sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/09.03.17.55-TDI

EXPANSÃO AGRÍCOLA DE 1984 A 2006 E ESTIMATIVAS AGRÍCOLAS POR SENSORIAMENTO REMOTO E SIG NO MUNÍCIPIO DE LUÍS EDUARDO MAGALHÃES-BA

Pablo Santana Santos

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remato, orientada pelo Dr. José Carlos Neves Epiphanio, aprovada em 13 de agosto de 2007.

URL do documento original:
<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/09.03.17.55>

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 INTELECTUAL 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)
Drª 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)
Drª 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)

sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/09.03.17.55-TDI

EXPANSÃO AGRÍCOLA DE 1984 A 2006 E ESTIMATIVAS AGRÍCOLAS POR SENSORIAMENTO REMOTO E SIG NO MUNÍCIPIO DE LUÍS EDUARDO MAGALHÃES-BA

Pablo Santana Santos

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remato, orientada pelo Dr. José Carlos Neves Epiphanio, aprovada em 13 de agosto de 2007.

URL do documento original:
<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/09.03.17.55>

INPE
São José dos Campos
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sa59e

Santos, Pablo Santana.

Expansão agrícola de 1984 a 2006 e estimativas agrícolas por sensoriamento remoto e SIG no munícipio de Luís eduardo Magalhães-BA / Pablo Santana Santos. – São José dos Campos : INPE, 2012.

xx+84 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/09.03.17.55-TDI)

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

Orientador : Dr. José Carlos Neves Epiphanio.

1. expansão agrícola. 2. estimativas agrícolas. 3. sensoriamento remoto. 4. Sistema de Informação Geográfica (SIG). 5. Luís Eduardo Magalhães-BA. I.Título.

CDU 528.8(813.8)

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

Dr. Antonio Roberto Formaggio

Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dr. José Carlos Neves Epiphanio

Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dra. Silvana Amaral Kampel

Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dr. Diógenes Salas Alves

Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dr. Mauro Antonio Homem Antunes

Convidado(a) / UFRRJ / Seropédica - RJ

Aluno (a): Pablo Santana Santos

São José dos Campos, 13 de Agosto de 2007

"A felicidade não depende do que nos falta, mas do bom uso que fazemos do que temos."

Thomas Hardy

A Deus e toda a minha família... alicerces da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Sou grato a todas as pessoas que contribuíram para mais uma etapa na minha formação acadêmica.

A minha família, especialmente a minha esposa Cris, que sempre foi uma incentivadora e enfrentou com muita determinação os momentos mais difíceis que passamos juntos neste período.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pela estrutura abundante e ensinamentos, subsidiando o meu aperfeiçoamento profissional.

A todos os Profs. do SERE, pelo conhecimento compartilhado, especialmente ao Professor Antônio Formaggio.

À Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Em especial ao meu orientador Dr. José Carlos Neves Epiphanio, pelos ensinamentos, apoio nos momentos mais difíceis, que s de sua vasta experiência e conhecimento sobre a pesquisa científica, soube contribuir magnificamente em todas as etapas deste trabalho... a você o meu tão singelo agradecimento.

Aos amigos e companheiros do Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais (LTID): Camila Anjos, Daniela, Delano, Dênis Soares, Marcus Fuckner, Taíse e Thiago, pelo incentivo e troca de conhecimento nas atividades, e também pelos momentos de diversão proporcionados.

À equipe do Geosafras (INPE): Daniela, Elizabeth, Iêda, e John.

A todos os alunos da turma de pós-graduação (2005) em sensoriamento remoto, pelos momentos compartilhados.

Meu grande agradecimento à excelente secretária da pós-graduação, Etel, pela tão pronta disponibilidade em todos os momentos.

... jamais poderia deixar de lembrar de Deus, a razão e sustentação de toda a minha vida, sempre traçando novos caminhos e horizontes para minha caminhada.

