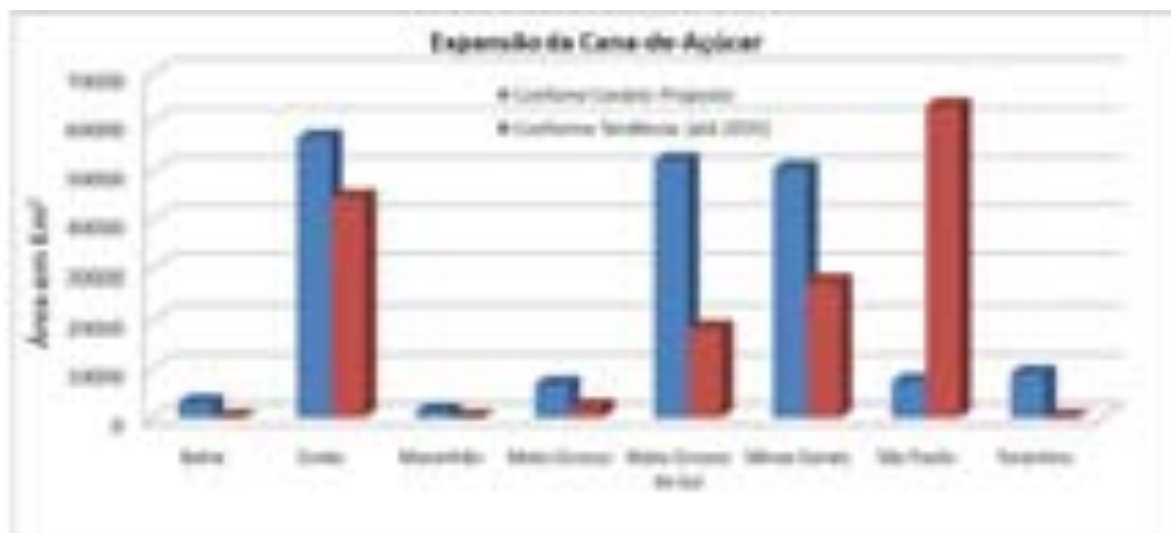


Figura 5.2 – Expansão da cana-de-açúcar nos estados do bioma cerrado, em relação ao cenário proposto e tendências em curso

Ainda que o cenário proposto nesta tese possa trazer impactos na produção pecuária, estes podem ser minimizados com o aumento da produtividade bovina a partir da adoção de tecnologias e melhoria da assistência técnica fornecida aos produtores. Contudo, e apesar de aparentemente mais sustentável, este cenário não elimina completamente os impactos ambientais advindos da expansão da cana-de-açúcar, pois, se não forem adotadas práticas adequadas ao cultivo, colheita, transporte e processamento, certamente haverá prejuízos aos recursos hídricos, solos e clima.

O debate mundial a respeito dos biocombustíveis é extremamente complexo por envolver um grande conjunto de variáveis econômicas, políticas, ambientais, sociais e institucionais. Esta tese teve por motivação participar deste debate, buscando, por meio do método científico, a agregação de novos dados e informações, imprescindíveis à produção de etanol no Cerrado de forma ambientalmente e socialmente sustentáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GOLDEMBERG, J. **The Brazilian biofuels industry. *Biotechnology for Biofuels***, v. 1/6, p. 1-6, 2008.

APÊNDICE 1 - Expansão da cana-de-açúcar no bioma Cerrado: Tendência e Cenário
Proposto.