



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/07.25.14.23-TDI

**ANÁLISE DA OCUPAÇÃO DO CERRADO PELO
AGRONEGÓCIO NO SUL DO MARANHÃO E PIAUÍ
USANDO IMAGENS LANDSAT DO PERÍODO 1975-2010**

João Paulo Domingos Gonçalves

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelos Drs. Raimundo Almeida Filho, e Edson Eyji Sano, aprovada em 30 de agosto de 2012.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CBH6CP>>

INPE
São José dos Campos
2012

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):

Presidente:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Germano de Souza Kienbaum - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/07.25.14.23-TDI

**ANÁLISE DA OCUPAÇÃO DO CERRADO PELO
AGRONEGÓCIO NO SUL DO MARANHÃO E PIAUÍ
USANDO IMAGENS LANDSAT DO PERÍODO 1975-2010**

João Paulo Domingos Gonçalves

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelos Drs. Raimundo Almeida Filho, e Edson Eyji Sano, aprovada em 30 de agosto de 2012.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CBH6CP>>

INPE
São José dos Campos
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Gonçalves, João Paulo Domingos.

G588a

Análise da ocupação do cerrado pelo agronegócio no sul do Maranhão e Piauí usando imagens landsat do período 1975-2010 / João Paulo Domingos Gonçalves. – São José dos Campos : INPE, 2012.

xxiv+79 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/07.25.14.23-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.

Orientadores : Drs. Raimundo Almeida Filho, e Edson Eyji Sano.

1. expansão agrícola. 2. sensoriamento remoto. 3. agronegócio. 4. Alto Parnaíba. I.Título.

CDU 910.26(812.1/812.2)

Copyright © 2012 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2012 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Mestre** em

Sensoriamento Remoto

Dra. Teresa Gallotti Florenzano



Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dr. Raimundo Almeida Filho



Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Edson Eyji Sano



Orientador(a) / EMBRAPA / Brasília - DF

Dr. Yosio Edemir Shimabukuro



Membro da Banca / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Paulo Roberto Meneses



Convidado(a) / UnB / Brasília - DF

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

Aluno (a): **João Paulo Domingos Gonçalves**

São José dos Campos, 30 de Agosto de 2012

“O heroísmo do trabalho está em finalizar cada tarefa.”

(São José Maria Escrivá)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, José Carlos e Ana Maria, por todo o amor, carinho e incentivo aos estudos.

Ao meu avô Diomar, pelo companheirismo, compreensão e muitas alegrias durante esses dois anos de mestrado.

A todos os familiares e amigos que de certa forma contribuíram para que esta dissertação se tornasse realidade. Em especial, aos amigos de Campinas e São José dos Campos que moram no meu coração.

Aos grandes amigos Sérgio e Marcelo, parceiros para todas as ocasiões.

Aos Drs. José Teixeira filho, Marcos César Ferreira e Marcelo Saba, pelo incentivo para ingressar no INPE.

Aos meus orientadores Dr. Raimundo Almeida Filho e Dr. Edson Eyji Sano, pela confiança, incentivo e total apoio no desenvolvimento do trabalho.

Ao Heleno da Silva Bezerra e ao Péricles Almeida, pelo suporte na campanha de campo.

Ao Dr. Maurício Alves Moreira, pelos conselhos e contribuições durante o mestrado.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, a todos os funcionários e professores (pesquisadores) e a todos os amigos da turma PGSER 2010.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos durante o mestrado.

RESUMO

A crescente ocupação dos cerrados do Brasil Central para a produção de *commodities* tem ocasionado acentuadas perdas de cobertura vegetal natural desse bioma. A análise de imagens de sensoriamento remoto permite avaliar a dimensão dessa ocupação e sua dinâmica no tempo, fornecendo subsídios para a implantação de políticas de sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, o objetivo geral deste estudo foi analisar a dinâmica de ocupação agrícola dos cerrados na região sul dos estados do Maranhão e do Piauí. Foi analisado um conjunto de imagens do LANDSAT dos sensores MSS e TM obtidas nos anos de 1975, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010. As imagens foram radiometricamente corrigidas e convertidas em imagens-fração (vegetação, solo e água) e classificadas utilizando uma abordagem que combinou segmentação, classificação não-supervisionada e edição orientada por composições coloridas. Após a classificação das imagens LANDSAT, as áreas referentes à expansão agrícola foram quantificadas em um banco de dados, com o objetivo de que, com intervalo de cinco anos, fosse calculada a apropriação do espaço geográfico pelo agronegócio na área de estudo. Os resultados mostraram que essa área vem sendo ocupada em ritmo acelerado. Nos anos de 1975 e 1980, menos de 0,1% da área que pode ser utilizada pela agroindústria (platôs) havia sido ocupada. Em 1985, a ocupação correspondia a 2%, saltando para aproximadamente 11% no ano de 1990, 12% em 1995, 21% em 2000, 30% em 2005 e 39% em 2010. Se o ritmo de ocupação da região se mantiver na taxa verificada na última década, restarão apenas 38% da vegetação nativa em 2020, a qual será totalmente substituída até 2030. Os resultados obtidos atestam a eficácia da abordagem metodológica utilizada na análise da apropriação do espaço geográfico pelo agronegócio na área de estudo, a qual pode ser estendida para toda a área correspondente ao bioma Cerrado.

**ANALYSIS OF THE OCCUPATION OF THE CERRADO BY AGRIBUSINESS
ACTIVITIES IN SOUTHERN MARANHÃO AND PIAUÍ USING LANDSAT
IMAGES OF THE PERIOD 1975-2010**

ABSTRACT

The increasing occupation of the tropical savannas of central Brazil (Cerrado) for the production of commodities has caused significant losses of this biome. The analysis of remote sensing images allows assessing the extent of occupation and its temporal dynamics, providing support for the implementation of policies for environmental sustainability. The objective of this study was to analyze the dynamics of land occupation by agribusiness activities of an area covered by savanna vegetation in the southern parts of the Maranhão and Piauí States. We analyzed a set of LANDSAT images acquired by the MSS and TM sensors, obtained for the years 1975, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000 and 2010. The images were radiometrically corrected and converted into fraction images (vegetation, soil and water) and classified using an approach that combines segmentation, unsupervised classification, and editing techniques supported by color composites. After classification of LANDSAT images, the areas related to agricultural expansion was quantified in a database, in order that, with an interval of five years, was calculated appropriation of geographic space by agribusiness in the study area. Results showed that this area has been occupied quickly. In 1975 and 1980, less than 0.1% of areas was occupied. In 1985, the occupation was 2%, rising to approximately 11% in 1990, 12% in 1995, 21% in 2000, 30% in 2005 and 39% in 2010. If the rate of occupation of the region remains similar to the rate of the last decade, there will be only 38% of native vegetation in 2020 or it will be fully replaced until 2030. The results demonstrated the effectiveness of the methodological approach used in the analysis of the appropriation of geographic space by the agribusiness in the study area, which can be extended to the entire area corresponding to the Brazilian Cerrado biome.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1- Distribuição espacial das classes de cobertura e uso da terra no Bioma Cerrado.....	6
Figura 2.2- Densidade demográfica na região do Cerrado Brasileiro entre os anos de 1900 e 2000.	9
Figura 2.3- Área plantada no sul do Maranhão e Piauí no período compreendido entre os anos de 1990 e 2010.	13
Figura 3.1- Localização de área de estudo no sul dos estados do Maranhão e Piauí, limites de municípios e principais drenagens. As áreas em marro indicam os platôs onde ocorrem as lavouras, que assumem denominações de serras.	27
Figura 3.2- Estrada carroçável com cerca de 160 km, transitável apenas por veículos com tração, que leva até os municípios de Santa Filomena e Alto Parnaíba.	30
Figura 3.3- Área plantada nos municípios da área de estudo no Período Compreendido entre os anos de 1990 e 2010.....	32
Figura 3.4- Modelo digital de elevação da área de estudo, derivado a partir de dados do SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission).....	36
Figura 3.5- Aspecto da vegetação de cerrados nos platôs e solos em preparação para o plantio na região de Alto Parnaíba, Piauí.	38
Figura 4.1- Fluxograma dos procedimentos da metodologia.	44
Figura 4.2- Fotografia de campo ilustrando procedimento de coleta de amostras de solos com três repetições.....	51
Figura 4.3- Distribuição dos pontos de coleta de informações no campo.	51
Figura 5.1- Indicação das áreas de lavoura (vermelho) mapeadas com imagens LANDSAT-MSS obtidas no ano de 1975, perfazendo um total de 9.1 km ² , ou menos de 1% do total das áreas agricultáveis sobre os platôs.	54
Figura 5.2- Indicação das áreas de lavoura (vermelho) mapeadas com imagens LANDSAT MSS obtidas no ano de 1980, perfazendo um total de 86 km ² , ou menos de 1% do total das áreas agricultáveis sobre os platôs.	56
Figura 5.3- Indicação das áreas de lavoura (vermelho) e de rebrota da vegetação (verde) mapeadas nas imagens LANDSAT TM obtidas no ano de 1985, perfazendo um total de 189,4 km ² , ou 2% do total da área agricultável. As área de rebrota cobriam 111 km ² , equivalentes a cerca de 58% de áreas previamente desmatadas.	57

Figura 5.4-	Indicação das áreas de lavoura (vermelho) e de rebrota da vegetação (verde) mapeadas nas imagens LANDSAT TM obtidas no ano de 1990, perfazendo um total de 744 km ² , ou 11% do total da área agricultável. As área de rebrota cobriam 241 km ² , equivalentes a cerca de 32% de áreas previamente desmatadas.	58
Figura 5.5-	Indicação das áreas de lavoura (vermelho) e de rebrota da vegetação (verde) mapeadas nas imagens LANDSAT TM obtidas no ano de 1995, perfazendo um total de 802 km ² , ou 12% do total da área agricultável. As área de rebrota cobriam 335,8 km ² , equivalentes a cerca de 41,8% de áreas previamente desmatadas.	59
Figura 5.6-	Indicação das áreas de lavoura (vermelho) e de rebrota da vegetação (verde) mapeadas nas imagens LANDSAT TM obtidas no ano de 2000, perfazendo um total de 1.577 km ² , ou 21% do total da área utilizável pela agroindústria. As área de rebrota cobriam 336 km ² , equivalentes a cerca de 21% de áreas previamente desmatadas.	61
Figura 5.7-	Indicação das áreas de lavoura (vermelho) e de rebrota da vegetação (verde) mapeadas nas imagens LANDSAT TM obtidas no ano de 2005, perfazendo um total de 2258,6 km ² , ou 30% do total da área utilizável pela agroindústria. As área de rebrota cobriam 492,6 km ² , equivalentes a cerca de 21,8% de áreas previamente desmatadas.	62
Figura 5.8-	Indicação das áreas de lavoura (vermelho) e de rebrota da vegetação (verde) mapeadas nas imagens LANDSAT TM obtidas no ano de 2010, perfazendo um total de 3.065 km ² , ou 39% do total da área potencial agricultável. As área de rebrota cobriam 388 km ² , equivalentes a cerca de 13% das áreas de agricultura ativa.	63
Figura 5.9-	Indicação da abertura de uma área agrícola na área de estudo no ano de 2010 com utilização de queimadas e desmatamento da vegetação nativa.	64
Figura 5.10-	Evolução das áreas de solo exposto e rebrota na área de estudo nos últimos 30 anos.	65
Figura 5.11-	Evolução da ocupação das áreas nos últimos trinta anos e projeção futura, indicando que se a taxa de ocupação da última década se mantiver, ao final de 2020 apenas cerca de 38% de área agricultável não terá sido inteiramente ocupada, o que ocorreria até o final da próxima década.	666
Figura 5.12-	Ph referente às amostras de solos coletadas na profundidade de 20-30 cm.	677
Figura 5.13-	Concentração de fósforo presente nas amostras de solos coletadas na profundidade de 20-30 cm.	688
Figura 5.14-	Concentração de potássio presente nas amostras de solos coletadas na profundidade de 20-30 cm.	688

Figura 5.15-	Concentração de cálcio presente nas amostras de solos coletadas na profundidade de 20-30 cm.	699
Figura 5.16-	Concentração de magnésio presente nas amostras de solos coletadas na profundidade de 20-30 cm.	69

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 3.1- População e densidade populacional dos municípios da área de estudo.....	31
Tabela 3.2- População que vive abaixo da linha da pobreza nos municípios da área de estudo nos anos de 1991 e 2010.	33
Tabela 3.3- Renda apropriado pelos 20% mais pobres e ricos nos municípios da área de estudo no ano de 2010.....	33
Tabela 3.4- Índice de Desenvolvimento de educação básica no municípios da área de estudo no ano de 2010.....	34
Tabela 3.5- Percentual de conclusão do Ensino Fundamental de jovens de 15 a 17anos nos municípios da área de estudo no ano de 2010.....	35
Tabela 3.6- Proporção de crianças menores de 2 anos desnutridas (%) nos municípios da área de estudo nos anos de 1999 e 2011.....	35
Tabela 4.1- Relação das imagens LANDSAT dos sistemas MSS e TM utilizadas.....	42

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CTC	Capacidade de Troca Catiônica
DM	Densidade máxima
DR	Densidade relativa
DS	Densidade do solo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENVI 4.3	<i>Environment for Visualizing Images</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IHO	Intervalo hídrico ótimo
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MLME	Modelo linear de mistura espectral
MSS	Multispectral Scanner
PPI	<i>Pixel Purity Index</i>
POLOCENTRO	Programa de Desenvolvimento dos Cerrados
PRODES	Projeto de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal.
PRODECER	Programa de Cooperação Nipo-Brasileira de Desenvolvimento dos Cerrados
SNIRH	Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos
SPRING 4.3	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SUDAM	Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
TM	Thematic Mapper
UTM	Universal Transversa de Mercator

LISTA DE SÍMBOLOS

C	Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
N	Nitrogênio

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Justificativa	3
CAPÍTULO 2	5
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1. O Bioma Cerrado	5
2.1.1. O Cerrado nos Estados do Maranhão e Piauí.....	7
2.2. A Ocupação do Cerrado.....	9
2.2.1. A Ocupação Recente do Cerrado no Sul do Maranhão e Piauí.....	12
2.3. O Agronegócio	14
2.3.1. A Expansão do Agronegócio.....	15
2.4. Monitoramento do Cerrado por meio de Dados de Sensoriamento Remoto..	17
2.5. Qualidades de Solos	18
2.5.1. Parâmetros Físicos.....	19
2.5.2. Parâmetros Químicos.....	23
2.5.3. Parâmetros Biológicos	24
CAPÍTULO 3	27
ÁREA DE ESTUDO	27
3.1 Localização e vias de acesso.....	27
3.2. Aspectos histórico-sociais	30
3.3. Aspectos Fisiográficos	36
3.3.1. Geomorfologia	36
3.3.2 Clima	37
3.3.3. Hidrografia.....	37
3.3.4. Vegetação	37
3.3.5. Pedologia.....	39
3.3.6. Geologia	39
CAPÍTULO 4	41
MATERIAIS E MÉTODOS	41
4.1. Materiais	41
4.1.1. Imagens Orbitais.....	41
4.1.2. Dados auxiliares.....	42
4.2. Métodos	43
CAPÍTULO 5	53
RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
5.1 Análise das imagens classificadas	53
5.1.1 Imagem LANDSAT MSS de 1975.....	53
5.1.2 Imagem LANDSAT MSS de 1980	55

5.1.3.	Imagem LANDSAT TM de 1985.....	56
5.1.4.	Imagem LANDSAT TM de 1990.....	57
5.1.5.	Imagem LANDSAT TM de 1995.....	59
5.1.6.	Imagem LANDSAT TM de 2000.....	60
5.1.7.	Imagem LANDSAT TM de 2005.....	61
5.1.8.	Imagem LANDSAT TM de 2010.....	62
5.1.9.	Imagem LANDSAT TM de 2011.....	63
5.2.	Análise dos resultados da série histórica e prognósticos.....	65
5.3.	Análise dos Solos da Região.....	66
CAPÍTULO 6	71
CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Historicamente, tem-se verificado um uso desordenado dos biomas brasileiros, com graves consequências ambientais para suas biodiversidades, que são consideradas das mais ricas do planeta (CARDILEY e FOLEY, 2003). O uso inadequado das terras brasileiras iniciou-se pela Mata Atlântica, logo em seguida ao descobrimento do Brasil, primeiramente com a exploração do pau-brasil e implantação dos engenhos de açúcar, seguindo-se o ciclo do café. Como consequência dessa ocupação, apenas cerca de 12% desse bioma estão preservados nos dias de hoje (LAGOS e MULLER, 2007). A partir da década de 1970, essa ação antrópica estendeu-se para Amazônia, voltada para a criação de bovinos. Dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) mostram que, até 2010, 742.782 km² desse bioma já tinham sido desmatados (INPE, 2010).

O bioma Cerrado, com cerca de 2.047.000 km², também vêm sendo ocupado a taxas elevadas. Estudos recentes constataram que aproximadamente 50% da vegetação dos cerrados já foram destruídas, com taxas de desmatamentos mais elevadas do que aquelas observadas na Amazônia (MACHADO et al., 2004; SANO et al., 2008, 2010).

Inicialmente a pecuária bovina foi o principal agente de ocupação dos cerrados do Brasil Central. Embora essa atividade ainda seja um forte fator de pressão sobre esse bioma, a partir dos anos 1980, com o desenvolvimento de variedades resistentes à toxidez dos solos, a cultura da soja pela agroindústria assumiu o papel de principal vetor de ocupação dos cerrados (KLINK e MACHADO, 2005; BRANNSTROM et al., 2008). Além da soja, a produção de outras *commodities* como algodão, arroz e milho também tem contribuído para a ocupação desse bioma.

A despeito da carência de infraestrutura, notadamente estradas e energia elétrica, a região vem sendo ocupada em ritmo bastante acelerado. A região do

vale do Alto Rio Parnaíba, no sul dos estados do Maranhão e Piauí, é atualmente a última fronteira de ocupação dos cerrados pela agroindústria.

Os números relativos ao percentual de terras ocupadas no Cerrado têm apresentado divergências. Isto decorre principalmente pelo fato de alguns estudos considerarem a área original de cerrado devastada, como propuseram Machado et al. (2004), e outros considerarem como ocupadas, regiões nas quais a ação antrópica se faz presente no momento atual (KLINK e MOREIRA, 2002). Não obstante os números apresentarem divergências, todos os cenários são preocupantes quando se leva em conta a velocidade com que o processo de ocupação vem ocorrendo.

Por suas características de cobertura sinótica e repetitiva, imagens de sensoriamento remoto constituem-se nos dados mais apropriados para analisar a expansão de fronteira agrícola em áreas extensas como é o caso do Cerrado. Dentre as diversas opções de imagens de satélite atualmente disponíveis, obtidas com diferentes resoluções espaciais, espectrais e temporais, as imagens da série LANDSAT são as mais adequadas por causa da disponibilidade de uma série histórica de quase 40 anos de aquisição.

Menke et al. (2009) e Sano et al. (2011) utilizaram imagens multitemporais do LANDSAT-TM/ ETM+ para analisar a expansão da fronteira agrícola do oeste do estado da Bahia. Menke et al. (2009) utilizaram técnicas de interpretação visual no período compreendido entre os anos de 1987 e 2007 e Sano et al. (2011) utilizaram a segmentação de imagens por crescimento de regiões do período compreendido entre os anos de 1985 e 2005.

1.1 Objetivos

O objetivo geral do estudo é analisar o processo de ocupação da última fronteira agrícola dos cerrados na região do vale do Alto Rio Parnaíba, por meio da análise de uma série temporal de imagens LANDSAT, adequadamente realçadas e classificadas.

Como objetivos específicos, o estudo visa:

- i. Produzir mapas multitemporais (1975-2010) de ocupação agrícola da região sul dos estados do Maranhão e Piauí por meio de interpretação de imagens do satélite LANDSAT; e
- ii. Analisar a dinâmica social, econômica e de fertilidade de solos da região, decorrentes da ocupação agrícola recente.

1.2 Justificativa

A região dos cerrados no Sul dos Estados do Maranhão e Piauí, apesar de sua importância socioambiental, ainda não foi objeto de estudos acadêmicos na área de Sensoriamento Remoto. Esta região não possui uma série histórica de dados referentes à ocupação agrícola em termos absolutos ou relativos, tampouco foram realizados prognósticos referentes ao futuro da apropriação do espaço geográfico pelo agronegócio na área de estudo. As pesquisas existentes foram realizadas em regiões próximas a esta fronteira agrícola do Cerrado brasileiro. Portanto, este estudo é de grande importância para conhecer o processo de apropriação dessa região nas últimas três décadas, além de contribuir metodologicamente para estudos dessa natureza.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. O Bioma Cerrado

O Cerrado constitui o segundo maior bioma do Brasil, superado apenas pela floresta amazônica. Com uma extensão de aproximadamente 2.047.000 km² (IBGE, 2005), ocupa parte dos Estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Piauí, São Paulo e Tocantins (Figura 2.1). Contudo, há variações consideráveis na extensão do bioma em questão. Basicamente, essas diferenças decorrem do fato da inclusão ou não de áreas de transição existentes nas suas bordas. As áreas de transição apresentam uma paisagem bastante complexa e heterogênea, com elementos característicos de duas ou mais formações vegetacionais, ou seja, configuram-se em uma grande faixa diferenciada que separa dois biomas distintos.

Este bioma concentra um terço da biodiversidade nacional e 5% da flora e fauna mundiais (PRIMACK, 2001). Em seu território, encontra-se uma diversificada quantidade de espécies vegetais, consequência da grande diversidade de ambiente. Dentre as espécies presentes no Cerrado, muitas estão ameaçadas de extinção, sendo encontradas apenas em determinadas localidades.

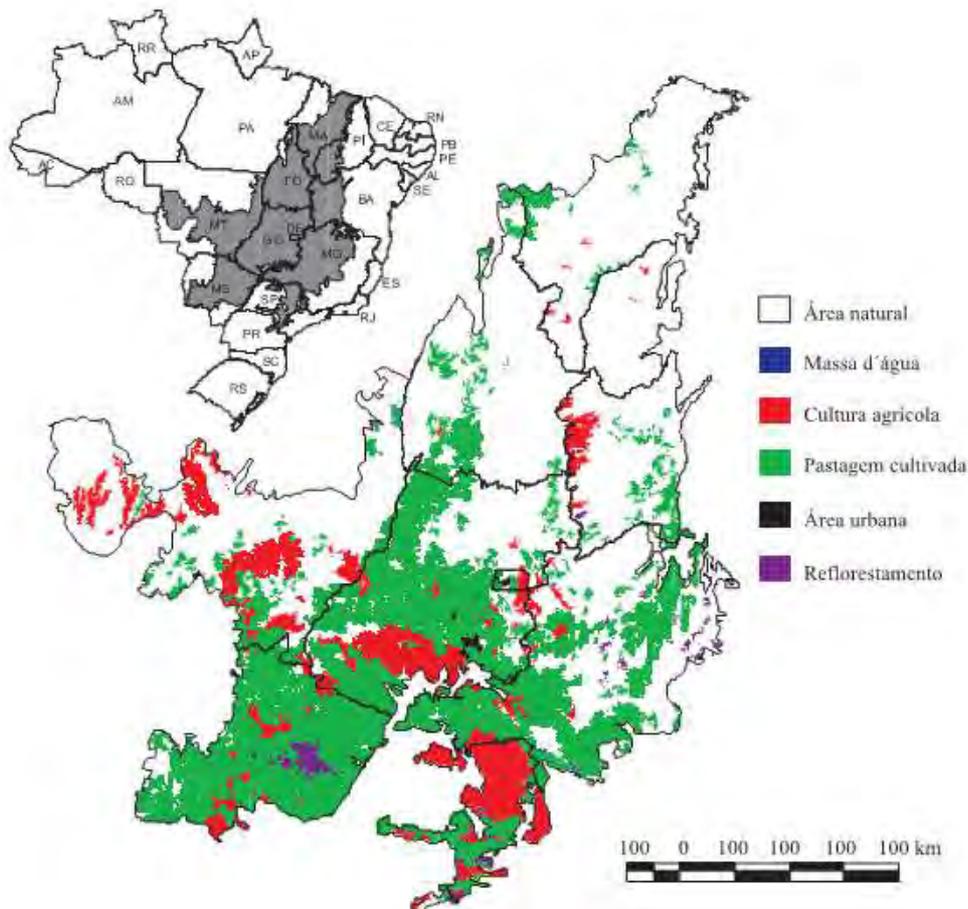


Figura 2.1 - Distribuição espacial das classes de cobertura e uso da terra no Bioma Cerrado no ano de 2002. Fonte: Sano et al. (2008).