RESUMO

O setor agrícola é de fundamental importância para a economia nacional e internacional. Diversos estudos apontam para a necessidade de monitorar a dinâmica agrícola local, a fim de entender a sua configuração espacial, com vistas a um diagnóstico estatístico dos principais cultivos e obtenção de inferências consistentes sobre futuras projeções no mercado local e regional. Por outro lado, o rápido crescimento do setor agrícola tem causado impactos negativos sobre a cobertura vegetal, os quais podem ser diagnosticados por meio de metodologias com caráter espaço-temporal. O presente trabalho teve como principal objetivo o acompanhamento histórico da expansão agrícola no município de Luís Eduardo Magalhães (LEM), localizado a oeste do Estado da Bahia, Brasil, por meio de imagens orbitais combinadas com informações adicionais de diferentes naturezas. Analisaram-se estatísticas agrícolas municipais ao longo de vinte e dois anos (1984 a 2006), e também, analisaram-se os possíveis impactos diretos causados pela expansão agrícola sobre a cobertura vegetal local - o *Cerrado*. Os valores de área dos cultivos agrícolas apontaram um rápido crescimento deste setor no município, onde inicialmente a área agricultável apresentava-se em 4,22%, e atualmente representa mais da metade da área municipal (54,46%). A maior expansão agrícola em número de talhões agrícolas e área ocorreu no período de 1995 a 1996. Entre outros dados, observa-se que 190 talhões agrícolas somaram uma área de 15.849,3ha, com média de 83,4ha. Entre as principais variáveis do meio físico que contribuíram para essa rápida expansão, destacam-se o solo e o relevo. A combinação entre esses dois fatores formou um ambiente propício para o estabelecimento de cultivos agrícolas em escala comercial. Nesta ocupação, os “talhões agrícolas” apresentaram-se com tamanhos e formas variados. A área média é de 85,7ha e as dimensões que levam ao cálculo da compactividade são de 22,55 a 32,36. Isso leva à conclusão de que a agricultura exercida no município é altamente comercial. Na comparação entre o método usual desenvolvido pelo GeoSafras e o método aqui proposto (Geosafras Otimizado), para estimativa de área cultivada, este último apresentou uma redução significativa (α = 5%) nas fontes de erros em todas as safras em análise (2001 a 2006), possibilitando uma redução no número de amostras, o que reflete em otimização do custo do sistema. Os impactos diretos ocasionados pela rápida expansão agrícola foram a supressão significativa da cobertura vegetação local (*Cerrado*). Tal supressão foi de 201.702,7ha, e observou-se que algumas dessas supressões deram-se em áreas de Preservação Permanente. Não obstante, a única Unidade de Conservação (APA) existente em LEM mostrou-se com grande eficiência na manutenção da vegetação nativa; e isso é bem evidenciado pela presença do maior fragmento de Cerrado ainda existente em LEM (72.724,2ha).

CROP EXPANSION FROM 1984 TO 2006 AND AGRICULTURAL ESTIMATES BY REMOTE SENSING ANALYSIS AND GIS AT LUÍS EDUARDO MAGALHÃES MUNICIPALITY, BRAZIL

ABSTRACT

The agriculture is very important for Brazilian economy, and its growth was very fast during the last decades. However, the fast growth of the agricultural sector has caused some negative impacts on the natural vegetation cover. This work aims to discuss the historical agricultural expansion of Luís Eduardo Magalhães (LEM) municipality located at the west part of Bahia State, Brazil, over the last 22 years. The analysis was done by making a combination of orbital images and some specific aspects of the natural resources of the region. Such analyses were based on the municipal agricultural statistics registered throughout 22 years (1984 to 2006). Also, it is analyzed the possible direct impacts caused by agricultural expansion over local vegetal coverage: the *savanna*. The values obtained for the agricultural area used pointed towards a fast growth of this sector in the county. Initially, agricultural area was 4.22%, growing up to the current figures of more than the half of the municipal area (54.46%). The biggest expansion in number of agricultural polygons and physical area occurred between 1995 and 1996, in which 190 agricultural polygons responded for an area of 15,849.3ha, with an average of 83.4ha each. The main characteristics of the environment that had contributed to this fast expansion are soils and relief. The combination of these two factors yielded a good environment for the establishment of agricultural activities in a commercial scale. The "agricultural polygons" generated presented different sizes and forms. The average area was 85.7ha, and the form ranged from 22.55 to 32.36 (Compact). These findings led to the conclusion that agriculture activity in the municipality was controlled directed by highly commercial crops. The comparison between the usual method for crop area estimation developed by the GeoSafras project, and the method proposed (Optimized GeoSafras), showed that the last one presented a significant reduction (α = 5%) of errors in all the crop seasons analyzed (2001 to 2006). It makes possible to reduce the number of samples, thus optimizing the cost of the system. The direct impact caused by the fast agricultural expansion was the suppression of local vegetation coverage (*Savanna*). Such suppression was about 201,702.7ha, including the Permanent Preservation areas. The only Environmental Conservation Unit (APA) located in LEM revealed a great efficiency in the maintenance of the native vegetation. Such fact is noticed by the presence of the greatest untouched *savanna* polygon of LEM (72,724.2ha).

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 2.1 – Em 2003 o Brasil desponta com a maior produtividade de soja 12
Figura 3.1 – Localização da área de estudo 25
Figura 4.1 – Visão geral da metodologia proposta 27
Figura 4.2 – Acompanhamento agrícola de 1984 a 2006.
Figura 4.3 – Integração dos planos de informação 30
Figura 4.4 – Procedimentos para refinamento dos dados SRTM 31
Figura 4.5 – Melhoria do mapa de solos com base no modelo digital de elevação 33
Figura 4.6 – Método para análise da direção e comprimento médio dos talhões agrícolas 36
Figura 4.7 – Padrões obtidos por meio de interpretação visual, no município de LEM (Composição Colorida TM/Landsat-5 - 4R 5G 3B) 40
Figura 5.1 – Distribuição espacial da área cultivada em LEM 41
Figura 5.2 – Ajustes dos cinco semivariogramas pré-selecionados 42
Figura 5.3 – Correlação do SRTM Original (90m) com o SRTM krigagem (30m) – Amostra A2 43
Figura 5.4 – Informação de relevo em grade regular de 30m (krigagem) 43
Figura 5.5 – Ajuste do mapa de solos com base no modelo digital do terreno (SRTM).45
Figura 5.6 – Integração das variáveis solo, relevo, uso do solo e clima.....47
Figura 5.7 – Distribuição dos talhões agrícolas em LEM, de 1984 a 2006.....50
Figura 5.8 – Evolução do número e área média dos novos talhões agrícolas em LEM, em base anual 52
Figura 5.9 – Relação da compactividade com a forma do objeto.....53
Figura 5.10 – Valores mínimos, médios e máximos dos índices de compactividade dos novos talhões agrícolas incorporados em cada período em LEM, de 1984 a 2006.....54
Figura 5.11 – Comprimento médio dos talhões agrícolas em LEM, e a relação diretamente proporcional entre os valores médios de área e comprimento56
Figura 5.12 – Diagrama de rosetas com as frequências de rumos dos talhões agrícolas em LEM (1984 a 2006), e distribuição espacial que identifica a direção e a magnitude da expansão 57
Figura 5.13 – Relação inversa entre a expansão agrícola e a vegetação nativa (Cerrado) 59
Figura 5.14 – Expansão da agricultura sobre o Cerrado em LEM, de 1984 a 2006.....60
Figura 5.15 – Expansão da agricultura sobre o Cerrado em LEM - análise anual 62

Figura 5.16 – Valores de altitude e declividade (processamento de dados SRTM).....63
Figura 5.17 – Ocupação das APPs (margens dos rios) pela agricultura.....64
Figura 5.18 – Intersecção da APA Rio de Janeiro com a interpretação de 2006 65
Figura 5.19 – Distribuição do cultivo da soja em LEM de 2001 a 2006.....57
Figura 5.20 – Alguns usos da terra identificados no trabalho de campo em LEM 68
Figura 5.21 – Linha de tendência do incremento de área plantada com a cultura da soja no município LEM, com base na interpretação visual 69
Figura 5.22 – Comparação entre os dois métodos na estimativa de área plantada e na magnitude dos coeficientes de variação.....70
Figura 5.23 – Comparativo entre as estimativas oficiais e os resultados obtidos por meio de interpretação visual.....71

LISTA DE TABELAS

Pág.