O clima predominante no Cerrado é o tropical quente e subúmido, com duas estações bem definidas: a seca, durante os meses de abril a setembro, e a chuvosa, de outubro a março. Entretanto, nas serras e planaltos altos de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul, registram-se quedas sensíveis de temperaturas, inclusive com a ocorrência de geadas, o que caracteriza o clima tropical de altitude.

A temperatura média anual do Cerrado é em torno de 22-23 °C, mas as temperaturas máximas absolutas mensais podem chegar a 40 °C, sem variações drásticas ao longo dos meses do ano. Diferentemente das máximas mensais, as mínimas absolutas mensais apresentam variações sensíveis, principalmente nos meses de maio, junho e julho.

O relevo das áreas de Cerrado é geralmente plano ou com suaves ondulações, apresentando enormes planaltos ou chapadões. Em altitudes que variam entre 300 m e 600 m, estão incluídas aproximadamente 50% de suas terras. Altitudes que ultrapassam os 900 m estão incluídas apenas 5,5% das terras do bioma.

Os lençóis freáticos do Cerrado são de suma importância para a hidrografia brasileira. Com exceção das bacias do Uruguai e do Atlântico Sudeste, estes são responsáveis pela alimentação das maiores bacias hidrográficas brasileiras.

Outra característica importante do Cerrado está relacionada com a capacidade de armazenamento de carbono (SAWYER, 2002). A grande extensão de suas florestas com vegetação de raízes profundas compensa a ausência de florestas densas, originando assim uma vasta “floresta subterrânea” de raízes profundas. Estas características são de significativa importância em termos de absorção de carbono para a atmosfera terrestre.

Os solos predominantes no Cerrado brasileiro são os latossolos, que ocorrem em aproximadamente 50% do bioma (SILVA et al., 2005). Os latossolos do Cerrado apresentam cor vermelhada ou vermelha-amarelada, baixa fertilidade e alta acidez. Eles são profundos, apresentam ótima drenagem e estão assentados em relevos planos ou levemente ondulados. Estas últimas características permitiram, a partir do aprimoramento das técnicas de plantio na década de 1970 (calagem, adubação e irrigação), a utilização das terras deste bioma para o cultivo agrícola.

2.1.1. O Cerrado nos Estados do Maranhão e Piauí

O cerrado Maranhense, localizado majoritariamente no planalto da região sudeste do Estado, ocupa aproximadamente 10 milhões de hectares, cerca de 30% da área total de seu território. O bioma em questão abrange 33

municípios, sendo que 23 deles possuem esta vegetação em praticamente todo seu território. Já o Estado do Piauí apresenta aproximadamente 11,5 milhões de hectares de Cerrados, correspondendo a aproximadamente 46% do território piauiense. Este bioma ocorre em 20 municípios piauienses, localizados em quatro microrregiões distintas.

Localizados em áreas contíguas, o cerrado da região apresenta características físicas comuns nos Estados do Maranhão e Piauí, destacando-se a média pluviométrica, clima, tipos de solos, vegetação e recursos hídricos. A média pluviométrica nos Cerrados maranhenses e piauienses pode atingir 1.000 mm, mantendo-se quase sempre superior a 600 mm. Predomina, na região, o clima tropical subúmido quente e, em menor quantidade, o semiárido quente. A temperatura média é de 30 °C, acima da média do domínio dos Cerrados, que é de 22-23 °C.

Em relação à pedologia, os solos vermelhos-amarelos e concrecionários tropicais são encontrados em grande quantidade na região. Contudo, deve-se salientar a existência de Gleissolos e Neossolos Quartzarênicos, apesar de serem encontrados em menor escala.

Predominam na região os seguintes tipos de vegetação: Campo Cerrado, Cerrado e Cerradão. Geralmente existe uma baixa densidade de vegetação, com espécies de pequeno porte, troncos com formações tortuosas e galhos retorcidos, consequência da origem destes vegetais, que tiveram que se adaptar às condições naturais da região.

A região apresenta um grande potencial de águas subterrâneas, artesianas e superficiais. Os principais rios que abastecem os cerrados da região são: Uruçuí Preto, Uruçuí Vermelho, Paraim, Gurguéia e Parnaíba, este último responsável pela formação do grande lago da Barragem de Boa Esperança, além de favorecer as grandes produções agrícolas que necessitam da tecnologia da irrigação.

2.2. A Ocupação do Cerrado

A ocupação do Cerrado brasileiro ocorreu principalmente após a instalação da capital federal no centro-oeste do país na década de 1960. Nesta época, no entanto, já havia uma população de aproximadamente onze milhões de pessoas morando na região, sendo mais da metade desta, residente em áreas rurais. Até então, o Cerrado permanecia praticamente sem grandes alterações ou agressões ao seu ecossistema. A Figura 2.2 mostra a evolução da população do Cerrado entre os anos de 1872- 2000.

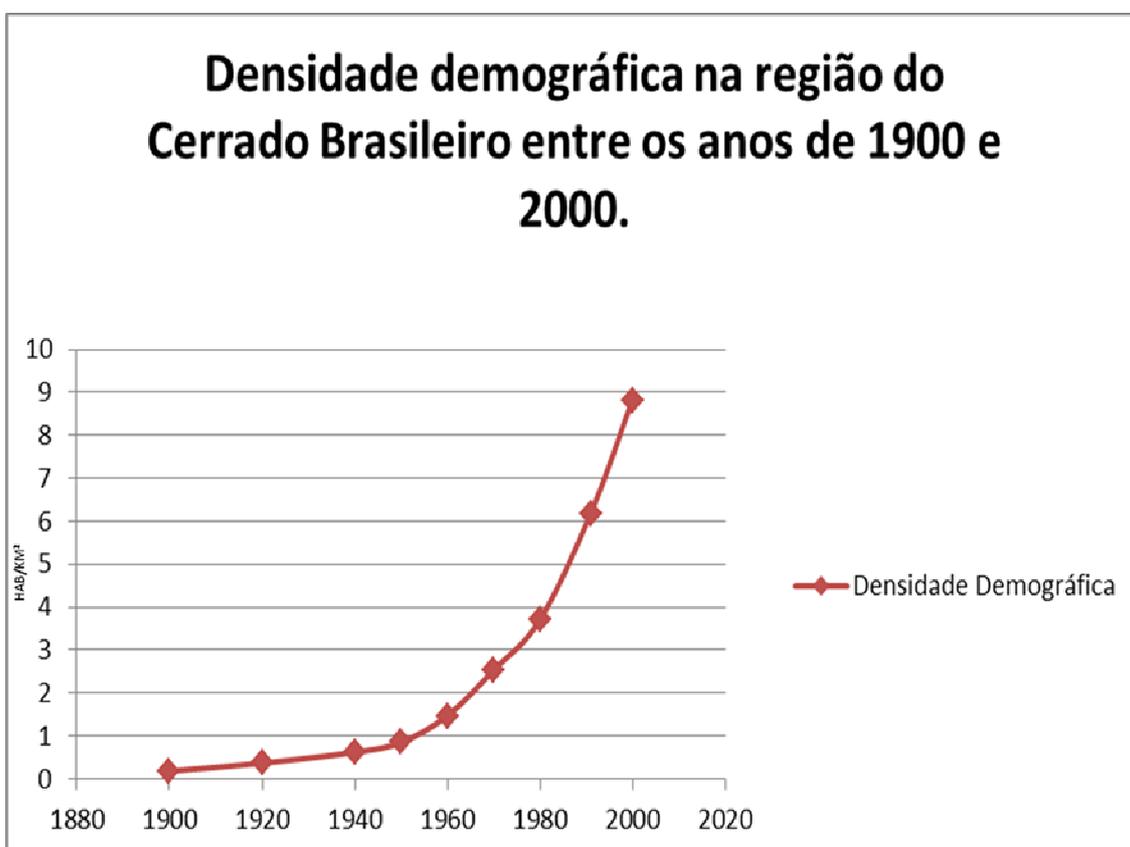


Figura 2.2 - Densidade demográfica na região do Cerrado Brasileiro entre os anos de 1900 e 2000. Fonte: adaptado de Klink e Moreira (2002).

Com a construção da nova capital brasileira, surgiram também novos corredores de transporte que possibilitaram um avanço ainda maior da ocupação do Cerrado. Destacam-se, neste âmbito, a rodovia Belém-Brasília,

Brasília-Salvador, como facilitadores no processo de ocupação do Cerrado Setentrional, situado principalmente no oeste da Bahia, sul do Maranhão e sudoeste do Piauí e Tocantins.

O Estado brasileiro teve fundamental importância no processo de ocupação da região (MARQUELLI, 2003). Na década de 1970, houve a implementação de programas de desenvolvimento do Cerrado. Dentre as principais características destes projetos, pode-se destacar o uso intensivo de tecnologia e capital em terras, cujos preços eram atrativos e principalmente favoráveis à mecanização.

Dentre os programas de desenvolvimento do Cerrado, pode-se destacar o POLOCENTRO (Programa de Desenvolvimento dos Cerrados), criado em 1975 e que beneficiou principalmente os produtores de médio e grande porte dos Estados de Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins, Minas Gerais e Mato Grosso. Outro evento importante adotado por este programa refere-se ao incentivo financeiro à Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), para aumento nas pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de novas tecnologias agrícolas e comerciais, priorizando o cultivo de soja.

A cooperação entre o Brasil e o Japão favoreceu o desenvolvimento de outro programa relacionado ao desenvolvimento do Cerrado. Em 1976, foi criado o PRODECER (Programa de Cooperação Nipo-Brasileira de Desenvolvimento dos Cerrados). Este, juntamente com o POLOCENTRO, impulsionou a introdução de tecnologias modernas na região e valorizou sua ocupação de forma intensa. Com o apoio governamental, os produtores passaram a ver o Cerrado como um local propício para o desenvolvimento da agricultura. Com os subsídios e incentivos do Estado, foi reduzido não somente o capital necessário para o investimento, mas também o próprio risco de investimento (RIBEIRO, 2005).

Com o aumento das pesquisas e investimentos, desde a década de 1970, vem se desenvolvendo um sistema agrário no Cerrado, cujo objetivo principal é a

alta produtividade e alta produção. Nos dias atuais, uma grande parte do excedente de produção é exportada para o exterior. Segundo Mazetto (2005), os empresários rurais, provenientes principalmente do Triângulo Mineiro e São Paulo e grandes corporações agroindustriais, são responsáveis pela articulação financeira, provimento de maquinários e insumos, fontes de energia, comunicações, pesquisas, produção, beneficiamento e circulação da produção agrária do Cerrado.

As localidades, inicialmente utilizadas para produção agrária, estavam situadas ao redor do Distrito Federal, posteriormente, estas foram se dissipando para o restante do Cerrado, principalmente nos interiores do Mato Grosso, Tocantins e Goiás, sendo atualmente também encontradas em regiões do bioma Cerrado nos Estados do Maranhão e Piauí.

A partir da década de 1970, houve uma inversão na utilização das terras do Cerrado, pois as áreas valorizadas para a agricultura são as áreas de chapadas e campos, anteriormente ocupadas apenas por pastagens naturais. Contudo, as áreas de matas, que eram derrubadas para o plantio de lavouras, tornam-se pastos, após o esgotamento causado pelo arado de tração animal. Segundo Ribeiro (2005), este fato decorre da possibilidade de mecanizar todo o preparo da terra e as etapas posteriores de cultivo, causando conseqüentemente a substituição do arado de tração animal por aquele puxado por um trator.

Dentre os principais cultivos anuais presentes neste bioma, podem-se destacar a soja, o arroz, o algodão e o milho. O café irrigado apresenta destaque entre as culturas perenes. Em relação ao reflorestamento, pode-se destacar o eucalipto. Nas últimas décadas, a produção dessas culturas tem apresentado significativa expansão, principalmente a soja. A região de domínio dos Cerrados é o principal suporte da produção comercial de soja, produzindo mais da metade da soja brasileira, em aproximadamente 5% do bioma.

Essa ocupação intensa de áreas de vegetação natural tem causado sérios impactos ambientais, fato constatado por pesquisadores, organizações não governamentais e diversos setores da sociedade civil. Pode-se afirmar, portanto, que em grande parte do Cerrado ocorre uma insustentabilidade, fruto principalmente da posse nas mãos de uma pequena parcela de produtores, grandes extensões de terra, utilização de motomecanização e insumos externos ao sistema e investimento maciço de capital.

2.2.1. A Ocupação Recente do Cerrado no Sul do Maranhão e Piauí

O processo de ocupação do sul dos Estados do Maranhão e Piauí praticamente não diverge do processo de ocupação do Cerrado como um todo. Esse processo foi realizado baseando-se principalmente em dois pilares, facilidades do Estado e baixos preços da terra. Segundo Motta (1996), muito agricultores, principalmente da região sul do Brasil, se deslocaram para essa região, atraídos principalmente pela facilidade de crédito e baixos preços das terras. Diferentemente do que ocorria nessa região, as terras no sul do País apresentavam na época um expressivo aumento em seus valores, fato decorrente principalmente da alta concentração fundiária.

Contudo, o baixo preço das terras, apesar de ser fato importante em relação à ocupação da região, só se efetivou pela possibilidade de correção de um solo que era considerado impróprio. Segundo Cunha (1994), esta possibilidade tornou os solos do Cerrado um capital artificialmente produzido, processo denominado pelo autor de “construção de solos”. Esta correção de solos é fruto principalmente do uso intensivo de tecnologia, consequência das pesquisas agrícola ocorridas na época, em grande parte financiada pelo governo federal.

O processo em questão, iniciado nas décadas de 1970 e 1980, se repetiu na década de 1990. Apesar de similaridades, como a aquisição de grandes propriedades de terras, existem diferenças entre os dois períodos. Na década de 1990, ocorre o efetivo uso produtivo da terra, e não somente a compra de

grandes propriedades com objetivos especulativos verificados da década de 1970.

O uso produtivo da terra se deu em consonância com o aumento da demanda internacional de soja. Esta crescente necessidade consolidou na região o processo de ocupação já instalado em outras regiões do Cerrado brasileiro. Segundo Araújo (2006), a produção de soja ocorre entre os vales dos rios Parnaíba e Gurguéia, principalmente na mesorregião Sudoeste Piauiense e nas microrregiões de Alto Parnaíba, Bertolínea e Alto Médio Gurguéia. A Figura 2.3 apresenta a produção agrícola no sul do Maranhão e Piauí no período compreendido entre os anos de 1990 e 2010.



Figura 2.3 - Área plantada no sul do Maranhão e Piauí no período compreendido entre os anos de 1990 e 2010. Fonte: IBGE (2010).

Esta intensa produção de soja é comandada principalmente por investidores do setor privado das regiões Sul e Sudeste (CODEVASF, 2005). A grande quantidade de área ocupada contrasta com o decréscimo das áreas de mata nativa de Cerrado. Portanto, pode-se perceber que o processo de ocupação do cerrado do Sul dos Estados do Maranhão e Piauí aconteceu de forma similar

ao restante do Bioma. Neste, foram favorecidos os grandes produtores, principalmente pelo uso de tecnologias e insumos modernos.

O agronegócio presente na região não tem apenas potencializado a produção e produtividade, mas também tem alterado o perfil econômico dos municípios da região, à medida que ocorre o incremento do comércio e supervalorização de produtos e serviços. O alto uso de tecnologia muitas vezes contrasta com o falta de capacitação dos moradores da região, que impedidos de trabalhar nas grandes propriedades, são obrigados a migrar para os espaços urbanos, uma consequência perversa do modelo assentado na grande propriedade, monocultura e concentração de renda.

2.3. O Agronegócio

O Brasil, país de dimensões continentais, possui a quinta posição mundial em relação à área geográfica. Do ponto de vista de áreas cultiváveis, essa posição se eleva, e o Brasil aparece em primeiro lugar. A quantidade significativa de terras agricultáveis e o fato de boa parte destas ainda não serem utilizadas, possibilita ao país despontar como um dos líderes no setor agrícola mundial. Uma conjunção de fatores naturais (abundância de água, disponibilidade de solo e clima favorável) corrobora para que esta posição fosse alcançada.

Neste contexto, surge um modelo produtivo conhecido como Agronegócio, que conjuga atividades do setor rural e segmentos da indústria e do comércio. Christoffoli (2000) definiu o agronegócio como um “agrupamento de interesses políticos e econômicos ligados ao latifúndio, ao grande capital financeiro e agroindustrial, com ramificações no meio rural, na produção primária, na agroindústria e no setor financeiro, e com forte representação político institucional”.

A atividade do agronegócio trouxe consequências positivas e negativas para o país. Do ponto de vista positivo, podem ser destacados o aumento da produção agropecuária, superávits na balança comercial e dinamização da economia em

regiões ou setores onde se observava um dinamismo socioeconômico de pequena robustez. Contrastando os pontos positivos, emerge principalmente a questão da sustentabilidade ambiental deste modelo e suas implicações sociais nas regiões nas quais vem sendo aplicado.

2.3.1. A Expansão do Agronegócio

As mudanças no meio rural brasileiro tiveram início nos anos de 1950, concomitantemente com o surgimento do termo agronegócio. Segundo Delgado (1985), estas mudanças são fruto das políticas públicas com o objetivo de acelerar o desenvolvimento no campo. A partir da década de 1960, esse processo de modernização foi intensificado e a agricultura brasileira experimentou um processo de avanço sem precedentes, como hoje é verificado. Contudo, este processo de modernização não se deu de forma igualitária, ou seja, nem todas as regiões brasileiras e seus cidadãos foram beneficiados por este desenvolvimento.

A região centro-sul foi a primeira no Brasil a vivenciar a expansão do agronegócio, para logo se estender a outras regiões mais afastadas, onde pode se verificar uma ligação direta e intensa entre a indústria e o campo. Neste momento, o mercado internacional passou a ser um vetor de demanda dos produtos gerados pelo agronegócio instalado no espaço rural brasileiro.

Para viabilizar a crescente produção e as demandas internas e externas, o Estado tornou-se um agente ativo, disponibilizando empréstimos e facilidades na aquisição de insumos, máquinas, e equipamentos industrializados. Neste contexto, surgiram então os complexos agroindustriais, nos quais existe uma forte ligação entre os setores agrícolas, industriais, comerciais e financeiros.

Os anos de 1970 e 1980 podem ser definidos como um período de crédito fácil e acessível. O capital não foi distribuído de forma racional e igualitária, pois foram privilegiados os grandes produtores e empresas. Como consequência, a

concentração fundiária agrícola aumentou ainda mais no país, com afastamento dos pequenos agricultores. Segundo Kautsky (1986), surgiu a tendência de industrialização da agricultura pelo capital, cuja forma de produzir é dependente dos interesses dos grupos sociais que atuam no complexo agroindustrial. Estes grupos possuem força e condições sociais e políticas para ditar o ritmo e magnitude de produção agrícola.

A lógica de mercado neoliberal, que marcou os anos de 1990, também marcou suas características no espaço rural. Houve uma clara mudança na política de inserção do Estado na atividade, que passou a ser menos atuante na economia. A década de 1990 marcou também a participação de empresas transnacionais no agronegócio. Este fato foi consequência da abertura comercial imposta pelo governo brasileiro neste momento. Concomitantemente, ocorreu no país a eliminação de subsídios e controles de preços. Esta transformação gerou a necessidade de novas terras para produção. A escassez e o alto preço das terras no Centro-Sul do país ocasionaram um avanço em direção aos Cerrados e à Floresta Amazônica.

O mercado internacional, que nos anos de 1980 e 1990 serviu para impulsionar a expansão do agronegócio nos cerrados, tem sido fundamental na substituição das áreas de pastagem por soja, algodão e milho. Segundo Siqueira (2004), o impacto da expansão da cultura da soja na economia nacional pode ser tão ou mais significativo que aqueles gerados pelos ciclos da cana-de-açúcar e café. Atualmente, a cultura da soja tem sido de suma importância econômica para regiões onde, em tempos pretéritos, não havia interesses agrícolas, como no oeste da Bahia e no sul do Piauí e Maranhão.

Desse modo, a expansão do agronegócio foi pautada por interesses locais, regionais, nacionais e internacionais. Nos últimos anos, a realidade do agronegócio brasileiro sofreu modificações, e que tiveram papel primordial na constituição das fronteiras agrícolas brasileiras, sobretudo na Amazônia e no Cerrado Brasileiro.

2.4. Monitoramento do Cerrado por meio de Dados de Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto é a técnica de obtenção de dados (por exemplo, imagens) de objetos ou feições da superfície terrestre sem que haja um contato físico entre sensor e objeto (NOVO, 1989). Essa técnica é baseada nas diferentes interações da radiação eletromagnética com os alvos terrestres que ocorrem em diferentes intensidades, dependendo do comprimento de onda da radiação. O fato do sistema obter dados sobre um objeto ou alvo (planta, solo, água) sem ter nenhum contato direto com ele abre um leque de vantagens como ganho de tempo na aquisição da informação, além de não poluir o ambiente (pois não se utiliza de nenhum produto químico) e poder avaliar grandes áreas.

Para análise sistemática e confiável das mudanças que ocorreram e ocorrem nos biomas brasileiros, dentre eles o cerrado, dados de sensoriamento remoto são de grande importância e muitas vezes indispensáveis, visto tratar-se do monitoramento de extensas áreas em diferentes épocas (SANO et al., 2002). Imagens do satélite LANDSAT, por causa da sua série histórica de mais de 40 anos, cobertura sinótica do terreno (faixa de imageamento de 185 km) e resolução espacial de 30 metros, considerada média, têm sido uma das mais utilizadas para o monitoramento de mudanças na cobertura vegetal do Cerrado. Por exemplo, Brannstrom et al. (2008) e Jepson et al. (2010) analisaram séries históricas do satélite LANDSAT para definir padrões de ocupação agrícola do Cerrado. Numa área geográfica menor do Cerrado, no oeste da Bahia, mas com intensa atividade de produção de grãos, Menke et al. (2009) e Sano et al. (2011) analisaram dados históricos do LANDSAT de 35 anos (1985-2005) para caracterizar a expansão da fronteira agrícola dessa região.

Por causa da elevada sazonalidade climática das áreas de Cerrado, da elevada dinâmica espacial e temporal da ocupação agrícola nessas áreas e da acentuada diversidade da sua vegetação, em termos de biomassa e estrutura,

algumas técnicas de processamento digital de imagens têm sido testadas para otimizar o mapeamento e monitoramento da cobertura vegetal desse bioma. Ferreira et al. (2007) utilizaram a técnica do modelo linear de mistura espectral (MLME) para produzir o mapa de vegetação do Parque Nacional de Brasília. Silva et al. (2010) também utilizaram o MLME para discriminar a cobertura da terra do Cerrado matogrossense. Essa técnica separa cada pixel da imagem em diferentes proporções de vegetação verde (fotossintética ativa), vegetação seca (fotossinteticamente inativa) e sombra ou solo exposto. Em outras palavras, os valores digitais das imagens originais são convertidos em três imagens-fração. Cada imagem-fração representa a proporção de cada componente terrestre que contribui para a formação do pixel (SHIMABUKURO e SMITH, 1991).

Outra técnica que vem sendo aplicada mais recentemente é a análise da reflectância acumulada (NASCIMENTO e SANO, 2010; MEIRELLES e SANO, 2011). Trata-se de uma técnica simples do ponto de vista matemático e que consiste em converter os valores digitais das imagens em reflectância na superfície da Terra e, em seguida, obter a somatória das reflectâncias ao longo do ano. A imagem resultante permite melhor discriminar as classes de cobertura vegetal em relação a qualquer uma das imagens individuais que foram utilizadas na somatória (RATANA et al., 2005).

2.5. Qualidades de Solos

A qualidade de solos tem-se apresentado como peça chave para a agricultura mundial, não somente para determinar as melhores áreas de plantio, mas também para utilização sustentável do solo, pelos diversos sistemas de produção agrícola existentes. Entretanto, a clara definição e caracterização de um solo de boa qualidade não é uma questão atual, datando de muitos séculos atrás. Segundo Tótola e Chaer (2002), para que um solo funcione de maneira adequada é necessária uma interação de processos físicos, químicos e biológicos, parâmetros responsáveis por um fluxo constante e uma natureza homogênea.

A qualidade dos solos de uma determinada região é frequentemente expressa em termos de índice de qualidade de solos. Diversos índices de medição da qualidade de solos têm sido propostos na literatura, mas ainda sem um consenso sobre o indicador mais adequado para isso. A maioria utiliza, como atributos indicadores de qualidade, parâmetros físicos e químicos de solos, de forma isolada ou combinada: Herrick et al. (2001) – estabilidade de agregados; Franzluebbbers (2002) e Conceição et al. (2005) – matéria orgânica; e Turrión et al. (2007) – forma do fósforo. Em essência, eles fornecem índices que são pontuais no tempo e no espaço e são demorados e onerosos para calculá-los, pois dependem de análises físicas e químicas de amostras de solos em laboratório.

A qualidade de solos geralmente é expressa por meio de índices que são baseados na premissa de que propriedades individuais de solos sob reflorestamento, pastagens, culturas agrícolas e outros tipos de atividades antrópicas eram, inicialmente, as mesmas daquelas encontradas em solos adjacentes e mantidas com cobertura vegetal original. Índices como o proposto por Islam e Weil (2000a) são baseados na somatória das porcentagens do desvio (diferença) entre a área natural e a correspondente ocupação dessa área natural e envolvem a consideração de n parâmetros físicos e biológicos. Quanto menor o desvio, maior a qualidade do solo considerada. Cuidados que devem ser tomados no uso destes índices é a não inclusão de propriedades de solos como a textura, que é relativamente estável no tempo, ou ainda a umidade e a temperatura, que são altamente sensíveis a alterações causadas, por exemplo, por mudanças climáticas (ISLAM e WEIL, 2000b). Portanto, definir de maneira matemática a qualidade do solo não é uma tarefa fácil, contudo, é possível fazer estimativas sobre a qualidade do solo dentro de um marco de referência (REICHERT et al., 2003).

2.5.1. Parâmetros Físicos

Os parâmetros físicos são de extrema importância para o desenvolvimento das plantas (CAMPOS et al., 1995). Por serem de fácil mensuração, com respostas rápidas e de razoável precisão, são muito utilizados na caracterização de solos de uma área. Dentre os parâmetros físicos existentes estão: densidade do solo, porosidade, condutividade hidráulica, curva de retenção de água no solo e índice S, resistência mecânica do solo a penetração, intervalo hídrico ótimo e estabilidade dos agregados.

A densidade do solo está diretamente relacionada com a estrutura do solo. Este parâmetro é função do arranjo e orientação das partículas do solo, além da quantidade e geometria dos espaços porosos. Além da estrutura, a textura do solo também pode estar relacionada com a densidade do solo. Os maiores e menores valores de densidade estão respectivamente associados aos solos arenosos e argilosos (ARAÚJO et al., 2004). O parâmetro densidade, quando considerado de maneira isolada, não constitui um indicador adequado da qualidade física do solo. Para que sejam obtidos valores adequados, deve-se associar a densidade a outras propriedades ou características do solo, ou ainda relacioná-la com os valores de densidade máxima (DM) que o solo pode atingir. A partir dos valores de densidade máxima, obtém-se o valor de densidade relativa (DR), resultado da divisão da densidade do solo (DS) pela densidade máxima que este solo pode atingir ($DR = DS/DM$). Os valores de densidade máxima são obtidos através do teste de Proctor normal, determinando se há um determinado teor de umidade ótimo para compactação. Segundo Klein (2002), valores de densidade relativa variando entre 0,72 e 0,84 são considerados ótimos para o desenvolvimento das plantas.

A porosidade do solo está diretamente relacionada com a estrutura e textura do solo. Os poros são função do arranjo e geometria das partículas. Estes podem diferir em relação à forma, quantidade, comprimento, largura e tortuosidade. Geralmente, no estudo dos poros é considerado seu diâmetro. Os macroporos são responsáveis pelo processo de aeração e drenagem do solo. Já a função de retenção de água está relacionada com os microporos do solo. Segundo Beuttler e Centurion (2003), a capacidade do solo em reter água e

disponibilizá-las às plantas, está diretamente relacionada com a relação entre macro e microporos. A porosidade é função do manejo do solo, pois através das mudanças que estas causam no uso do solo, pode haver alterações na relação macro e microporosidade. Tais mudanças frequentemente reduzem os poros de maior diâmetro, fruto da quebra de agregados e consequente entupimento dos poros.

A condutividade hidráulica do solo é determinada pelo fluxo de água existente no solo. As propriedades que influenciam neste parâmetro são (LIBARDI, 2005): distribuição de tamanho e forma das partículas, tortuosidade, superfície específica e porosidade. Para se estimar a condutividade em campo geralmente utiliza-se do permeâmetro de Guelph, que apresenta carga hidráulica constante. A leveza do aparelho, facilidade de operação, rapidez dos ensaios e a baixa quantidade de água exigida por ensaio são as vantagens que este aparelho apresenta, fazendo que este seja cada vez mais utilizado no meio agrícola.

A capacidade do solo em reter água está relacionada com a quantidade de material coloidal existente em sua estrutura, estabelecendo-se uma relação direta entre a quantidade de argila presente no solo e a retenção hídrica do mesmo. A capacidade de retenção hídrica do solo também pode ser determinada por um índice, denominado “índice S”, que segundo Dexter (2004), é o valor da inclinação da curva de retenção hídrica em seu ponto de inflexão, portanto, ponto no qual a curvatura assume valor zero, indicando a qualidade do solo. Existe uma relação direta entre o valor de S e a inclinação da curva de retenção hídrica no solo, ou seja, quanto menor o valor de S, menor a inclinação da curva. Solos com tais características são considerados desestruturados (MACHADO, 2006).

A resistência do solo à penetração é função direta da densidade do solo. Este parâmetro tem por objetivo representar a força que as raízes das plantas precisam exercer para romper o solo. Ele é um indicativo do estado de compactação do solo, que varia quando ocorrem alterações relacionadas à

umidade, textura e estrutura do solo. Segundo Imhoff et al. (2000), este parâmetro é útil na medida que torna possível a identificação de valores potencialmente limitantes ao crescimento das raízes, além de possibilitar o estabelecimento de valores críticos de umidade e densidade do solo.

As mudanças causadas no uso do solo, relacionadas principalmente ao uso agrícola apresentam clara influência na resistência do solo à penetração. Estas mudanças podem acarretar a degradação da estrutura do solo, alterando a resistência do solo de forma negativa. Portanto, solos cobertos por vegetação natural tendem a apresentar menor resistência à penetração em relação aos solos cultivados ou pastejados.

O intervalo hídrico ótimo (IHO) está relacionado com a estrutura do solo, representando as condições do solo relacionadas ao crescimento das plantas. O IHO possui uma relação direta com a matéria orgânica do solo (KAY et al., 1997), portanto, práticas agrícolas, que muitas vezes causam mudanças no uso do solo, reduzem a quantidade de matéria orgânica. Esta diminuição determina uma redução na faixa de água ótima para o desenvolvimento das plantas. Deste modo, o IHO é favorecido pela adoção de práticas de manejo que aportam resíduos vegetais ao solo, reduzindo os prejuízos causados à estrutura do solo.

A estabilidade dos agregados sofre variações de acordo com as características relativas ao solo e seus sistemas de manejo. Geralmente, a quebra de agregados ocorre em solos que sofreram intenso revolvimento, reduzindo fortemente a estabilidade dos agregados. Após este rompimento, a matéria orgânica presente em seu interior é desprotegida, fazendo com que o processo de decomposição seja acelerado, diminuindo cada vez mais a resistência dos agregados. Solos que apresentam um estado de agregação adequado irão promover boas condições de aeração, mantendo a quantidade necessária de nutrientes, retenção e armazenamento hídrico e bom desenvolvimento das raízes, condições de suma importância para a produtividade das culturas.

2.5.2. Parâmetros Químicos

Os indicadores relativos aos parâmetros químicos apresentam relevância tanto em estudos agrônômicos, quanto ambientais. Normalmente tais indicadores estão relacionados principalmente ao pH, carbono orgânico, CTC efetiva, nitrogênio, nutrientes disponíveis para plantas e condutividade elétrica e sais solúveis totais.

O pH do solo, indicador da concentração de H^+ presente em sua composição, é utilizado normalmente para determinar se o solo em questão é ácido ($pH < 7$), neutro ($pH = 7$) ou básico ($pH > 7$). Este indicador está diretamente relacionado com os nutrientes, controlando sua solubilidade no solo e conseqüentemente, a absorção dos mesmos pela planta.

O carbono orgânico, apesar de não ser um nutriente para a planta, em pequenas quantidades, pode fazer com que haja uma diminuição da produtividade do solo. O carbono em questão apresenta relação direta com a estrutura do solo, disponibilidade de água para as plantas e poder de tamponamento frente à presença de compostos muitas vezes tóxicos às plantas.

A quantidade total de cátions, denominada CTC efetiva, se refere à quantidade total de cátions retidos na superfície das argilas ou colóides minerais e orgânicos presente no solo. A CTC efetiva é expressa normalmente em e.mg/100g ou cmolc/kg.

O nitrogênio presente no solo, juntamente com outros nutrientes, são de extrema importância para o aumento da produtividade agrícola. O nitrogênio está disponível para as plantas normalmente nas formas nítrica e amoníaca. Sua deficiência é perceptível quando ocorre o amarelamento das folhas das plantas. Além do nitrogênio, os nutrientes disponíveis para as plantas são: P, K, Ca e Mg, denominados macronutrientes.

A salinidade presente nos solos é um fator relevante na avaliação da produtividade dos solos. Caso haja uma concentração elevada de sais na zona das raízes, existe uma limitação severa nos solos das regiões. Solos com estas características normalmente são encontrados em regiões áridas ou semi-áridas.

2.5.3. Parâmetros Biológicos

Os indicadores biológicos, também denominados bioindicadores, são características e processos relacionados à vida dentro de determinado solo e refletem o estado do ecossistema em questão (DORAN e PARKING, 1996). A partir de tais propriedades, os bioindicadores podem ser utilizados no biomonitoramento do estado do solo e conseqüentemente sua qualidade. Dentre os principais bioindicadores presentes na literatura estão: biomassa microbiana do solo, respiração do solo, fixação biológica do N_2 e enzimas do solo (FRIGHETTO e VALARINI, 2000).

A biomassa microbiana é definida como componente microbiano vivo do solo, com exceção da macrofauna e das raízes do solo, sendo composta por fungos, bactérias, microfauna e algas. Segundo Jenkinson e Ladd (1981), biomassa microbiana é responsável pela decomposição de resíduos orgânicos, ciclo de nutrientes e fluxo de energia dentro do solo. Portanto, solos que apresentam alta quantidade deste indicador apresentam maior capacidade de estoque e ciclagem de nutrientes.

A respiração do solo consiste na medida de produção de CO_2 fruto da atividade metabólica de microorganismos, raízes vivas e macroorganismos. Dentre os principais macroorganismos, estão as minhocas, nematóides e insetos (TÓTOLA e CHAER, 2002). A respiração do solo é frequentemente utilizada na quantificação da atividade microbiana, estabelecendo-se uma relação direta entre esta atividade e o conteúdo de matéria orgânica do solo.

A fixação biológica do nitrogênio é um processo no qual ocorre a quebra da tripla ligação do N_2 , através de um processo denominado nitrogenase. Este processo ocorre no interior de estruturas específicas, denominadas nódulos. Nestes, bactérias de gêneros específicos convertem o N_2 atmosférico em NH_3 . Esta conversão permite que diversas formas de N sejam incorporadas e utilizadas por plantas da família de leguminosas. A manutenção de quantidades altas de N e uma relação adequada C/N são condições imprescindíveis para que os solos apresentem boa qualidade e sustentabilidade.

As enzimas do solo são mediadoras diretas do catabolismo biológico dos componentes orgânicos e minerais do solo (NIELSEN e WINDING, 2002). Dentre as principais diretrizes existentes para avaliação das enzimas do solo estão: primeiramente o potencial bioquímico e de manipulação do solo e também a possibilidade de indicação de qualidade do solo através da sensibilidade no provimento de informações sobre as mudanças nas funções-chave do solo.

CAPÍTULO 3

ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização e Vias de Acesso

A área de estudo localiza-se no sul dos estados do Maranhão e Piauí, entre as coordenadas 8°20' - 9°25' de latitude sul e entre 45°20' - 46°30' de longitude oeste, e cobre uma superfície com cerca de 16.500 km². Ela engloba parte dos municípios de Alto Parnaíba, Tasso Fragoso e Balsas no Maranhão, e parte dos municípios de Santa Filomena, Baixa Grande e Gilbués, no Piauí (Figura 3.1).

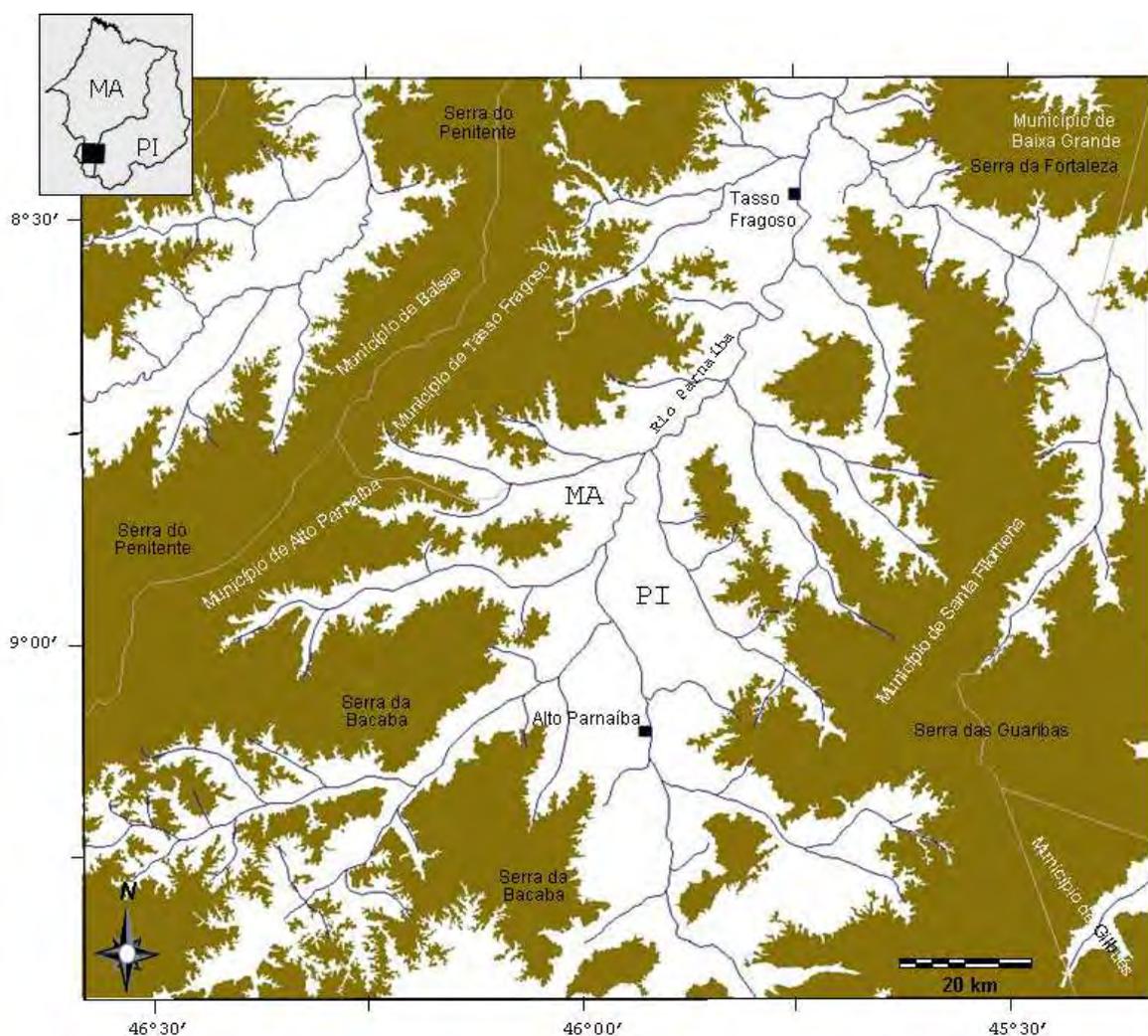


Figura 3.1 - Localização de área de estudo no sul dos estados do Maranhão e Piauí, limites de municípios e principais drenagens. As áreas em marrom

indicam os platôs onde ocorrem as lavouras e assumem denominações de serras.

O município de Santa Filomena está localizado na microrregião do Alto Parnaíba Piauiense, compreendendo uma área de 5369 km², tendo como limites os municípios de Alto Parnaíba- MA a norte, Gilbués ao sul, oeste com municípios do Estado do Maranhão e, a leste com Gilbués, Baixa Grande do Ribeiro e Ribeiro Gonçalves. A sede municipal tem as coordenadas geográficas de 09°06'44' de latitude sul e 45°55'20" de longitude oeste e dista cerca de 925 km de Teresina.

O município de Baixa Grande do Ribeiro está localizado na microrregião do Alto Parnaíba Piauiense, compreendendo uma área de 7.967 km², tendo como limites, ao norte, os municípios de Ribeiro Gonçalves e Uruçuí, ao sul, Santa Filomena, Bom Jesus e Gilbués, a leste, Uruçuí, Palmeira do Piauí, Bom Jesus e Currais e, a oeste, Santa Filomena e Ribeiro Gonçalves. A sede municipal tem as coordenadas geográficas de 07°51'00" de latitude sul e 45°12'50" de longitude oeste e dista cerca de 583 km de Teresina.

O município de Gilbués está localizado na microrregião do Alto Médio Gurguéia tendo, como limites, ao norte, os municípios de Baixa Grande do Ribeiro, Bom Jesus e Santa Filomena, ao sul, Barreiras do Piauí e São Gonçalo do Gurguéia, a leste, Monte Alegre do Piauí e Riacho Frio e, a oeste, Barreiras do Piauí, Santa Filomena e o Estado do Maranhão. A sede municipal tem as coordenadas geográficas de 9°49'55" de latitude sul e 45°20'38" de longitude oeste e dista cerca de 800 km da capital Teresina.

O município de Alto Parnaíba está localizado na microrregião Gerais de Balsas, compreendendo uma área de 11.132 km², tendo, como limites, os municípios de Tasso Fragoso e Balsas a norte, a sul, o Estado do Tocantins, a leste, Gilbués e Santa Filomena e, a oeste, o Estado do Tocantins. A sede municipal tem as coordenadas geográficas de 9°06'39" de latitude sul e 45°55'48" de longitude oeste e dista cerca de 875 km da capital São Luís.

O município de Balsas está localizado na microrregião Gerais de Balsas, compreendendo uma área de 13.142 km², tendo, como limites, os municípios de Nova Carolina, Fortaleza dos Nogueiras e São Raimundo das Mangabeiras ao norte, Alto Parnaíba e Estado do Tocantins ao sul, Sambaíba e Tasso Fragoso a leste e Riachão a oeste. A sede municipal tem as coordenadas geográficas de 7°31'57" de latitude sul e 46°02'08" de longitude oeste e dista cerca de 588 km da capital São Luís.

O município de Tasso fragoso está localizado na microrregião Gerais de Balsas, compreendendo uma área de 4382 km², tendo como limites os municípios de Balsas, Alto Parnaíba, Sambaíba e o Estado do Piauí. A sede municipal tem as coordenadas geográficas de 8°28'39" de latitude sul e 45°44'34" de longitude oeste e dista cerca de 1518 km da capital São Luís.

O acesso à região é feito a partir de Brasília pela rodovia BR-135 até a sede do município de Gilbués (PI), distante cerca de 900 km da capital federal. Desta cidade, toma uma estrada carroçável com cerca de 160 km, transitável apenas por veículos com tração, que leva até os municípios de Santa Filomena e Alto Parnaíba (Figura 3.2). O acesso às áreas cultivadas é feito também por vicinais, abertas e mantidas pelas próprias empresas agrícolas da região, onde só conseguem trafegar caminhões e carros com tração.



Figura 3.2 - Estrada carroçável com cerca de 160 km, transitável apenas por veículos com tração, que leva até os municípios de Santa Filomena e Alto Parnaíba.

3.2. Aspectos Histórico-Sociais

A área de estudo possui baixo adensamento populacional. A densidade demográfica da região é muito inferior àquela do Brasil (Tabela 3.1). Isso é fruto da ocupação ribeirinha realizada às margens dos rios, priorizando, sobretudo, as áreas baixas em detrimento das áreas de platôs.

Tabela 3.1. População e densidade populacional dos municípios da área de estudo.

Municípios	População	Densidade (habitantes/ km²)
Alto Parnaíba (MA)	10.765	0,96
Tasso Fragoso (MA)	7.796	1,78
Balsas (MA)	83.528	6,36
Santa Filomena (PI)	6.096	1,15
Baixa Grande (PI)	10.516	1,38
Gilbués (PI)	10402	2,98
Brasil	190.755.799	22,94

Fonte: IBGE (2010).

As áreas baixas começaram a ser ocupadas desde a chegada dos primeiros povoadores portugueses no século XVII. Este tipo de ocupação foi feito tanto pela pecuária extensiva, quanto pelas lavouras de subsistência. O domínio das terras altas, platôs, localmente denominados de “serras”, começou a partir de meados da década de 1970, com implantação das primeiras lavouras mecanizadas nessas áreas.