2.1 - Características dos sensores TM e ETM dos Landsat 5 e 7, respectivamente 6
2.2 - Características básicas do sensor CCD do satélite CBERS-2 8
4.1 - Imagens utilizadas para interpretação visual em LEM 28
5.1 - Direções de estabelecimento dos talhões agrícolas em LEM, de 1984 a 2006 57
5.2 - Análise das variâncias 72
5.3 - Comparação da significância estatística entre os dois métodos 72

SUMÁRIO

Pág.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO 1
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 5
2.1 Sensoriamento Remoto 5
2.1.1 Perspectivas do Sensoriamento Remoto no Brasil 7
2.2 Sensoriamento Remoto na Agricultura 9
2.2.1 Estatísticas Agrícolas 9
2.2.2 A Cultura da Soja 11
2.3 Importância do Acompanhamento Temporal da Agricultura 12
2.4 Métodos para Análise de Imagens Multitemporais 14
2.5 Métrica da Paisagem 16
2.5.1 Aplicação em Alvos Agrícolas 17
2.6 Integração da Informação 19
2.7 Expansão Agrícola sobre a Vegetação Natural 20
2.7.1 Impactos no Bioma Cerrado 22
CAPÍTULO 3 - ÁREA DE ESTUDO 25
CAPÍTULO 4 - MATERIAIS E MÉTODOS 27
4.1 Identificação dos Principais Fatores que Influenciaram na Expansão Agrícola 29
4.1.1 Áreas Agrícolas (2006) 30
4.1.2 Relevo 30
4.1.3 Solo 32
4.1.4 Clima 33
4.2 Métrica da Paisagem Aplicada a Alvos Agrícolas 33
4.2.1 Área 34
4.2.2 Perímetro 34
4.2.3 Compactividade 35
4.2.4 Direção e Comprimento Médio 35
4.3 Expansão Agrícola *versus* Legislação Ambiental 36
4.3.1 Áreas Agrícolas e Vegetação Nativa 37

4.3.2 Declividade e Hidrografia (Áreas de Preservação Permanente – APPs).....37
4.3.3 Unidades de Conservação (UCs).....37
4.4 Otimização do Sistema de Amostragem do GeoSafras.....38
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....41
5.1 Identificação dos Principais Fatores que Influenciaram na Expansão Agrícola 41
5.1.1 Áreas Agrícolas (2006).....41
5.1.2 Relevo.....42
5.1.3 Solo.....44
5.1.4 Clima 45
5.1.5 Álgebra de Mapas.....46
5.2 Métrica da Paisagem Aplicada a Alvos Agrícolas 49
5.3 Expansão Agrícola *versus* Legislação Ambiental 58
5.4 Otimização do Sistema de Amostragem do GeoSafras.....66
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E REMOMENDAÇÕES.....73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 75

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O setor agrícola é de grande importância para a economia mundial. No Brasil, em 2004, este setor representou aproximadamente um Produto Interno Bruto (PIB) de R$ 524,5 bilhões, correspondente a 30,20% de todo o PIB da economia nacional (CNA, 2005). Entre os principais países agrícolas mundiais, o Brasil é considerado uma grande potencialidade neste setor, tanto por sua parcela de contribuição na produção mundial, como por apresentar grande extensão de terras para expansão de sua área cultivada.

A expansão demográfica do último século, particularmente nos últimos cinquenta anos, exerceu uma pressão considerável sobre o crescimento da produção para o consumo interno, que foi alcançado, em grande parte, pela incorporação de novos territórios ao processo produtivo (PIRES, 2002).

Esses novos territórios vêm se expandindo a cada dia com o plantio de novas áreas para a produção de grãos. No ano de 2004 o Brasil produziu 119,2 milhões de toneladas de grãos, o que representa 47,5 milhões de hectares plantados - um crescimento de 7,90% na área plantada em comparação aos 43,9 milhões de hectares cultivados no ano agrícola 2002/2003 (CNA, 2005).

Em alguns locais, devido a fatores intrínsecos ao sistema de produção, essa expansão ocorre de forma rápida. Essa rapidez contribui para a falta de levantamentos e estudos aprofundados sobre o desenvolvimento agrícola local. O conhecimento do panorama agrícola de uma determinada região é de grande importância para a política agrícola. Segundo Pino (1999), muitas decisões sobre importações ou exportações, manutenção de estoques reguladores, estratégias para diversos insumos, alocação de créditos e outros aspectos são estabelecidos com base nas estatísticas agrícolas.

Para Gürtler (2003), informações relativas a culturas agrícolas podem ser armazenadas e manipuladas por meio de Sistemas Gerenciadores. Além de permitir atualizações das informações periodicamente, tais sistemas também permitem que essas informações sejam consultadas. A combinação de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) com

banco de dados é bastante útil para aplicações agrícolas, pois permite que se aliem dados espaciais, como imagens de satélite, cartas e mapas com dados tabulares relativos às culturas agrícolas. A inserção e uso de imagens de diversas datas permitem que seja feita uma análise temporal com o objetivo de perceber e avaliar a dinâmica do uso do solo em sistemas agrícolas.

Atualmente, as estatísticas agrícolas oficiais no Brasil são realizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio do Levantamento Sistemático da Produção Agropecuária (LSPA), com a aplicação de um método subjetivo. Segundo Collares et al. (1993), este método baseia-se em informações colhidas de produtores, cooperativas e instituições de crédito agrícola. Às vezes, a forma de levantamento agrícola por este método é questionada por alguns pesquisadores, devido à sua subjetividade e magnitude de ocorrência de erros.

Segundo Luiz e Epiphanio (2001), um dos grandes desafios para melhorar as estatísticas agrícolas no Brasil é estabelecer um método que permita associar de maneira definitiva a tecnologia do sensoriamento remoto orbital aos procedimentos rotineiramente utilizados nos levantamentos das estatísticas agrícolas.

Portanto, o uso de técnicas de sensoriamento remoto pode ser uma alternativa para tornar mais objetiva a identificação de panoramas agrícolas no Brasil. As imagens dos sensores TM (*Thematic Mapper*) e ETM/Landsat (*Enhanced Thematic Mapper*) são de resolução espacial intermediária e, por representarem os alvos agrícolas em escalas compatíveis para análise ou fins de estimativas de áreas agrícolas, prestam-se sobremaneira para tais análises evolutivo-temporais.

Neste contexto, o presente trabalho tem como principal objetivo o acompanhamento histórico da evolução da agricultura no município de Luís Eduardo Magalhães (LEM), a oeste da Bahia, Brasil, por meio de imagens orbitais e informações adicionais (mapas, informações tabuladas), com vistas ao reconhecimento do panorama agrícola local e sua evolução ao longo de 22 anos, compondo uma base de dados para auxiliar nas estatísticas agrícolas e suas projeções.

Para atender ao objetivo geral acima citado, buscar-se-á atingir os seguintes objetivos específicos:

- Identificação das áreas agrícolas e da vegetação nativa num período de 22 anos, de 1984 a 2006;

- Identificar alguns fatores que tiveram influência na expansão agrícola do município LEM, e estabelecer correlações entre o Uso da Terra e as variáveis solo, relevo e clima;

- Avaliação espacial e quantitativa da distribuição dos talhões agrícolas e sua dinâmica ao longo dos anos, com a identificação dos principais períodos de expansão agrícola no município e suas tendências (métrica de paisagem aplicada a alvos agrícolas);

- Identificar as áreas de Cerrado (vegetação nativa) e as áreas de preservação permanente (APPs) que foram suprimidas ou afetadas frente à expansão agrícola, à luz da legislação ambiental vigente;

- Otimizar o sistema de amostragem agrícola utilizado pelo projeto GeoSafras, no âmbito municipal.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sensoriamento Remoto

Jensen (2000) conceitua o sensoriamento remoto como sendo a arte e ciência de obter informação sobre um determinado alvo, sem estar em contato direto com ele. Mather (1999) acrescenta a este conceito a importância da interpretação e/ou medição da energia eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos.