A procura por estas terras fez com que elas se valorizassem nos últimos anos. A forma de uso é oposta a aquela da população nativa. Os imigrantes, principalmente sulistas, passaram a realizar a substituição da pecuária extensiva pela agricultura mecanizada, principalmente da soja. A intensa produção fez com que a região passasse a apresentar altos índices de avanço da fronteira agrícola, sendo que a área plantada nos municípios estudados apresentou um crescimento, entre os anos de 1990 e 2010, de 628% (Figura 3.3) em relação à área plantada, número 22 vezes maior que o crescimento nacional de 28% (IBGE, 2010).

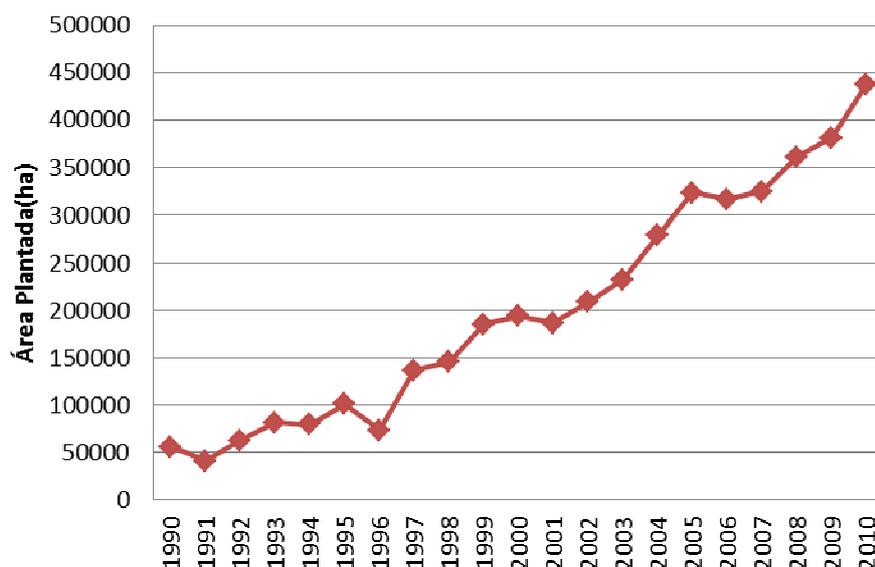


Figura 3.3 - Área plantada nos municípios da área de estudo no período compreendido entre os anos de 1990 e 2010.

Contudo, apesar desse intenso crescimento, os índices referentes à densidade populacional mantiveram-se baixos, com destaque para Alto Parnaíba e Santa Filomena, que apresentam as menores densidades populacionais da área de estudo. Esta forma de ocupação tende a se manter devido à intensa mecanização das lavouras e baixa utilização de mão de obra. Esta baixa utilização de mão de obra nativa denota uma clara desigualdade sócioeconômica na região, pois a população que vive nestes locais muitas vezes não possui conhecimento técnico para operar o maquinário usado nas lavouras, sendo necessário contratar mão de obra de outras regiões. Conseqüentemente, a população nativa não desfruta das riquezas produzidas nos platôs, que apesar da queda nos últimos 20 anos ainda apresenta elevados índices referentes à população abaixo da linha da pobreza e concentração de renda (Tabelas 3.2 e 3.3).

Tabela 3.2. População que vive abaixo da linha da pobreza nos municípios da área de estudo nos anos de 1991 e 2010.

Município	População abaixo da linha da pobreza (%)	
	1991	2010
Alto Parnaíba (MA)	82,5	67,5
Tasso Fragoso (MA)	89,6	64,6
Balsas (MA)	89,4	46,4
Santa Filomena (PI)	86,5	69,5
Baixa Grande (PI)	-	66,3
Gilbués (PI)	88,4	67,4
Média	88,4	66,8

Fonte: IBGE (2010).

Tabela 3.3. Renda apropriada pelos 20% mais pobres e ricos nos municípios da área de estudo no ano de 2010.

Município	Renda apropriada	
	20% mais pobres	20% mais ricos
Alto Parnaíba (MA)	0	70,9
Tasso Fragoso (MA)	3,1	56,3
Balsas (MA)	1,2	74,6
Santa Filomena (PI)	2,5	61,1
Baixa Grande (PI)	0	70,7
Gilbués (PI)	1,3	70
Média	1,25	70,35

Fonte: IBGE (2010).

Economicamente, o território conta com algumas atividades consolidadas e outras em expansão com tendência a se consolidar, apesar das limitações físicas e humanas, como infraestrutura, assistência técnica e prestação de serviços. No que se refere à infraestrutura física, tanto as estradas quanto a energia elétrica e o abastecimento de água são oferecidos em condições precárias, sendo, em alguns casos, insuficientes para atender à demanda da região, principalmente na área rural.

Em relação à educação, as limitações estão relacionadas a um conjunto de fatores, dentre eles: qualidade de ensino, infraestrutura de algumas escolas,

dificuldade de acesso ao material didático e a inadequação do calendário escolar. Esta associação alimenta a manutenção dos péssimos indicadores relacionados à questão educacional, fazendo com que os municípios da área de estudo figurem dentre aqueles que apresentam os piores índices do Brasil, que podem ser verificados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4. Posição nacional dos municípios da área de estudo em relação ao Índice de Desenvolvimento de Educação Básica no ano de 2010. Total de municípios avaliados: 5.564.

Município	Posição nacional em relação ao Índice de Desenvolvimento de Educação Básica
Alto Parnaíba (MA)	5.366°
Tasso Fragoso (MA)	4.428°
Balsas (MA)	4.091°
Santa Filomena (PI)	3.757°
Baixa Grande (PI)	5.066°
Gilbués (PI)	5.067°

Fonte: IBGE (2010).

A péssima educação apresentada faz com que haja evasão em larga escala. Uma pequena parcela da população consegue terminar o ensino fundamental na idade de 15-17 anos (Tabela 3.5).

Tabela 3.5. Percentual de conclusão do Ensino Fundamental de jovens de 15 a 17anos nos municípios da área de estudo no ano de 2010.

Município	Taxa de conclusão do Ensino Fundamental (15-17anos) (%)
Alto Parnaíba (MA)	12
Tasso Fragoso (MA)	20
Balsas (MA)	20
Santa Filomena (PI)	11
Baixa Grande (PI)	8
Gilbués (PI)	11
Média	11,5

Fonte: IBGE (2010).

Na saúde, os fatores mais graves, segundo o IBGE, os gestores da saúde e os usuários, são a rotatividade de recursos humanos (médicos, enfermeiros, dentistas) e a precariedade dos equipamentos hospitalares, levando a população a se deslocar para centros fora do município à procura de atendimento médico de média complexidade.

Em relação às questões de alimentação, as ofertas de alimentos são insuficientes para atender a população, sobretudo, em relação às crianças menores de dois anos. No entanto, os índices apresentaram melhorias no período compreendido entre os anos de 1990 e 2010, havendo uma diminuição em relação ao percentual de crianças menores de dois anos desnutridas.

Tabela 3.6. Proporção de crianças menores de 2 anos desnutridas (%) nos municípios da área de estudo nos anos de 1999 e 2011.

Município	Proporção de crianças menores de 2 anos e desnutridas (%)	
	1999	2011
Alto Parnaíba (MA)	40	2,7
Tasso Fragoso (MA)	16,8	1,3
Balsas (MA)	-	1,2
Santa Filomena (PI)	18	0,9
Baixa Grande (PI)	10	2,2
Gilbués (PI)	20	2,7
Média	18	1,75

Fonte: IBGE (2010).

3.3. Aspectos Fisiográficos

3.3.1. Geomorfologia

A topografia da região se divide em dois compartimentos distintos: uma área rebaixada, com cotas altimétricas variando de 200 metros a 300 metros e os divisores das bacias hidrográficas, na forma de extensos platôs com cota média em torno de 500 metros, chegando a alcançar o ponto máximo de 680m acima do nível do mar e que localmente recebem denominação de serras. As serras mais importantes são as das Guaribas e da Fortaleza no lado piauiense, e as da Bacaba, Medonho e do Penitente no lado maranhense (Figura 3.4). Na área de estudo, os platôs cobrem uma superfície descontínua de cerca de 8.500 km², sendo essa a área plana utilizada pela agroindústria para a implantação de lavouras de soja, algodão e, em menor escala, arroz e milho.

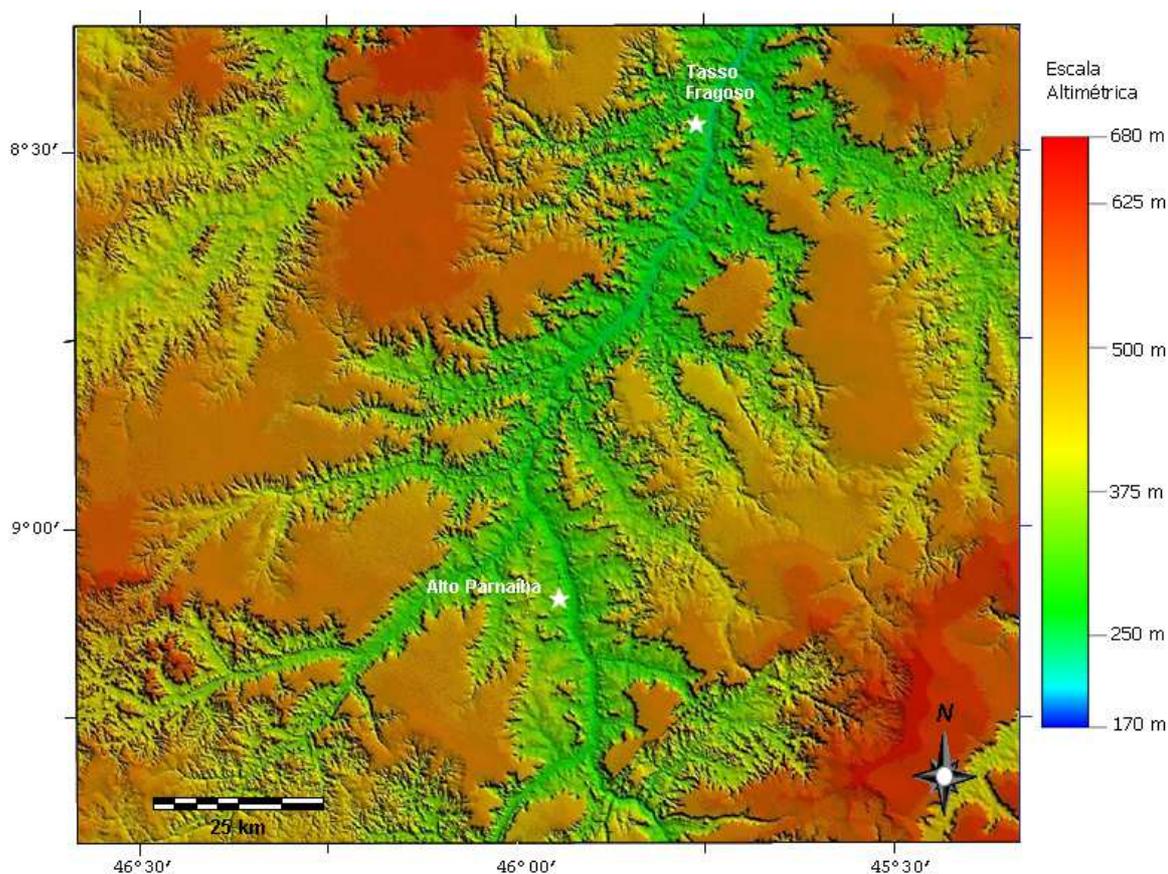


Figura 3.4 - Modelo digital de elevação da área de estudo, derivado a partir de dados do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

3.3.2 Clima

Os cerrados do sul do Maranhão e Piauí apresentam dominante o clima tropical subúmido quente e, em menor quantidade, o semi-árido quente, com temperaturas médias de 30 °C, com mínimas de 20 °C e máxima de 40 °C. A média de precipitação pluviométrica anual na área de estudo (registrada na estação meteorológica de Alto Parnaíba entre os anos de 1981 e 2011) foi de 1.252,2 mm, com desvio-padrão de 305,2 mm (ANA, 2012). Os dados definem duas estações distintas, uma estação seca, de abril a setembro, e uma estação de chuvas, de outubro a março, que concentram cerca de 85% do total das precipitações.

3.3.3. Hidrografia

A Bacia Hidrográfica do Parnaíba possui cerca de 342.988 km² e sua nascente está localizada na Chapada das Mangabeiras, fronteira do Piauí com Tocantins (CARVALHO, 2007). Esta pode ser dividida em Alto Parnaíba, Médio Parnaíba e Baixo Parnaíba, e abrange porções dos estados do Maranhão, Piauí e Ceará. A área de estudo localiza-se na região do Alto Parnaíba e tem como principais afluentes os rios Medonho, Pedra Furada, Pureza e Balsas pela margem esquerda e Taquara e Uruçuí Preto, pela margem direita. Os aquíferos Poti, Piauí, Cabeças e Longá formam o principal sistema de abastecimento d'água subterrânea da região.

3.3.4. Vegetação

A cobertura vegetal nativa é o cerrado típico do Brasil Central, caracterizado por árvores de troncos e galhos retorcidos, em meio a um estrato de gramíneas. Nos platôs, a vegetação possui menor porte, consequência da menor disponibilidade hídrica. Entretanto, essa escassez de água não é fator limitante para o agronegócio, que após a preparação do solo, utiliza-o para o plantio (Figura 3.5). A vegetação do território tem predominância de áreas de cerrados e caatinga, sendo assim caracterizado pela presença de arbustos

espaçosos, de troncos e galhos retorcidos e casca grossa, com solo recoberto por gramíneas e outras plantas rasteiras, além de vegetação arbustiva, que perde as folhas no período da seca.

Em algumas áreas, a expansão desordenada da fronteira agrícola para cultivo de grãos e para a atividade agropecuária tem contribuído para alterações bruscas nos diversos habitats, levando à depauperização da diversidade biológica na região.



Figura 3.5 - Aspecto da vegetação de cerrados nos platôs e solos em preparação para o plantio na região de Alto Parnaíba, Piauí.

3.3.5. Pedologia

Os solos na área de estudo refletem o padrão topográfico regional. Nas áreas rebaixadas, os solos são predominantemente arenosos, com coloração clara, resultantes da alteração de arenitos da Formação Piauí, do Período Carbonífero da Bacia Sedimentar do Parnaíba. Nas chapadas, predominam os Latossolos Amarelos e os Neossolos Quartzarênicos (EMBRAPA, 2012), possuem coloração marrom escuro, são argilosos e resultantes da alteração de arenitos e siltitos da Formação Pedra do Fogo de idade permiana. Ao longo das drenagens, ocorrem predominantemente os Solos Litólicos.

3.3.6. Geologia

Em relação à geologia, a região apresenta as seguintes formações:

- Formação Serra Grande, constituída principalmente de arenitos com granulação grosseira e médios, conglomeráticos e conglomerados, em vários níveis;
- Formação Cabeças, constituída de arenitos médios a grosseiros, às vezes conglomeráticos e micáceos, de cores claras, cremes e róseos;
- Formações Poti e Piauí, que, por suas semelhanças litológicas, se encontram agrupadas em uma só unidade hidrogeológica; e
- Formação Pedra de Fogo, que na área do território se apresenta com pouco interesse hidrogeológico, além da sua pequena área de afloramento. Litologicamente, essa formação é composta por arenitos, siltitos e folhelhos, que se intercalam em proporções variadas.

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Materiais

Os materiais utilizados no desenvolvimento deste estudo estão relacionados nas seções seguintes.

4.1.1. Imagens Orbitais

Foi adquirida uma série histórica de imagens obtidas pelos satélites LANDSAT, cobrindo o período de 1975 a 2010, em intervalos de cinco anos. Para assegurar similaridade paisagística e similaridade nas condições de iluminação das cenas (ângulos de elevação e azimutes solares), foram selecionados dados dos meses de junho, julho ou agosto. O período 1975 - 1980 foi coberto com imagens do sistema sensor MSS (Multispectral Scanner), do satélite LANDSAT-1, correspondentes às órbitas/pontos 236/66-67 e 237-66. O período 1985 - 2010 foi coberto com imagens do sistema do sensor TM (Thematic Mapper) do satélite LANDSAT-5, correspondentes às órbitas/pontos: 220/66-67 e 221/66. Esses produtos estão especificados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Relação das imagens LANDSAT dos sistemas MSS e TM utilizadas. As três últimas colunas referem-se às orbitas/pontos da série LANDSAT.

Data	236/66	236/67	237-66
LANDSAT MSS			
1975	03-07	03-07	04-07
1980	13-09	13-09	27-08
LANDSAT TM			
	220/66	220/67	221/66
1985	25-07	25-07	30-06
1990	24-08	23-07	28-06
1995	19-06	19-06	26-06
2000	20-09	20-09	26-08
2005	02-09	02-09	09-09
2010	15-08	15-08	22-08

Cenas adicionais do ano de 2011 das seguintes órbitas ponto: 220/66; 220/67 e 221/66 foram adquiridas respectivamente nos dias 28 de abril, 01 de julho e 09 de agosto. Estas cenas foram utilizadas para mostrar o processo de abertura de uma área para o agronegócio.

4.1.2. Dados auxiliares

- Modelo digital de elevação extraído dos dados do SRTM. SRTM foi uma missão cujo objetivo foi obter um modelo digital do terreno da zona continental da Terra entre 54 °S e 60 °N, através de interferometria de radar, de modo a gerar uma base completa de cartas topográficas digitais terrestres de alta resolução (RABUS et al., 2003).
- Dados pluviométricos anuais obtidos do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos do posto de Alto Parnaíba entre os anos de 1981 e 2011.

- Questionário de campo com os seguintes itens:

1. Cidade de origem do proprietário;
2. Tipo de cultura;
3. Tamanho da propriedade;
4. Tipo de manejo de solos,
5. Água e cultura;
6. Tipo de controle ambiental;
7. Número de empregados; e
8. Tipo de maquinários.

Estes itens foram selecionados previamente para que fossem obtidas informações juntos aos produtores referentes à dinâmica econômica e social da ocupação da região.

- Software SPRING 4.3 (Sistema de Processamento de Informação Georreferenciadas), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Este software foi utilizado na etapa de processamento das imagens da série histórica analisada (CÂMARA et al., 1996).
- Software ENVI 4.3 (*Environment for Visualizing Images*), desenvolvido pela Research Systems (www.rsinc.com). Este software foi utilizado nas etapas de correção geométrica e radiométrica (pré-processamento) das imagens da série temporal analisada.

4.2. Métodos

A Figura 4.1 mostra esquematicamente os procedimentos da metodologia deste estudo.

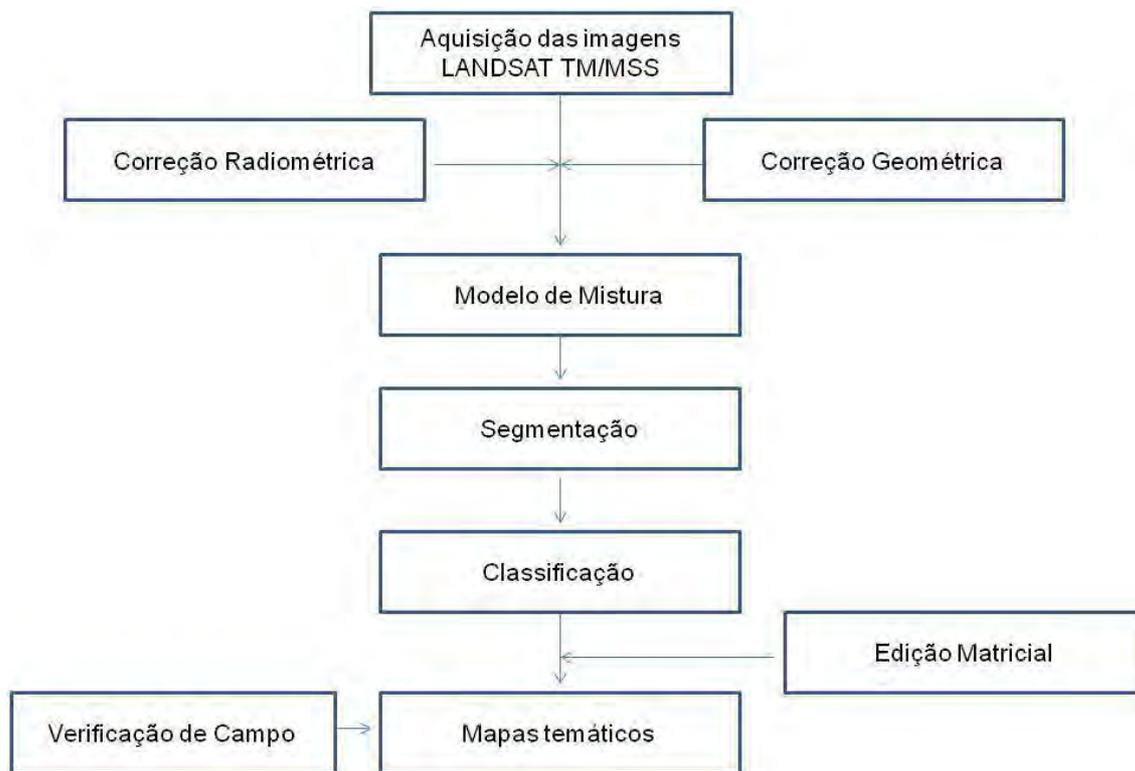


Figura 4.1 - Fluxograma dos procedimentos da metodologia.

A metodologia do desenvolvimento deste trabalho envolveu as seguintes fases:

- a) Levantamento bibliográfico de estudos prévios sobre a temática da apropriação do espaço geográfico no Brasil e no Cerrado brasileiro, e ainda estudos executados no Sul do Maranhão e Piauí;
- b) Levantamento e seleção das imagens LANDSAT TM/MSS junto ao INPE, através do site: www.dqi.inpe.br;
- c) Levantamento de dados climáticos e pluviométricos da região do Sul do Maranhão e Piauí, junto ao Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) do posto de Alto Parnaíba;
- d) Construção do banco de dados no SPRING;
- e) Pré-processamento e processamento das imagens da série temporal definida;

- f) Avaliação das classificações finais, edição matricial e obtenção da área das classes para os diferentes períodos analisados;
- g) Interpretação e validação dos resultados finais; e
- h) Verificação de campo.

Na primeira etapa, foi realizado o levantamento bibliográfico de estudos prévios sobre a temática da apropriação do Cerrado brasileiro pelo agronegócio, além de estudos realizados no Sul do Maranhão e Piauí. A construção do banco de dados do SPRING envolveu a inserção de imagens LANDSAT no banco de dados do *software* SPRING. Estas foram previamente registradas e corrigidas radiometricamente, por meio de algoritmos do *software* ENVI. Os algoritmos estão descritos nos próximas seções deste estudo.

A etapa de pré-processamento teve, como objetivo, minimizar distorções geométricas e ainda efeitos atmosféricos presentes nas imagens, provenientes da natureza dos sensores. Com intuito de compensar variações nas respostas radiométricas obtidas pelos sensores ao longo do tempo, os valores de níveis de cinza foram convertidos em valores de reflectância. As variações são decorrentes, principalmente, pelas condições de iluminação, variação dos ângulos solares e azimutes. Nesta etapa foi utilizado o *software* ENVI e o método proposto por Markham e Barker (1986).

Na etapa de correção geométrica, foi realizada a transformação geométrica que relaciona as coordenadas da imagem (linha e coluna) com coordenadas de um sistema de referência (coordenadas geográficas). Esta operação é de suma importância para que haja a integração da imagem ao banco de dados em SIG (Sistema de Informações Geográficas) (KARDOULAS et al., 1996; MATHER, 1999; JENSEN, 2007).

Desse modo, as imagens LANDSAT-TM foram convertidas para o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) por meio de um algoritmo de retificação polinomial de primeiro grau, tendo como referências cartográficas,

as cenas *geocover* disponíveis no portal da Universidade de Maryland (<http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>) das seguintes órbitas/pontos: 220/66-67 e 221/66, obtidas, respectivamente, nas seguintes datas: 11/07/1992, 11/07/1992 e 27/09/1988. As imagens LANDSAT-MSS tiveram como referência cartográfica as cenas *geocover* disponíveis no portal do Instituto Geológico dos Estados Unidos (<http://eros.usgs.gov>) das seguintes órbitas/pontos: 236/66-67 e 237/66, obtidas, respectivamente, nas seguintes datas: 25/04/1972, 25/04/1972 e 13/07/1975. O erro de georreferenciamento foi sempre inferior a 1 pixel.

Posteriormente, foi realizado o mosaico das imagens LANDSAT registradas, de modo que toda a área de estudo fosse abrangida. Em seguida, as imagens foram exportadas para o banco de dados no *software* SPRING 4.3.3, com a projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM), datum SAD 69, zona 23.

As imagens foram ainda processadas pela técnica do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME). O objetivo do MLME é definir a contribuição de cada alvo presente nos *pixels* de uma cena. Segundo Schowengerdt (1997), com a aplicação deste modelo, a imagem de satélite é analisada de forma precisa na escala de *subpixel*. Desta forma, os *pixels* são identificados pela maior ou menor proporção dos componentes solo, sombra e vegetação.

Esta técnica gera imagens-fração que recebem as seguintes denominações: fração-solo, fração-sombra, fração vegetação, sendo que estas representam, respectivamente, as proporções de vegetação, solo e sombra presente em cada pixel da imagem. A descrição do modelo é apresentada a seguir:

$$ri = a * vegei + b * soloi + c * sombrai + ei$$

onde: *ri* = resposta do pixel; *a* = proporção de vegetação; *b* = proporção de solo; *c* = proporção de sombra; *vegei*, *soloi*, *sombrai* = respostas espectrais dos

componentes vegetação, solo e sombra; e_i = erro na banda i (SHIMABUKURO, 1998).

O algoritmo utiliza os seguintes métodos para estimar as proporções dos componentes vegetação, solo e sombra nas imagens:

Mínimos quadrados com restrição (Constrained Least Squares): Na aplicação deste método, ocorre a minimização da soma dos erros ao quadrado. A proporção dos componentes vegetação, solo e sombra não deve ser negativa e deve somar 1.

Mínimos Quadrados Ponderados (*Weighted Least Squares*): A aplicação deste método ocorre quando se possui informações adicionais. Desta forma o resultado final possui maior acurácia. Este melhor resultado se deve à atribuição de “peso” maior para as informações que proporcionarão maior acuidade.

Combinação entre transformação de componentes principais e mínimos quadrados: Aplicação deste método tem como objetivo reduzir as equações no sistema. Inicialmente, é aplicada uma transformação de componentes principais. Posteriormente, ocorre a aplicação do método de estimação por mínimos quadrados. Desta forma, obtém-se uma maior rapidez computacional (CÂMARA et al., 1996; CARVALHO, 2007).

Segundo Shimabukuro (1998), com a utilização de imagens-fração, ocorre a redução da dimensionalidade dos dados e realce das informações de maior interesse. As imagens fração vegetação, solo, sombra/água realçam, respectivamente, as áreas com cobertura vegetal, solo exposto e áreas alagadas e corpos d’água.

Segundo Dengsheng (2003), para que se obtenha um resultado de alta qualidade, deve-se atentar para a escolha dos *endmembers*. Estes podem ser

obtidos das seguintes formas: através de bibliotecas espectrais, medidas de laboratório, própria imagem, aplicação do índice de pureza do pixel (PPI - *Pixel Purity Index*), seleção manual e combinação da imagem com *endmembers* de referência, cuja calibração ocorre após esse processo.

Segundo Ferreira (2007), é possível identificar e realizar o mapeamento das alterações no solo em regiões de savana através do MLME. No trabalho em questão, esta técnica mostrou que feições de solo exposto podem ser mapeadas, e que esse método pode ser combinado com a análise visual das imagens, permitindo a análise. Os mapas produzidos com dados do MLME podem ser utilizados em SIG.

Com as imagens importadas para o software SPRING, o algoritmo de modelo de mistura foi aplicado às bandas 4, 5, 6 e 7 das imagens LANDSAT-MSS dos anos de 1975 e 1980 e às bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 das imagens LANDSAT-TM dos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e, de modo a estimar a proporção dos componentes misturados em um pixel.

Para a aplicação do modelo, a seleção dos *endmembers* dos componentes vegetação, solo e sombra foi feita visualmente a partir da imagem. Para vegetação, foi selecionado um pixel pertencente ao cerrado natural. Para solo, foram escolhidas áreas com grande exposição de solo. Para sombra, um pixel de água foi selecionado.

As cenas foram convertidas em imagens-fração de vegetação, solo e sombra, seguindo a metodologia descrita por Shimabukuro e Smith (1991) e Adams et al. (1995). Com base na análise de composições coloridas das imagens-fração de solo (R), vegetação (G) e água (B), duas classes de cobertura do solo foram eleitas para serem mapeadas: solo exposto e rebrota. Isso foi feito utilizando uma abordagem de classificação discutida em Almeida-Filho e Shimabukuro (2002), que combinaram segmentação, classificação não supervisionada por região e técnicas de edição aplicadas nas imagens-fração. A técnica de edição

é realizada a fim de minimizar erros de omissão e comissão na classificação digital. É feita por meio da sobreposição entre classificação temática e composição colorida RGB (543) da imagem original, utilizando-se de procedimentos de interpretação visual. Portanto, o método utilizado produz mapas de classificação com precisão semelhante aos obtidos por interpretação visual.

Desse modo, depois da aplicação do modelo de mistura espectral, foi realizada a segmentação das imagens-fração utilizando-se o segmentador baseado na técnica de crescimento de regiões (MASON et al., 1988; ESPÍNDOLA et al., 2006), que particiona a imagem em regiões com atributos comuns, tais como níveis de cinza e textura. Para a execução da segmentação, um valor limiar de similaridade deve ser fornecido pelo usuário e que determinará os limites entre os segmentos gerados. A escolha de um valor limite adequado depende muito das características da área de estudo. Um valor limite de dimensão de áreas deve também ser especificado, de modo que uma área menor que este valor irá ser incluída na região adjacente mais similar em termos de nível de cinza médio. Diferentes valores de similaridade e de área foram testados com o objetivo de se averiguar os que produziam mapas que melhor representassem a dinâmica de alteração da cobertura vegetal natural. O melhor resultado de segmentação foi obtido com os limiares de similaridade e área iguais a 7 e 20, respectivamente.

Nas imagens-fração solo segmentadas, foi aplicado o classificador não-supervisionado ISOSEG (BINS et al., 1996). Com base nos resultados obtidos, adotou-se o limiar de aceitação de 90% como o mais adequado para expressar as feições classificadas.

Os mapas temáticos resultantes desse procedimento foram editados com vistas a minimizar erros de omissão e comissão da classificação automática (ALMEIDA FILHO e SHIMABUKURO, 2002). Isso é feito analisando-se o resultado da classificação em relação a uma composição colorida obtida com as imagens originais. Segundo os autores acima, tal procedimento produz

resultados com acuidade equivalente àquela obtidas com interpretações visuais.

Com os procedimentos descritos anteriormente, foram obtidos mapas temáticos indicativos das áreas ocupadas pela agricultura para os anos de 1975, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010. Os mapas temáticos foram organizados em dois tipos de classes: solo exposto e área de rebrota. As áreas de solo exposto correspondem àquelas áreas nas quais o agronegócio se encontrava presente na época em que a imagem foi obtida. Já a classe rebrota representa áreas nas quais a agricultura se fez presente no passado, mas que no período em questão encontravam-se em fase de regeneração florística.

Após a classificação das imagens N, as áreas referentes à expansão agrícola foram quantificadas em um banco de dados, com o objetivo de que, com intervalo de cinco anos, no período estudado, de 1975 a 2010, fosse calculada a apropriação do espaço geográfico pelo agronegócio na área de estudo.

Uma etapa de verificação de campo foi conduzida no período de 18 a 25 de setembro de 2011, durante a qual foram percorridos cerca de 500 km de estradas vicinais na área de estudo e descritos um total de 35 pontos. Além das descrições de paisagem, foram coletadas 22 amostras de solos nos municípios maranhenses e piauienses de Alto Paranaíba, Baixa Grande do Ribeira, Gilbués e Santa Filomena para análise textural e composição química, em quatro profundidades (0-5 cm; 5-10 cm; 10-20 cm; e 20-30 cm). As Figuras 4.2 e 4.3 mostram o procedimento de coleta de amostras e a distribuição dos pontos de coleta de informações no campo.



Figura 4.2 - Fotografia de campo ilustrando procedimento de coleta de amostras de solos com três repetições.

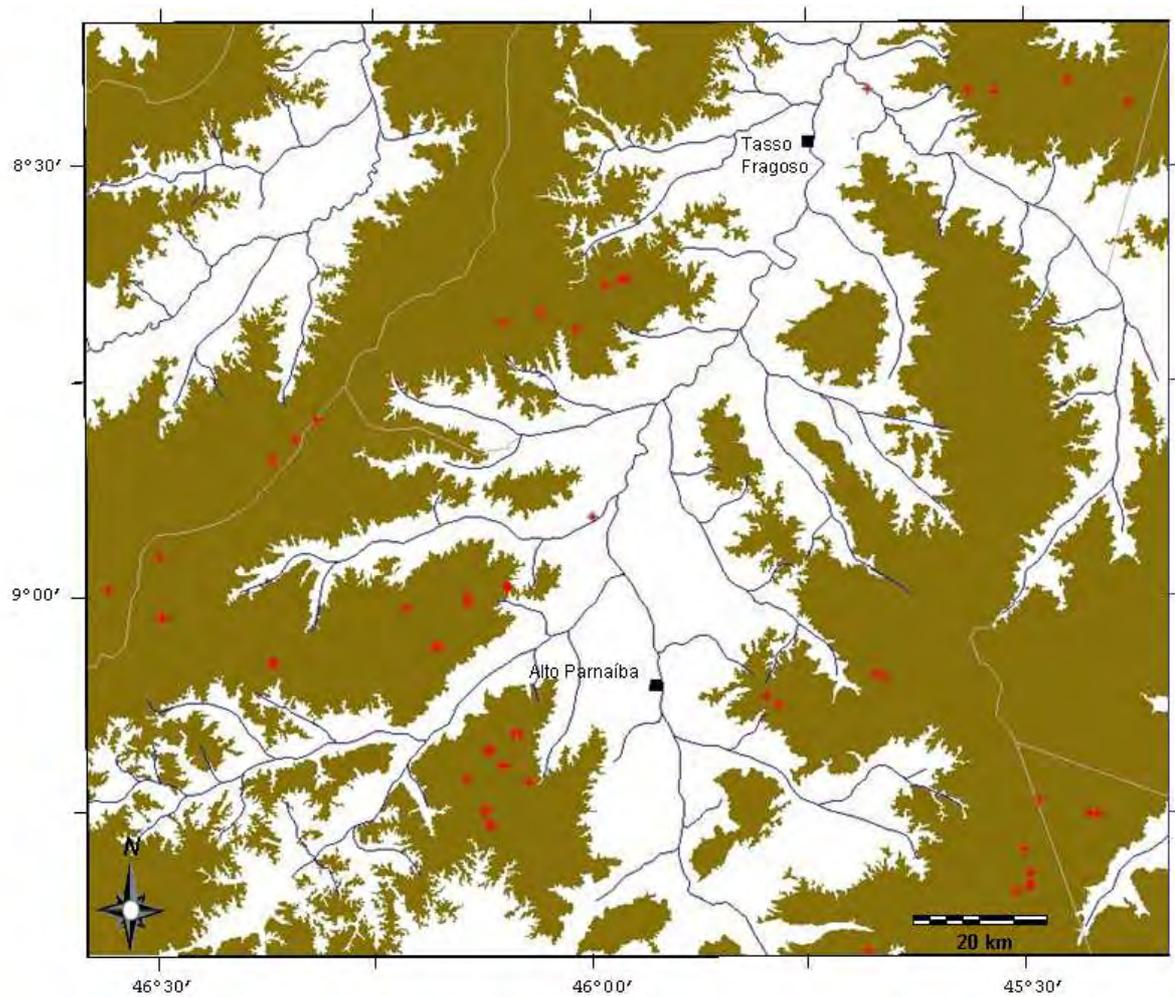


Figura 4.3 - Distribuição dos pontos de coleta de informações no campo.

Sempre que possível, foram obtidas com os proprietários ou responsáveis, informações sobre área plantada, tipo de cultura agrícola, manejo do solo referente ao uso do sistema de plantio direto e algumas questões ambientais referentes principalmente à existência de reservas legais na propriedade visitada.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise das Imagens Classificadas

5.1.1 Imagem LANDSAT MSS de 1975

Os levantamentos feitos no campo com produtores da região indicaram que a apropriação do espaço geográfico pela agricultura na região sul dos estados do Maranhão e Piauí teve início entre o final da década de 1970 e início de 1980. No ano de 1975, apenas 9,1 km² (menos de 0,1%) da área que pode ser utilizada pela agroindústria (platôs) havia sido ocupada (Figura 5.1).

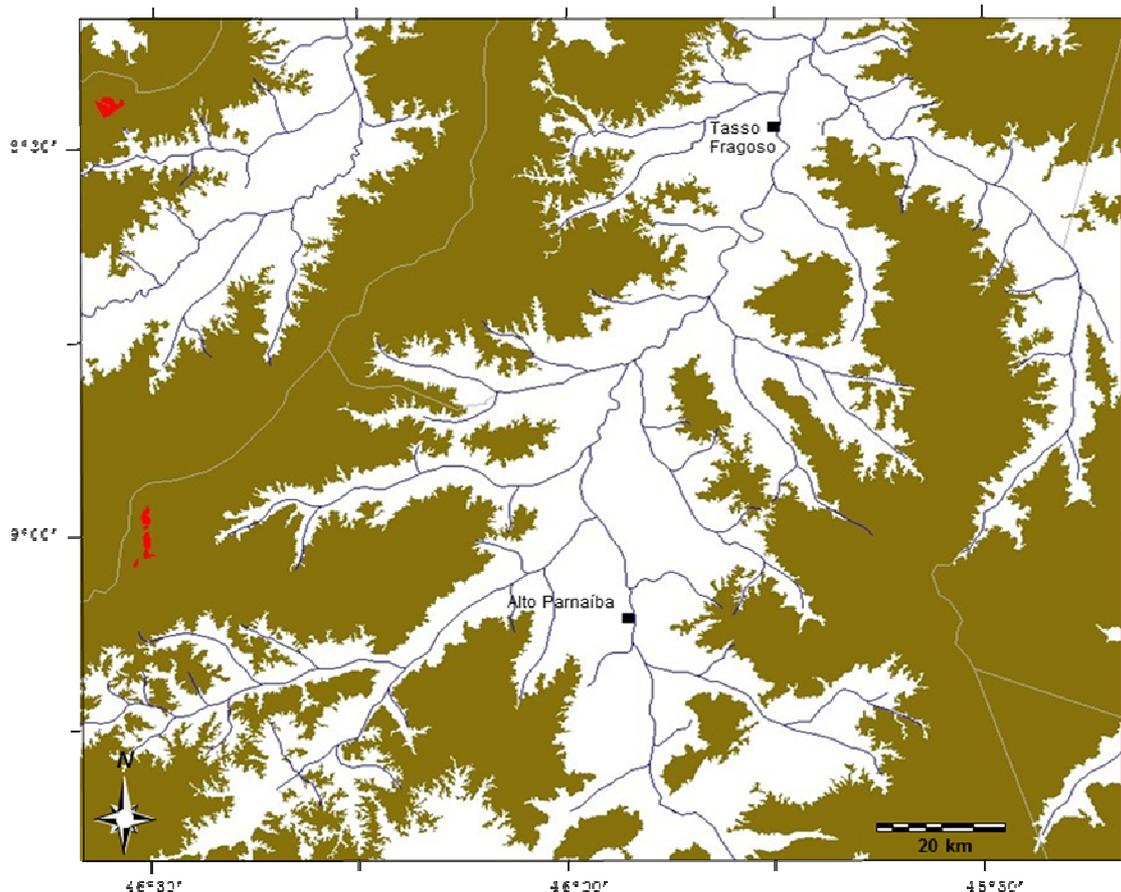


Figura 5.1 - Indicação das áreas de lavoura (vermelho) mapeadas com imagens LANDSAT-MSS obtidas no ano de 1975, perfazendo um total de 9,1 km², ou menos de 1% do total das áreas agricultáveis sobre os platôs.

Neste período, segundo antigos proprietários, houve ampla oferta de crédito agrícola através do programa federal PROTERRA, com financiamentos a longos prazos e com juros subsidiados para a compra de máquinas e insumos, operados por bancos oficiais como Banco do Brasil e Banco da Amazônia e, em menor escala, pelo Banco do Nordeste. A facilidade de créditos provocou uma corrida à agricultura mecanizada em grande escala, numa região que ainda praticava a agricultura de subsistência. Nessa fase inicial, foi tentado o cultivo de arroz de sequeiro. Entretanto, havia uma grande falta de conhecimentos técnicos mínimos sobre correção e adubação de solos e mesmo sobre o regime de chuvas. Complementando esse quadro, não havia qualquer assistência técnica por parte dos órgãos governamentais como Embrapa, Sudene ou Sudam e a região era completamente carente (e em grande parte ainda é) de estradas e energia elétrica.

A consequência natural foi a falência dos agricultores pioneiros que tiveram que repassar suas propriedades a grandes empresas para amenizar as dívidas contraídas com os bancos financiadores. Talvez a região da Serra do Medonho seja a que melhor representa esse processo de substituição e concentração de lavouras. Até o final da década de 1980 e início de 1990, a região era explorada por 53 rizicultores. Atualmente apenas três grandes empresas, uma de capital aberto, ocupam aquela área, produzindo prioritariamente soja e algodão e, em menor escala, milho e arroz.

5.1.2. Imagem LANDSAT MSS de 1980

O início da década de 1980 ainda pode ser considerado como fase inicial de ocupação dos cerrados na área de estudo. Ela cobre apenas 86 km² (menos de 1%) da área potencial que pode ser utilizada pela agroindústria (platôs) (Figura 5.2). Em relação ao ano de 1975, houve um aumento de nove vezes de áreas de cerrado ocupadas. Apesar de suas extensões relativamente pequenas, nota-se, pela distribuição dessas áreas, que a fase inicial de ocupação não se deu em uma área específica, mas de forma pontual, nas serras das Guaribas, da Bacaba, do Medonho e do Penitente. A partir desses focos, a ocupação se irradiou sobre os platôs.

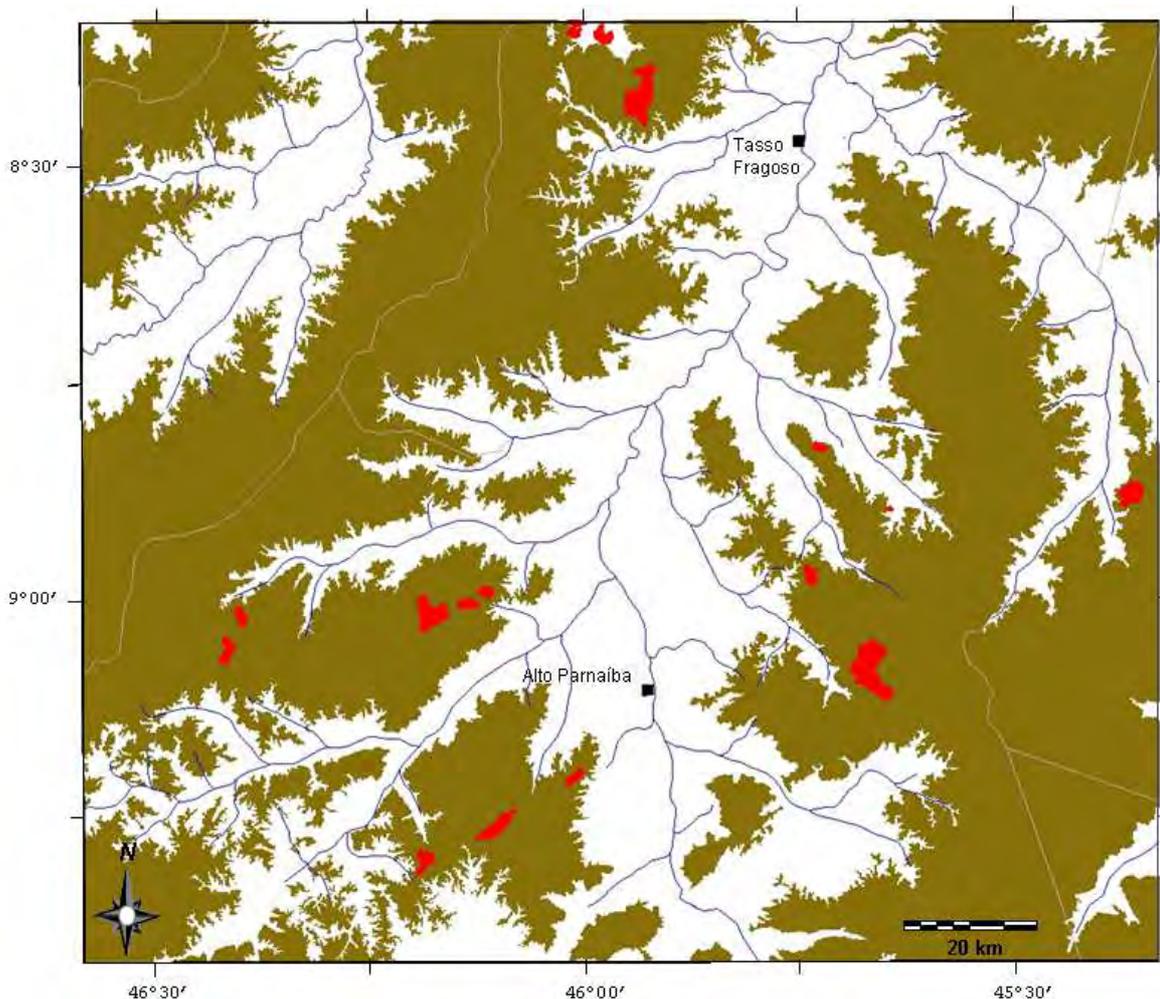


Figura 5.2 - Indicação das áreas de lavoura (vermelho) mapeadas com imagens LANDSAT MSS obtidas no ano de 1980, perfazendo um total de 86 km², ou menos de 1% do total das áreas agricultáveis sobre os platôs.

5.1.3. Imagem LANDSAT TM de 1985

No ano de 1985, houve crescimento de áreas de lavoura principalmente nas Serras da Bacaba e Penitente e, em menor grau, na Serra do Medonho (Figura 5.3). Em relação ao ano de 1980, houve um crescimento de mais de duas vezes das lavouras, perfazendo um total de 189 km², o que corresponde a 2% das áreas passíveis de utilização pela agricultura mecanizada (platôs).