Segundo Accioly et al. (2002), esta ciência auxilia no monitoramento do uso da terra em diferentes escalas e para diferentes ambientes, o que mostra a relevância da sua aplicação. Para Campbell (1996), muitas das informações e descobertas sobre a superfície terrestre são provenientes dos registros de sensores remotos orbitais, por meio da quantificação da energia refletida ou emitida pelos alvos.

Embora os dados oriundos do sensoriamento remoto tenham sido utilizados amplamente desdes os primórdios desta ciência, o lançamento do primeiro satélite da série Landsat, em 1972, representou um grande avanço nas pesquisas aplicadas do sensoriamento remoto, as quais antes eram realizadas em sua maioria apenas em laboratórios especializados (CAMPBELL, 2006). Gibson e Power (2000) complementam que a interpretação, análise e aplicação dessas informações provenientes do sensoriamento remoto têm contribuído comprovadamente para avanços significativos em várias áreas da ciência, como climatologia, geologia, agricultura, oceanografia, planejamento urbano, monitoramento ambiental, entre outras.

No âmbito dos programas espaciais, especificamente nos satélites de sensoriamento remoto, o sistema sensor é considerado um dos mais importantes componentes no processo de aquisição de informações da superfície terrestre, daí a sua denominação de “carga útil”. Segundo Jensen (2000), esses instrumentos são capazes de captar a radiação eletromagnética proveniente de um alvo e transformar o pulso elétrico gerado em número digital, com posterior transformação em informação por meio de técnicas de processamento visual e⁄ou digital de imagens.

A escolha do sistema sensor está diretamente relacionada com suas características intrínsecas, tais como: resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal, que melhor se adéquam às características do fenômeno a ser estudado. A série Landsat, iniciada em 1972, e que se estende aos dias atuais, mostrou-se de grande eficiência para levantamentos de recursos naturais, com aplicações já comprovadas em diversas áreas, a saber: agricultura (OETTER et al., 2000; EPIPHANIO et al., 2002; THOMAS; TIM, 2004), monitoramento de florestas (ASNER et al., 2005; COSTA; SOUZA, 2005; KUPLICH et al., 2005), hidrologia (ESPINOZA; ABRAHAM, 2005; SANTOS; MAILLARD, 2005), ecoturismo (BARBOSA et al., 2005), Oceanografia (ANDRÉFOUËT et al., 2001), entre outros.

A Tabela 2.1 mostra algumas características dos sensores TM e ETM+, dos satélites Landsat-5 e 7, respectivamente:

TABELA 2.1 - Características dos sensores TM e ETM+ dos Landsat 5 e 7.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Faixa Imageada
TM	1	0,45 - 0,52 µm	30 m	16 dias	185 km
	2	0,50 - 0,60 µm			
	3	0,63 - 0,69 µm			
	4	0,76 - 0,90 µm			
	5	1,55 - 1,75 µm			
	6	10,4 - 12,5 µm	120 m		
	7	2,08 - 2,35 µm	30 m		
ETM+	1	0,45 - 0,52 µm	30 m	16 dias	185 km
	2	0,50 - 0,60 µm			
	3	0,63 - 0,69 µm			
	4	0,76 - 0,90 µm			
	5	1,55 - 1,75 µm			
	6	10,4 - 12,5 µm	60 m		
	7	2,08 - 2,35 µm	30 m		
	8	0,50 - 0,90 µm	15 m		

FONTE: Adaptado de Embrapa (2005a).

Nas últimas décadas, o sensoriamento remoto orbital tornou-se uma importante ferramenta para monitorar os recursos da terra, pois possibilita adquirir dados

significativos de grandes extensões geográficas. Estudos de detecção de mudanças através do sensoriamento remoto são baseados no fato de que distúrbios, tanto naturais quanto de origem antrópica, no meio ambiente produzem variações detectáveis na resposta espectral do alvo ou do fenômeno estudado (ANDERSON et al., 2003). Para Ouyang et al. (2006), a classificação de dados remotamente sensoreados é uma importante aproximação para adquirir informações relevantes do uso da terra.