Neste ano, surgiram as primeiras áreas de rebrota da área de estudo, localizadas majoritariamente na Serra do Penitente, com área de 111 km², equivalentes a aproximadamente 58%, o que indica que mais da metade das áreas haviam sido abandonadas no período. Elas são consequência,

principalmente, da falta de preparo dos agricultores pioneiros da região, aliada à baixa assistência governamental, que não disponibilizou a infraestrutura necessária para a permanência destes produtores. Desta forma, grande parte destes agricultores teve que decretar falência e repassar suas propriedades a grandes empresas para amenizar as dívidas contraídas com os bancos financiadores.

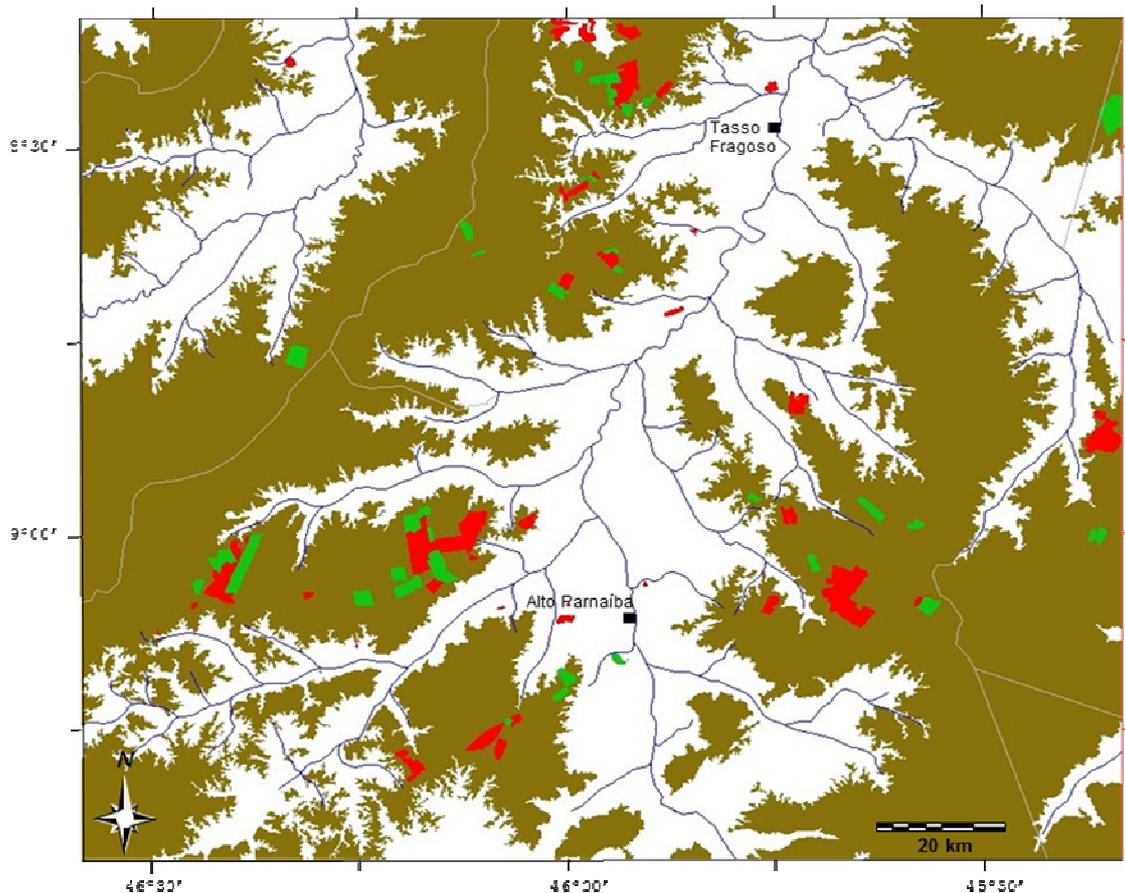


Figura 5.3 - Indicação das áreas de lavoura (vermelho) e de rebrota da vegetação (verde) mapeadas nas imagens LANDSAT TM obtidas no ano de 1985, perfazendo um total de 189,4 km², ou 2% do total da área agricultável. As áreas de rebrota cobriam 111 km², equivalentes a cerca de 58% de áreas previamente desmatadas.

5.1.4. Imagem LANDSAT TM de 1990

Em 1990, constatou-se a continuação da expansão da agricultura nas serras das Guaribas, do Medonho e, em menor escala, na Serra da Bacaba (Figura 5.4). Nesse período, deu-se o início da ocupação das serras do Penitente no Maranhão e da Serra da Fortaleza, no Piauí. As áreas de lavouras cresceram

aproximadamente quatro vezes comparadas com 1985, perfazendo um total de 744 km², o que corresponde a 11 % do total das áreas de platôs que são utilizadas pela agroindústria mecanizada. Neste ano, as áreas de rebrota predominaram na Serra do Penitente, à época uma área de fronteira dentro da região de fronteira. Essas áreas cobriam um total de 241 km², equivalentes a aproximadamente 32%, indicando que cerca de um terço das lavouras implantadas no período tinham sido abandonadas pelos proprietários iniciais.

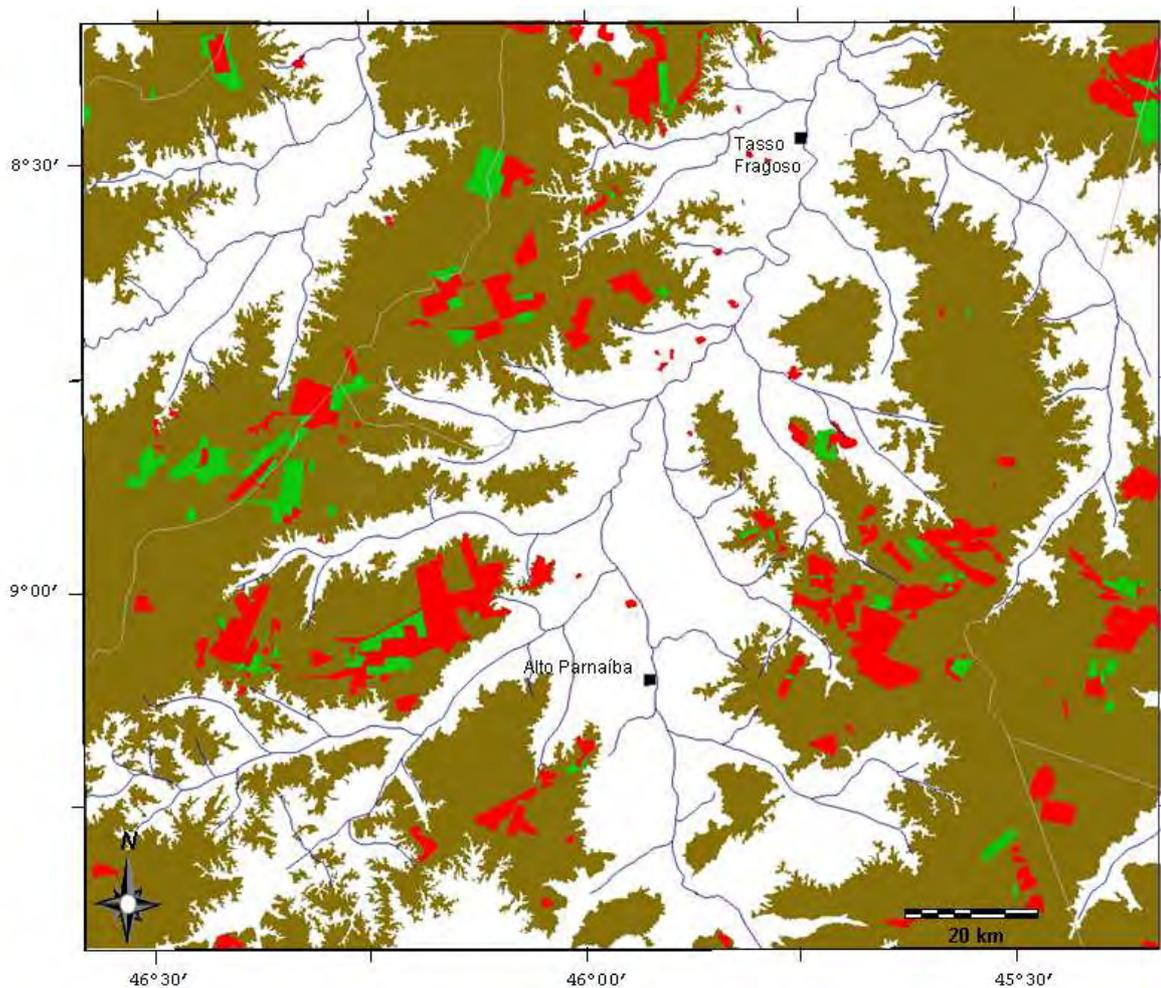


Figura 5.4 - Indicação das áreas de lavoura (vermelho) e de rebrota da vegetação (verde) mapeadas nas imagens LANDSAT TM obtidas no ano de 1990, perfazendo um total de 744 km², ou 11% do total da área agricultável. As áreas de rebrota cobriam 241 km², equivalentes a cerca de 32% de áreas previamente desmatadas.

5.1.5. Imagem LANDSAT TM de 1995

No ano de 1995, verificou-se a consolidação das lavouras, especialmente nas serras das Guaribas e da Fortaleza e principalmente na Serra do Penitente (Figura 5.5). Comparado com o mapa do quinquênio anterior, verificou-se um crescimento de cerca de 7% das áreas de agricultura, as quais perfazem um total de 802 km², ou 12% do total da área potencialmente utilizável pela agroindústria. Com 336 km², as áreas de rebrota correspondiam a cerca de 40% das áreas ativas de agricultura. Neste ano, proporcionalmente, houve aumento das áreas de rebrota em relação às áreas de agricultura ativa comparadas com a década anterior, atestando as dificuldades de ocupação dessa região.

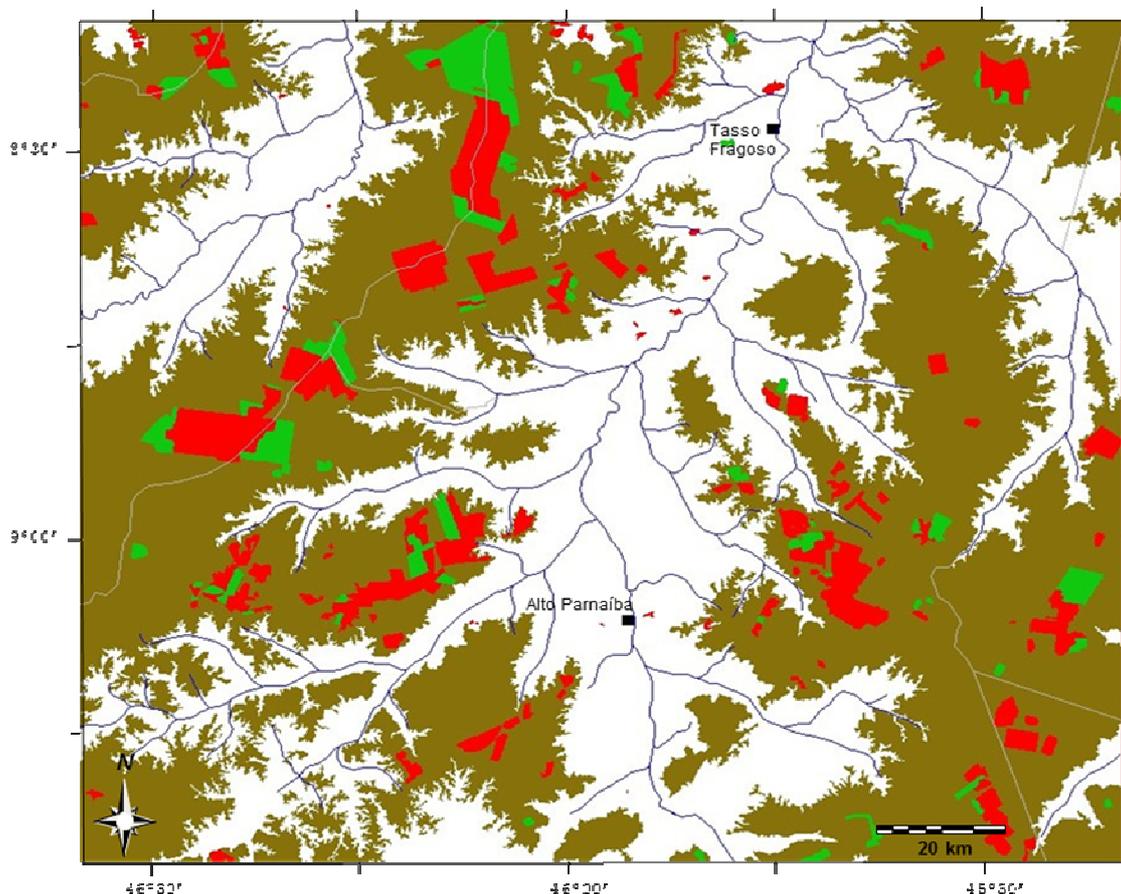


Figura 5.5 - Indicação das áreas de lavoura (vermelho) e de rebrota da vegetação (verde) mapeadas nas imagens LANDSAT TM obtidas no ano de 1995, perfazendo um total de 802 km², ou 12% do total da área agricultável. As áreas de rebrota cobriam 335,8 km², equivalentes a cerca de 41,8% de áreas previamente desmatadas.

5.1.6. Imagem LANDSAT TM de 2000

No ano de 2000, constatou-se uma consolidação das lavouras, especialmente nas serras das Guaribas e da Fortaleza e principalmente na Serra do Penitente (Figura 5.6). Comparado com o mapa da década anterior, verificou-se um crescimento de cerca de 90% das áreas de agricultura, as quais perfazem um total de 1.577 km², ou 21% do total da área potencialmente utilizável pela agroindústria. Com 336 km², as áreas de rebrota correspondiam a cerca de um quinto das áreas ativas de agricultura. Embora as áreas de rebrota tenham diminuído proporcionalmente em relação às áreas de agricultura ativa comparadas com a década anterior, elas são ainda significativas na Serra do Penitente, atestando as dificuldades de ocupação dessa região. Na Serra da Bacaba, as áreas de rebrota se equivalem à cerca de metade das áreas de agricultura ativa. Tendo sido umas das primeiras regiões a serem ocupadas, a grande extensão das áreas de rebrota indica um grande abandono dessas áreas pelos agricultores pioneiros.

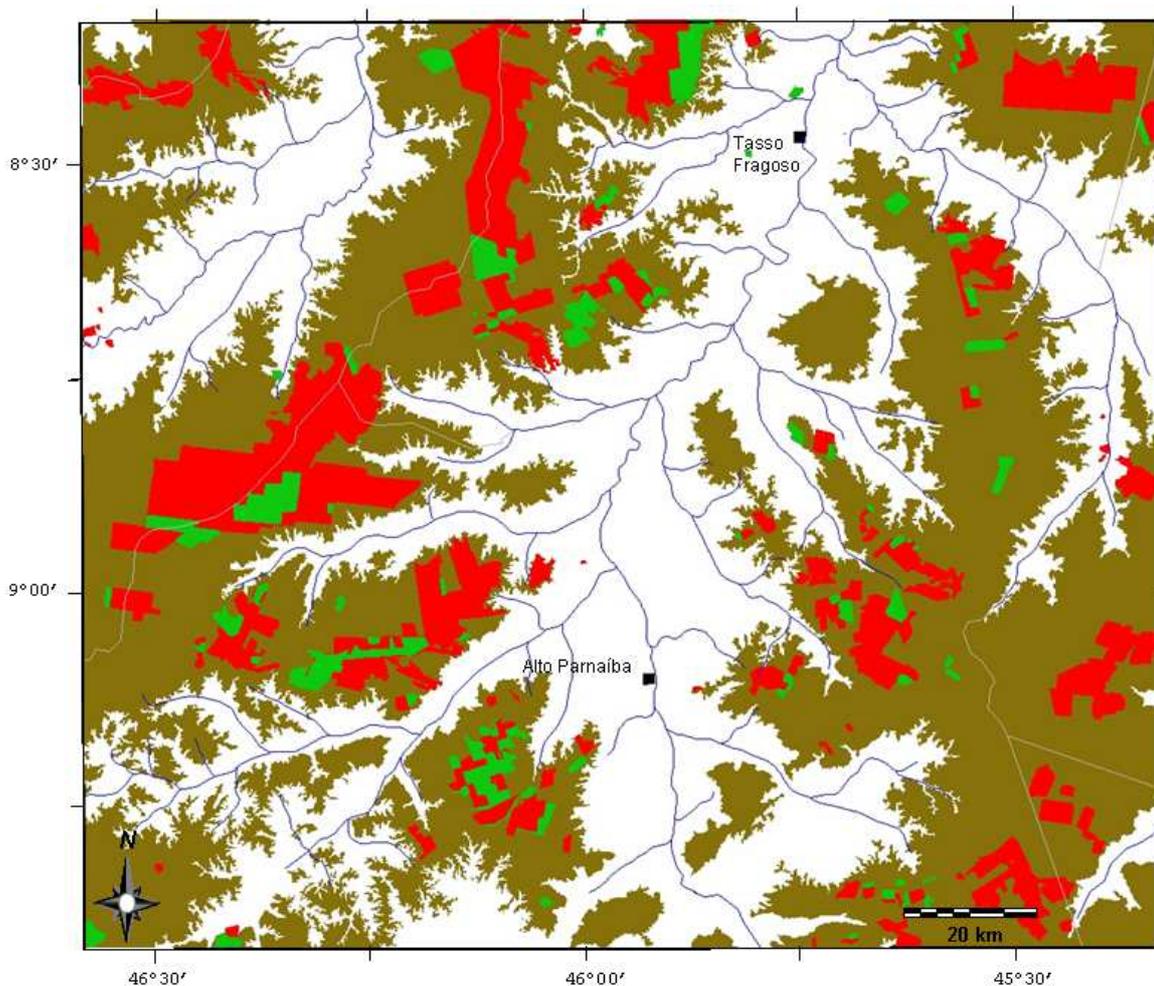


Figura 5.6 - Indicação das áreas de lavoura (vermelho) e de rebrota da vegetação (verde) mapeadas nas imagens LANDSAT TM obtidas no ano de 2000, perfazendo um total de 1.577 km², ou 21% do total da área utilizável pela agroindústria. As área de rebrota cobriam 336 km², equivalentes a cerca de 21% de áreas previamente desmatadas.

5.1.7. Imagem LANDSAT TM de 2005

No ano de 2005, pode ser verificada a consolidação da agroindústria na região (Figura 5.7). Comparado com o mapa do ano de 2000, verificou-se um crescimento de 43%, o que corresponde a 47% inferior ao crescimento verificado entre 1995 e 2000. As áreas de agricultura ativa perfazem um total de 2.259 km², ou 30% do total da área potencial agricultável. Proporcionalmente, as áreas de rebrota não se alteraram em relação às áreas de agricultura ativa, correspondendo a cerca de 21% dessas áreas de agricultura ativa. Em termos absolutos, houve aumento de cerca de 46% em relação ao quinquênio anterior, cobrindo 493 km².

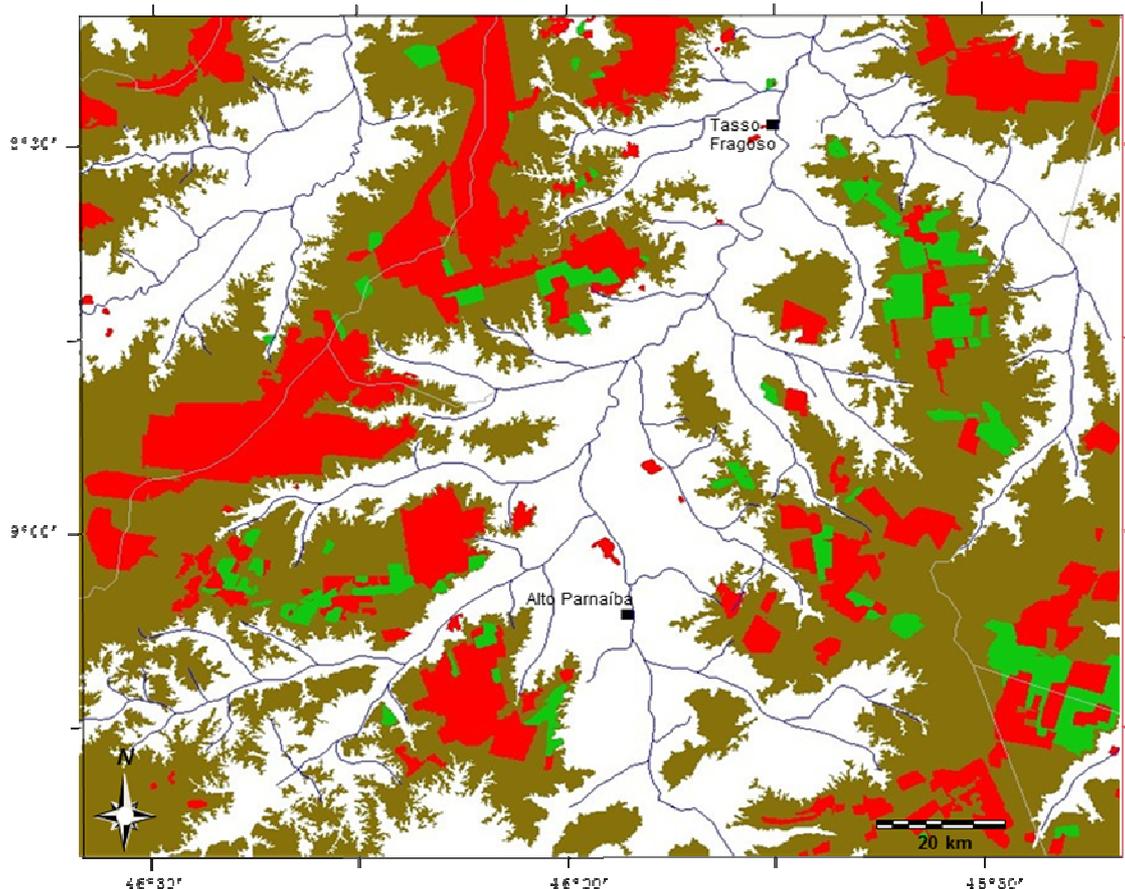


Figura 5.7 - Indicação das áreas de lavoura (vermelho) e de rebrota da vegetação (verde) mapeadas nas imagens LANDSAT TM obtidas no ano de 2005, perfazendo um total de 2258,6 km², ou 30% do total da área utilizável pela agroindústria. As áreas de rebrota cobriam 492,6 km², equivalentes a cerca de 21,8% de áreas previamente desmatadas.

5.1.8. Imagem LANDSAT TM de 2010

Uma completa consolidação da agroindústria na região é mostrada na Figura 5.8. Comparado com o mapa da década anterior, verificou-se um crescimento de cerca de 35%, o que corresponde a 8% inferior ao crescimento verificado entre 2000 e 2005 (Figura 5.13). As áreas de agricultura ativa perfazem um total de 3.065 km², ou 39% do total da área potencial agricultável (Tabela 5.8). As áreas de rebrota decresceram ainda mais em relação às áreas de agricultura ativa, correspondendo a cerca de 13% dessas áreas de agricultura ativa, em termos absolutos, houve decréscimo de cerca de 15% em relação à década anterior, cobrindo 388 km².

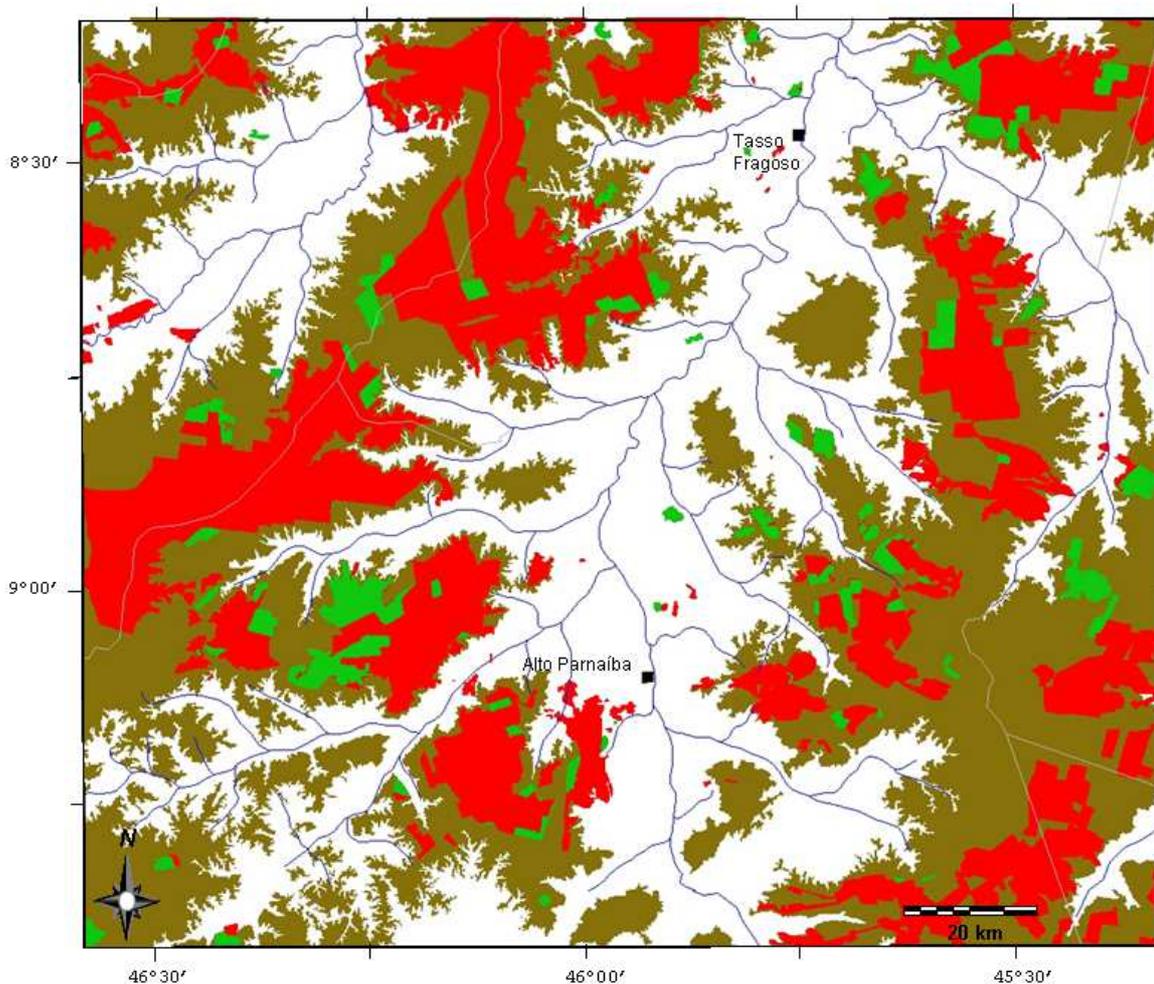


Figura 5.8 - Indicação das áreas de lavoura (vermelho) e de rebrota da vegetação (verde) mapeadas nas imagens LANDSAT TM obtidas no ano de 2010, perfazendo um total de 3.065 km², ou 39% do total da área potencial agricultável. As área de rebrota cobriam 388 km², equivalentes a cerca de 13% das áreas de agricultura ativa.

5.1.9. Imagem LANDSAT TM de 2011

A Figura 5.9 mostra o processo de ocupação de uma área para agricultura na Serra da Inhumá. Para implantação da agricultura, a agroindústria ainda utiliza queimadas, causando desmatamento da vegetação nativa. Outro impacto referente à expansão agrícola está associado às questões socioeconômicas, principalmente em relação à utilização da força antrópica. De acordo com produtores da região, no primeiro ano de implantação da agroindústria existe a relação de um funcionário para 30 ha, posteriormente, no momento que a fazenda está em expansão essa relação passa para 170 ha por funcionário e

no momento da consolidação da atividade agrícola esta relação chega a 300 ha por funcionário. Portanto, a população que trabalha na expansão da fazenda acaba sendo substituída pelas máquinas. Esta substituição não permite que estes funcionários permaneçam nas fazendas, pois na maioria das vezes, estes não possuem conhecimentos técnicos necessários para utilização da tecnologia.

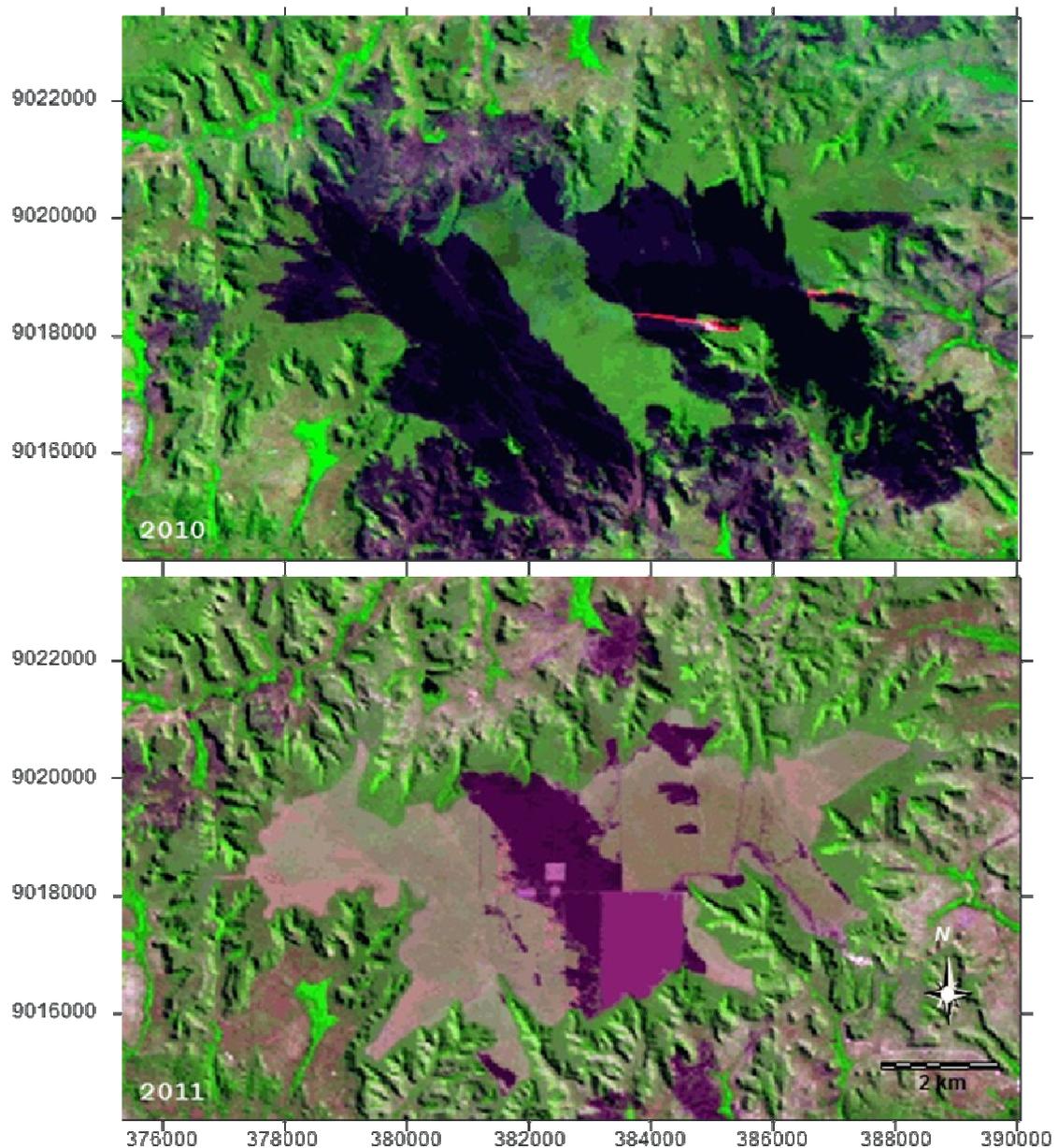


Figura 5.9 - Indicação da abertura de uma área agrícola na área de estudo no ano de 2010 com utilização de queimadas e desmatamento da vegetação nativa.

5.2. Análise dos Resultados da Série Histórica e Prognósticos

A Figura 5.10 mostra, em termos quantitativos, a evolução da ocupação das áreas de platôs no período de trinta anos coberto pela pesquisa. As áreas de agricultura ativa cresceram em progressão geométrica, saltando de 9,1 km² em 1975 para 86,4 km² em 1980, 189,4 km² em 1985, 744,4 km² em 1990, 802,8 km² em 1995, 1.576,8 km² em 2000, 2.258,6 km² em 2005, e para 3.065,4 km² em 2010. Já as áreas de rebrota cresceram suavemente em termos absolutos, passando de 111 km² em 1985, para 240,6 km² em 1990, 335,8 km² em 1995, mantiveram-se estáveis em 2000, passaram para 492,6 km² em 2005 e para 388 km² em 2010. Em termos relativos, elas decresceram substancialmente em relação às áreas de agricultura ativa, representando, respectivamente, 58% 32%, 41%, 21%, 21%, 12% dessas áreas.

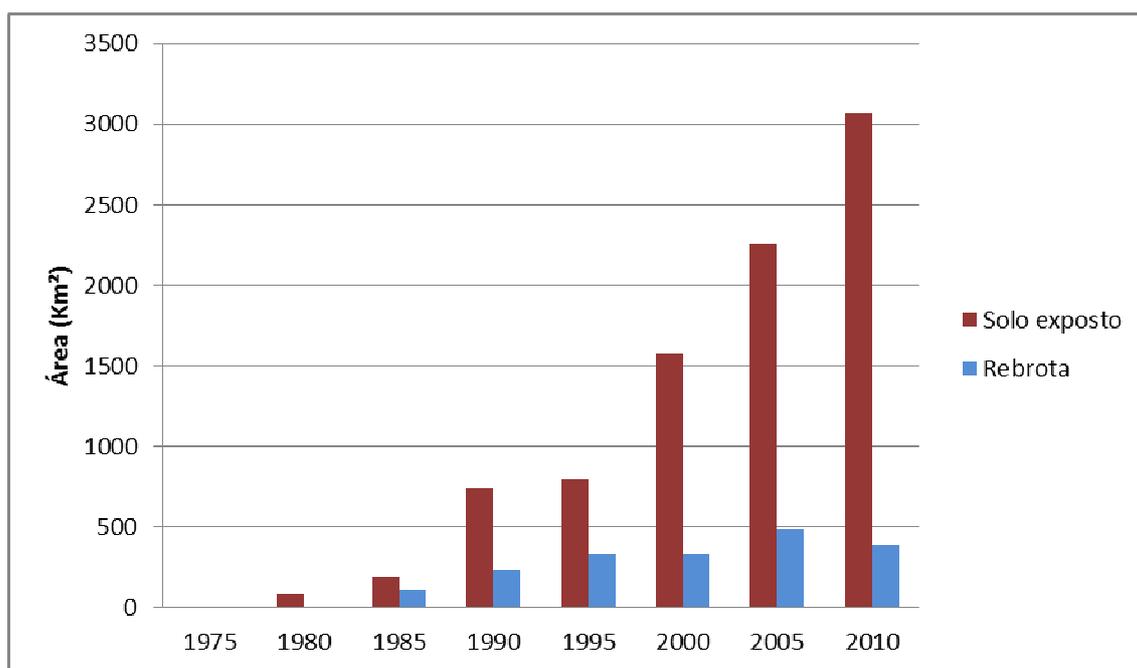


Figura 5.10 - Evolução das áreas de solo exposto e rebrota na área de estudo nos últimos 30 anos.

Quanto ao aspecto ligado à remoção da vegetação nativa sobre os platôs, constatou-se que, em 1975, menos de 0,1% da área potencialmente agricultável havia sido utilizada até então. Cinco anos depois, 0,9% de áreas de vegetação nativa haviam sido destruídas, porcentagem que cresceu para 2% em 1985, 8% em 1990, 8,5 % em 1995, 16% em 2000, 24% em 2005 e para

32% em 2010. Se a taxa de ocupação desses últimos dez anos se mantiver, ao final da presente década restarão apenas cerca de 38% da área de vegetação nativa que ainda não terá sido inteiramente ocupada, o que ocorrerá até o final da próxima década (Figura 5.11).

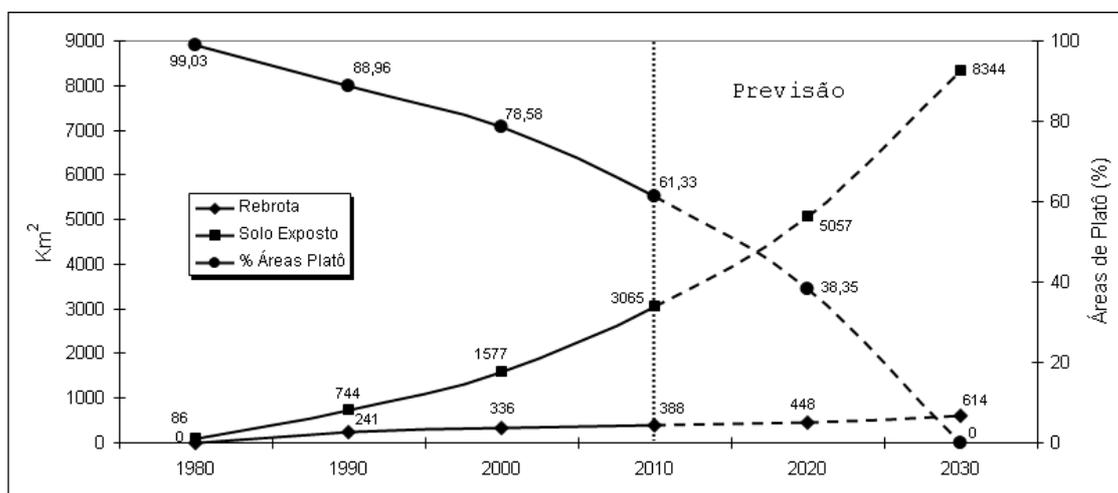


Figura 5.11 - Evolução da ocupação das áreas nos últimos trinta anos e projeção futura, indicando que se a taxa de ocupação da última década se mantiver, ao final de 2020 apenas cerca de 38% de área agricultável não terá sido inteiramente ocupada, o que ocorreria até o final da próxima década.

5.3. Análise dos Solos da Região

Todas as 22 amostras de solos da área de estudo submetidas à análise textural indicaram textura média (classe textural: franco-arenosa), com porcentagens médias de argila, silte e areia de 18,6%, 14,0% e 67,4%, respectivamente. A elevada porcentagem de areia sugere cuidado no manejo desses solos, pois um manejo inadequado podem causar reduções nos teores de matéria orgânica (SILVA et al., 1994) e alterações na estrutura desses solos, por exemplo, redução na porosidade original e consequente aceleração da perda de solos pelo aumento no escoamento superficial das águas das chuvas (MARCHÃO et al., 2009).

Para simplificar o entendimento, somente os dados de amostras de solos coletados na profundidade de 20-30 cm foram analisados. Nessa profundidade,

todos os pontos amostrados apresentaram pH ácido (inferior a 6) (Figura 5.11), típico dos solos do Cerrado. Em geral, a fertilidade do solo para os diversos pontos coletados em áreas agrícolas se encontraram em níveis médios a baixos para quase todos nutrientes, provavelmente devido ao tipo de solo com predominância de textura arenosa. Devido aos diversos tipos de manejo adotados pelos produtores, houve uma grande variação nos teores de P, K, Ca e Mg (Figuras 5.12 a 5.15). Porém, comparando com as áreas de Cerrado, verificou-se que após alguns anos de cultivo, em geral todas as áreas tiveram um aumento significativo na fertilidade do solo, com alto potencial produtivo para a cultura de grãos como soja, milho e algodão. Desta forma, a evolução e pratica de agricultura intensiva empresarial na região pode ter diminuído e impactado a vegetação e fauna nativa, porém houve uma manutenção ou melhora na condição de fertilidade do solo. Apesar da degradação da vegetação nativa a agricultura praticada na região, tornou o solo propício para o plantio de qualquer espécie vegetal, inclusive áreas de reflorestamento ou áreas de preservação permanente.

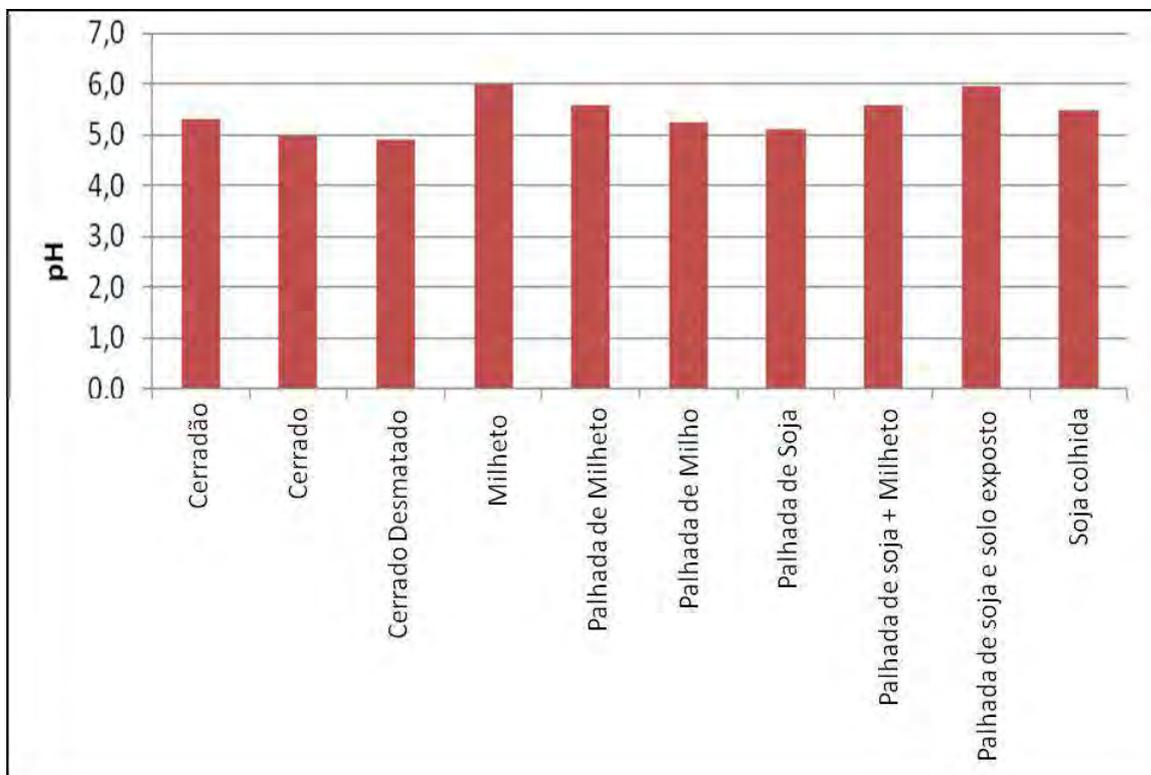


Figura 5.12 - pH referente às amostras de solos coletadas na profundidade de 20-30 cm.

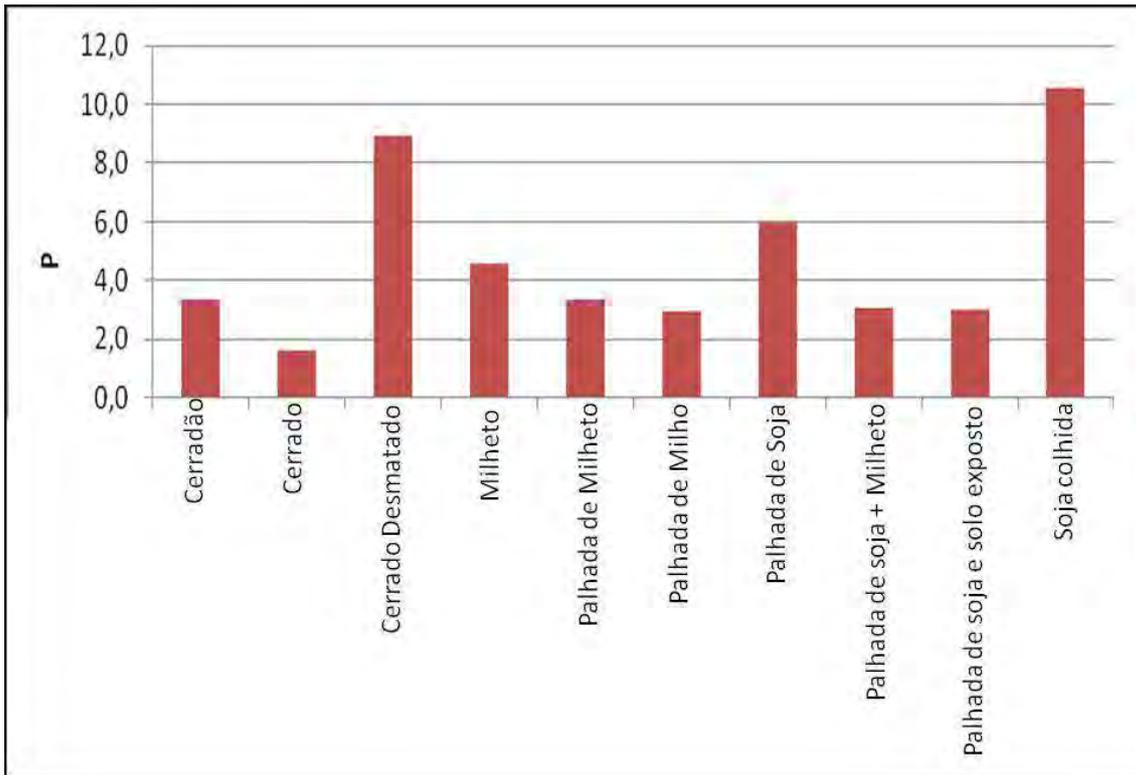


Figura 5.13 - Concentração de fósforo presente nas amostras de solos coletadas na profundidade de 20-30 cm.

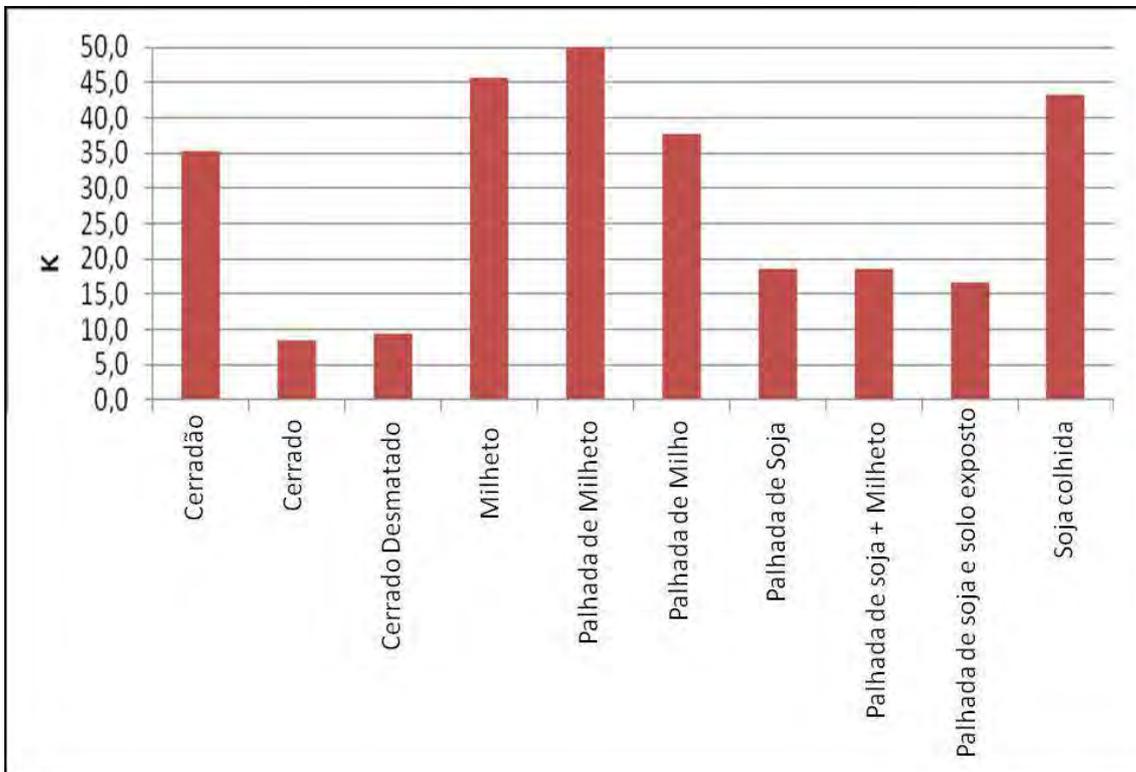


Figura 5.14. - Concentração de potássio presente nas amostras de solos coletadas na profundidade de 20-30 cm.

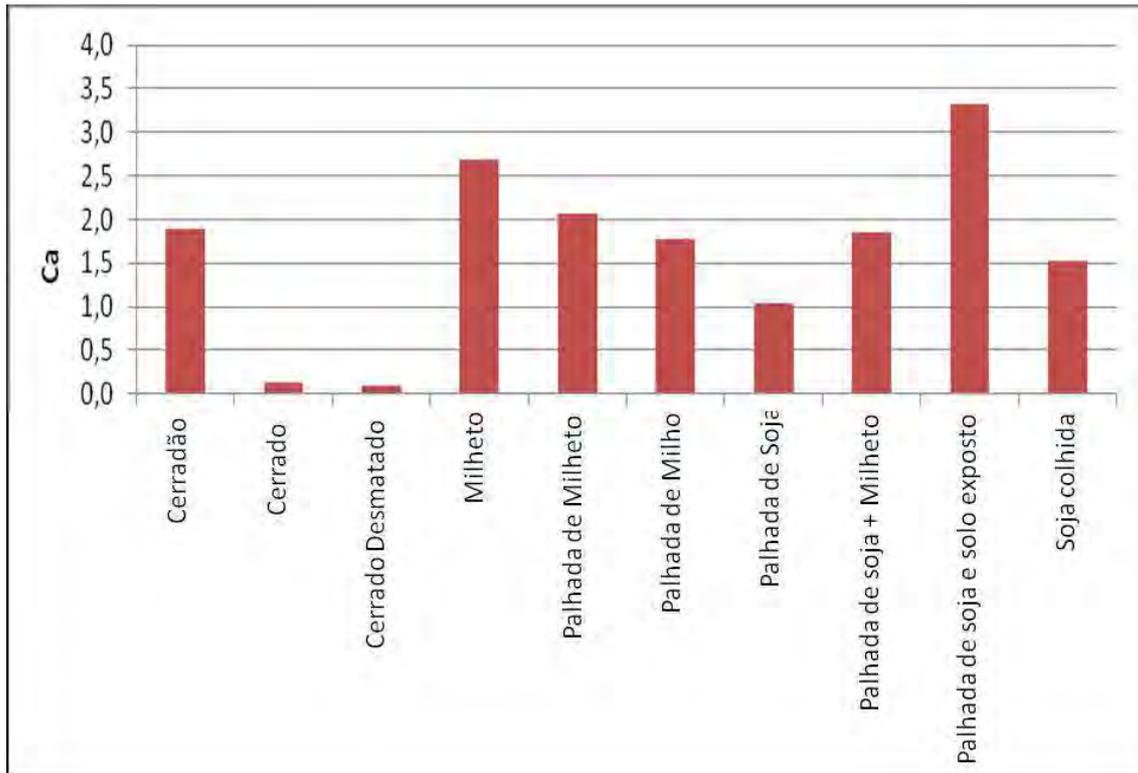


Figura 5.15 - Concentração de cálcio presente nas amostras de solos coletadas na profundidade de 20-30 cm.

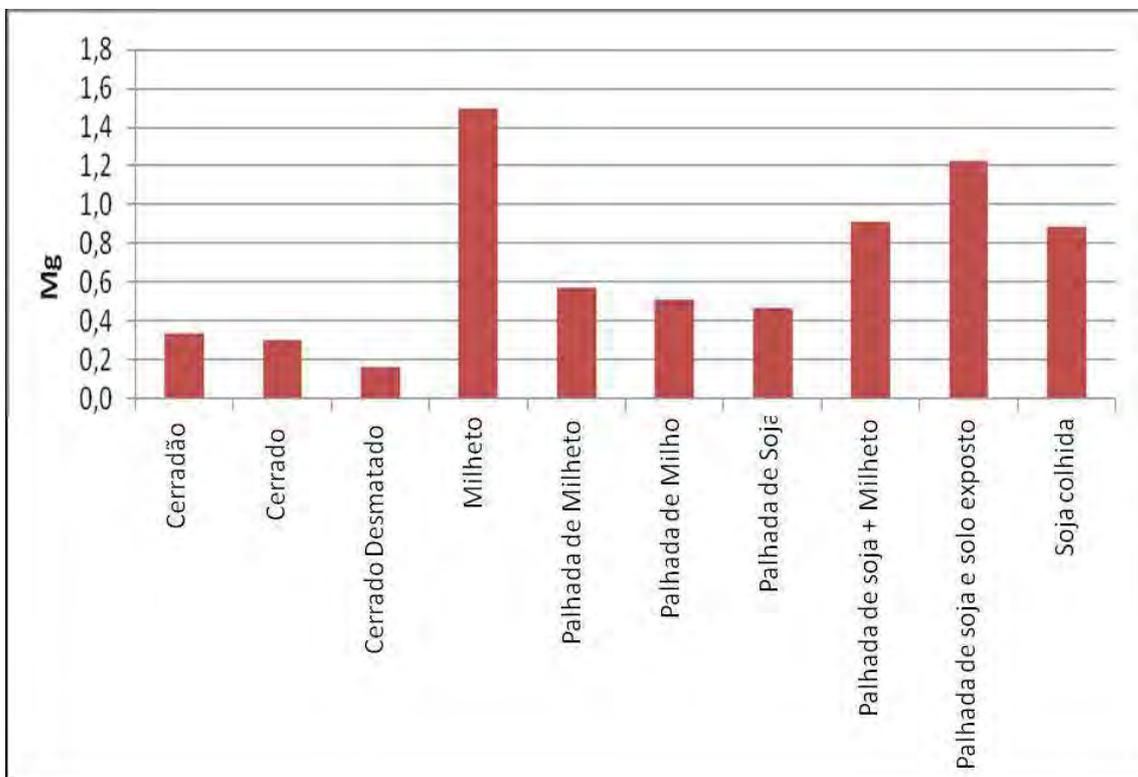


Figura 5.16 - Concentração de magnésio presente nas amostras de solos coletadas na profundidade de 20-30 cm.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

O estudo investigou a ocupação da última fronteira agrícola do cerrado brasileiro pela agroindústria nos últimos 35 anos. Os resultados obtidos atestam a eficácia da abordagem metodológica utilizada, a qual pode ser estendida para toda a área remanescente do bioma do cerrado brasileiro. Dados multitemporais de imagens dos satélites LANDSAT analisadas em intervalos de cinco anos entre 1975 e 2010 mostraram que a área estudada vem sendo ocupada em ritmo acelerado. A análise mostrou que:

- 1) As técnicas de processamento das imagens, constando de segmentação, classificação não supervisionada por região e edição utilizadas no estudo mostraram-se adequadas para delimitar as áreas ocupadas e abandonadas pela agricultura na região de estudo em cada período analisado.
- 2) As áreas de agricultura mecanizada cresceram em progressão geométrica, saltando de 9,1 km² em 1975 para 86,4 km² em 1980, 189,4 km² em 1985, 744,4 km² em 1990, 802,8 km² em 1995, 1.576,8 km² em 2000, 2.258,6 km² em 2005, e para 3.065,4 km² em 2010.
- 3) Áreas de rebrota, ou seja, áreas que foram ocupadas e depois abandonadas e se encontravam em fase de regeneração florística decresceram substancialmente em relação às áreas de agricultura ativa, representando, respectivamente, 58%, 32%, 41%, 21%, 21%, 12% dessas áreas, indicando a intensificação do processo de ocupação.
- 4) As análises físico-químicas dos solos indicaram elevada porcentagem de areia na composição química desses solos, o que indica a necessidade de bastante cuidado no seu manejo, pois um manejo inadequado pode causar reduções nos teores de matéria orgânica, ocasionando alterações na estrutura dos solos, tais como redução na porosidade original e conseqüente aceleração da perda de nutrientes pelo

escoamento superficial das águas das chuvas e pelo vento durante a estação seca, quando os solos ficam expostos.

- 5) Constatou-se acentuado processo de substituição da mão de obra pela atividade mecanizada entre as fases de implantação e consolidação das fazendas. No primeiro ano de implantação de uma fazenda a relação é de aproximadamente um funcionário para 30 ha; na fase de expansão da área agricultada, essa relação passa para cerca de um funcionário para 170 ha, ao passo que quando a fazenda já se encontra consolidada a relação se estabiliza em torno de um funcionário para 300 ha.

- 6) Projeções com base na série temporal de imagens LANDSAT analisada indicam que, se a taxa de ocupação dos últimos dez anos for mantida constante, ao final da presente década, restarão apenas cerca de 38% da área agricultável sobre os grandes platôs, e toda a área será ocupada até o final da próxima década.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, J.B.; SABOL, D.; KAPOS, V.; ALMEIDA FILHO, R.; ROBERTS, D.A.; SMITH, M.O.; GILLESPIE, A.R. Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: application to land-cover in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, v.52, p.137-152, 1995.

ALMEIDA FILHO, R.; SHIMABUKURO, Y.E. Digital processing of Landsat-TM time-series for mapping and monitoring degraded areas caused by independent gold miners, Roraima State, Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, v.79, p.42-50, 2002.

ARAÚJO, J.L.L. (coord.) **Atlas escolar do Piauí: espaço geo-histórico e cultural**. João Pessoa: Grafset, 2006.

ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.337-345, 2004.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.849-856, 2003.

BINS, L.S.; FONSECA, L.M.G.; ERTHAL, G.J.; LI, F.M. Sattelite imagery segmentation: a region growing approach. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996. Salvador, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996, p. 677-680. 1 CD-ROM.

BRANNSTROM, C.; JEPSON, W.; FILIPPI, A.M.; REDO, D.; XU, Z.; GANESH, S. Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986–2002: comparative analysis and implications for land-use policy. **Land Use Policy**, v.25, p.579-595, 2008.

CAMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. SPRING Integrating Remote Sensing and GIS with Object Oriented Data Modelling. **Computers & Graphics**, v.15, n.6, p.13-22, 1996.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, n.1, p.121-126, 1995.

CARDILLEY J.; FOLEY J.A. Agricultural land use change in Brazilian Amazonia between 1980 and 1995: evidence from integrated satellite and census data. **Remote Sensing of Environment**, v.87, p.551-562, 2003.

CARVALHO, C.M. **Avaliação da desertificação no sudoeste do estado do Piauí, através de técnicas de sensoriamento remoto**. 2007. 100 p. (INPE-15229-TDI/1320). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto

Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/12.21.16.43>>. Acesso em: 05 jan. 2012.

CHRISTOFFOLI, P.I. **O desenvolvimento de cooperativas de produção coletiva de trabalhadores rurais no capitalismo: limites e possibilidades**. 2000. 323 p. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal do Paraná, Paraná. 2000. Disponível em: <<http://eppeo.org.br/wp-content/uploads/2011/08/dissertacao-christoffoli.pdf>>. Acesso em: 10 de fev. 2012.

CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba. **Plano de ação para a Bacia do Rio Parnaíba – PLANAP**. Brasília: 2005. (Relatório Preliminar).

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SAPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.777-788, 2005.

CUNHA, A.S. (coord.). **Uma avaliação da sustentabilidade da agricultura nos cerrados**. Brasília: IPEA, 204p., 1994.

DELGADO, G.C. **Capital financeiro e agricultura no Brasil**. São Paulo: Ícone-Unicamp, 1985, 240p.

DENGSHENG, L.; MORAN, E.; BATISTELLA, M. Linear mixture model applied to Amazonian vegetation classification. **Remote Sensing of Environment**, v.87, n.4, p.456-469, 2003.

DEXTER, A.R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v.120, p.201-214, 2004.

DORAN, J.W.; PARKING, T.B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (orgs.) **Methods for Assessing Soil Quality**. Madison: SSSA, 1996, p.25-37.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Solos do Nordeste**. Recife: Embrapa Solos. Disponível em: <www.uep.cnps.embrapa.br/solos/>. Acesso em: 02 fev. 2012.

ESPINDOLA, G.M.; CAMARA, G.; REIS, I.A.; BINS, L.S.; MONTEIRO, A.M. Parameter selection for region-growing image segmentation algorithms using spatial autocorrelation. **International Journal of Remote Sensing**, v.27, p.3035–3040, 2006.

FERREIRA, M.E.; FERREIRA, L.G.; SANO, E.E.; SHIMABUKURO, Y.E. Spectral linear mixture modelling approaches for land cover mapping of tropical

savanna areas in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v.28, p.413-429, 2007.

FRANZLUEBBERS, A.J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil and Tillage Research**, v.66, p.95-106, 2002.

FRIGHETTO, R.T.S.; VALARINI, P.J. **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**. Jaguariúna: Embrapa, 2000. 198p.

HERRICK, J.E.; WHITFORD, W.G.; SOYZA, A.G.; Van Zee, J.W.; HAVSTAD, K.M.; SEYBOLD, C.A. Field soil aggregate stability kit for soil quality and rangeland health evaluations. **Catena**, v.44, n.1, p.27-35, 2001.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas de biomas do Brasil**. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 21 fev. 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 jan. 2011.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. Aplicação da curva de resistência do solo à penetração no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1493-1500, 2000.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.79, p.9-16, 2000a.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.55, p 69-78, 2000b.

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD, J.N. (orgs.). **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1981. p.415-471.

JENSEN, J.R. **Remote sensing of the environment: an earth perspective**. 2. ed. Upper Saddle River: Pearson-Prentice Hall, 2007. 592p.

JEPSON, W.; BRANNSTROM, C.; FILIPPI, A. Access regimes and regional land change in the Brazilian Cerrado, 1972-2002. **Annals of the Association of American Geographers**, v.100, n.1, p.87-111, 2010.

KARDOULAS, N.G.; BIRD, A.C.; LAWAN, A.I. Geometric correction of SPOT and imagery: a comparison of map- and GPS-derived control points. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.62, p.1173-1177, 1996.

KAUTSKY, K. **A questão agrária**. São Paulo: Abril/Nova Cultural, 1986 (ed. Original, 1898).

KAY, B.D.; SILVA, A.P.; BALDOCK, J.A. Sensitivity of soil structure to changes in organic carbon content: predictions using pedotransfer functions. **Canadian Journal of Soil Science**, v.77, p.655-667, 1997.

KLEIN, V.A. Densidade relativa - um indicador de qualidade física do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14, 2002, Cuiabá. **Resumos Expandidos...** Cuiabá: SBCS, 2002. CD-ROM.

KLINK, C.A.; MOREIRA, A.G. Past and current human occupation and land-use. In: OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R.J. (org.) **The Cerrado of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna**. New York: Columbia University, p.69-88, 2002.

KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v.19, n.3, 707-713, 2005.

LAGOS, A.R.; MULLER, B.L.A. Hotspot brasileiro. Mata Atlântica. **Saúde e Ambiente em Revista**, v.2, n.2, p.35-45, 2007.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba, EDUSP, 2005. 335p.

Machado, J.L. **Qualidade física do solo em distintos sistemas de uso e manejo quantificada pelo índice S**. 2006. 45p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

MACHADO, R.B.; RAMOS NETO, M.B.; PEREIRA, P.G.P.; CALDAS, E.F.; GONÇALVES, D.A.; SANTOS, N.S.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Brasília: Conservation Internacional, 23 p. (Relatório Técnico não publicado), 2004.

MARCHÃO, R.L.; LAVELLE, P.; CELINI, L.; BALBINO, L.C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Soil macrofauna under integrated crop-livestock systems in a Brazilian Cerrado Ferralsol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1011-1020, 2009.

MARKHAM, B.L.; BARKER, J.L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. **EOSAT Landsat Technical Notes**, n.1, p.3-8, 1986.

MARQUELLI, R.P. **O desenvolvimento sustentável da agricultura no cerrado brasileiro**. Monografia apresentada como requisito para obtenção de título de Pós-Graduação, em nível de Especialização Lato Sensu, modalidade MBA, em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada. ISEA-FGV/ ECOBUSINESS SCHOOL. Brasília – Distrito Federal. 2003.

MASON, D.C.; CORR, D.G.; CROSS, A.; HOGG, D.C.; LAWRENCE, D.H.; PETROU, M.; TAILOR, A.M. The use of digital map data in the segmentation and classification of remotely-sensed images. **International Journal of Geographical Information Systems**, v.2, n.3, p.195-215, 1988.

Mather, P.M. **Computer processing of remotely-sensed images – an introduction**. Midsomer Norton, Wiley, 1999, 292p.

MAZZETTO, C.E.S. Lugar-habitat e lugar-mercadoria: territorialidades em tensão no domínio dos cerrados. In: ZHOURI, A. (org.). **A insustentável leveza da política ambiental**. Belo Horizonte: Autêntica, p.217-244, 2005.

MEIRELLES, P.H.; SANO, E.E. Identificação da floresta estacional decidual no Vão do Paranã, Estado de Goiás, a partir da análise da reflectância acumulada de imagens do sensor ETM+/Landsat-7. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.63, n.3, p.415-425, 2011.

MENKE, A.B.; CARVALHO Jr., O.A.; GOMES, R.A.T.; MARTINS, E.S.; OLIVEIRA, S.N. Análise das mudanças do uso agrícola da terra a partir de dados de sensoriamento remoto multitemporal no município de Luís Eduardo Magalhães (BA – Brasil). **Sociedade & Natureza**, v.21, n.3, p.315-326, 2009.

MOTTA, R.S. **The economics of biodiversity in Brazil: the case of forest conversion**. Rio de Janeiro, IPEA, 21p. (Texto para discussão, n. 433), 1996.

NASCIMENTO, E.R.P.; SANO, E.E. Identificação de Cerrado Rupestre por meio de imagens multitemporais do Landsat: proposta metodológica. **Sociedade & Natureza**, v.22, n.1, p.93-106., 2010.

NIELSEN, M.N.; WINDING, A. **Microorganisms as indicators of soil health**. Denmark: National Environmental Research Institute, 2002. (Technical Report, 388).

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989. 308p.

OLIVEIRA, O.C.; OLIVEIRA, I.P.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Chemical and biological indicators of decline/degradation of Brachiaria pastures in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.103, p.289-300, 2004.

PRIMACK, R.B.; RODRIGUES, E. **Biologia da conservação**. Londrina: Efraim Rodrigues, 2001.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **PRODES - Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia**. 2010. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>. Acesso em: 30 out. 2010.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, R.; BAMLER, R. The Shuttle Radar Topography Mission - a new class of digital elevation models acquired by

spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v.57, p.241-262, 2003.

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

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: Condições físicas do solo agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29. Ribeirão Preto, 2003. **Anais...** Viçosa: SBCS, 2003. CD ROM.

RIBEIRO, R.F. Da 'largueza' ao 'cercamento': um balanço dos programas de desenvolvimento do Cerrado". In: ZHOURI, A. (org.). **A insustentável leveza da política ambiental**. Belo Horizonte: Autêntica, p.171-216, 2005.

SANO, E.E.; BARCELLOS, A.O.; BEZERRA, H.S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian savanna. **Pasturas Tropicales**, v.22, n.3, p.2-15, 2002.

SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.S.; FERREIRA, L.G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra no bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.1, p.153-156, 2008.

SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.; FERREIRA JUNIOR, L.G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.166, p.113-124, 2010.

SANO, E.E.; SANTOS, C.C.M.; SILVA, E.M.; CHAVES, J.M. Fronteira agrícola do oeste baiano: considerações sobre os aspectos temporais e ambientais. **Geociências**, v.30, n.3, p.479-489, 2011.

SAWYER, D. População, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no cerrado. In: HOGAN, D.J.; BERQUÓ, E.; COSTA, H.S.M. (orgs.). **Migração e ambiente no Centro-Oeste**. Campinas, NEPO/UNICAMP: PRONEX, p.279-299, 2002.

SCHOWENGERDT, R.A. **Remote sensing: models and methods for image processing**. 2^a ed. San Diego: Academic Press, 1997.

SHIMABUKURO, Y.E.; SMITH, J.A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.29, p.16-20, 1991.

SHIMABUKURO, Y.E.; SMITH, J.A. Fraction images derived from Landsat TM and MSS data for monitoring reforested areas. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v.21, n.1, p. 67-74, 1995.

SHIMABUKURO, Y.E.; BATISTA, G.T.; MELLO, E.M.K.; MOREIRA, J.C.; DUARTE, V. Using shade fraction image segmentation to evaluate

deforestation in Landsat Thematic Mapper images of the Amazon region. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, n.3, p.535-541, 1998.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V.; LIMA, J.F.W.F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.833-842, 2005.

SILVA, G.B.S.; FORMAGGIO, A.R.; SHIMABUKURO, Y.E.; ADAMI, M.; SANO, E.E. Discriminação da cobertura vegetal do Cerrado matogrossense por meio de imagens MODIS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.2, p.186-194, 2010.

SIQUEIRA, T.W. **O ciclo da soja**: Desempenho da cultura da soja entre 1961 e 203. Rio de Janeiro: BNDES Setorial, n.20, p.127-222, set. 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH)**. 2012: Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/portalsnirh>>. Acesso em: 08 fev. 2012.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2, p.195-276.

TURRIÓN, M.B.; LÓPEZ, O.; LAFUENTE, F.; MULAS, R.; RUIPÉREZ, C.; PUYO, A. Soil phosphorus forms as quality indicators of soils under different vegetation covers. **Science of the Total Environment**, v.378, n.1-2, p.195-198, 2007.