De uma forma geral, os sensores remotos são especificados para atender distintas aplicações, que requeiram características próprias quanto ao número, posicionamento e largura espectral das bandas. Assim, os sensores ópticos orbitais geralmente possuem bandas na porção do visível, na porção do infravermelho próximo e na porção do infravermelho de ondas curtas do espectro eletromagnético. Alguns sensores remotos possuem ainda uma banda centrada em comprimentos de onda maiores, correspondentes ao infravermelho termal, para medir a radiância emitida pelos alvos da superfície terrestre. Outros sensores possuem uma banda denominada pancromática, cuja faixa espectral é larga e se estende desde o visível até o infravermelho próximo (RIZZI, 2004).

No sensoriamento remoto óptico, a interação da energia eletromagnética com a vegetação local varia em função das características bioquímicas e estruturais das folhas. Além destas características, a escala de análise - folha ou dossel - é fator primordial para entender as diferentes respostas espectrais da vegetação. Para Ustin et al. (1993), o sucesso obtido pelos modelos ambientais está em função de identificar os fatores que definem a variância espectral em diferentes escalas.

2.1.1 Perspectivas do Sensoriamento Remoto no Brasil

Segundo Epiphanio (2005a), o setor de sensoriamento remoto no Brasil tem passado por sucessivos amadurecimentos, desde o tecnológico, no desenvolvimento de satélites próprios, até a formação de pesquisadores qualificados a atuar na área. Acrescenta, ainda, que o país entrou cedo nesse segmento, com a rápida percepção da importância do sensoriamento remoto, e que foi o terceiro país, depois dos Estados Unidos e Canadá, a receber diretamente os dados do Landsat, em 1973.

Para Rizzi (2004), a grande vantagem oferecida pela utilização das imagens da série Landsat é a alta disponibilidade mundial de seus produtos, o que resulta em um considerável acervo de trabalhos técnicos e científicos, que serve de base para comparações e discussões no âmbito da pesquisa e da aplicação. No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais é o responsável pela recepção das imagens Landsat, que ficam disponíveis ao usuário final cerca de uma semana após a aquisição dos dados pelo sistema sensor e sua transmissão para a antena localizada em Cuiabá, MT. Até o presente momento o satélite Landsat-5 está em plena atividade, gerando informações contínuas da superfície terrestre.

Como fruto desses esforços para o desenvolvimento e construção de satélites nacionais para coleta de dados e sensoriamento remoto, atualmente o Brasil possui um satélite de levantamento de recursos naturais, o CBERS-2, em parceria com a China, e já vislumbra o lançamento de outro satélite desta série, o CBERS-2B, para garantir a continuidade do levantamento de informações da superfície. A Tabela 2.2 mostra as características principais da câmera CCD (Câmera Imageadora de Alta Resolução) a bordo do satélite CBERS-2.

TABELA 2.2 - Características básicas do sensor CCD do satélite CBERS-2.

Sensor/Banda	**Faixa Espectral**	**Resolução Espacial**	**Resolução Temporal**	**Faixa Imageada**
CCD/ 1	0,45-0,52 (µm)	20 (m)	26 dias	113 km
CCD/ 2	0,52-0,59 (µm)			
CCD/ 3	0,63-0,69 (µm)			
CCD/ 4	0,77-0,89 (µm)			
CCD/ 5	0,51-0,73 (µm)			

FONTE: Adaptado de Epiphanio (2005b).

Na continuidade do Programa Espacial Sino-Brasileiro, o Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres - CBERS-2B - está previsto para ser lançamento em 2007. Tendo em vista a possível falta de fornecimento de dados pelo Satélite Landsat-5, o lançamento do CBERS-2B tem caráter estratégico, e pode garantir a continuidade da informação de forma rápida e gratuita, impulsionando as pesquisas em desenvolvimento no Brasil e em outros países que farão uso desta tecnologia.

2.2 Sensoriamento Remoto na Agricultura

O conhecimento do uso do solo de uma determinada região é de fundamental importância para o estabelecimento de padrões ocupacionais, além de possibilitar a implantação de estratégias de planejamento contínuo. Segundo Epiphanio et al. (2001), dada a disponibilidade de um conjunto de imagens de satélite, é possível, pelo menos teoricamente, atingir um razoável nível de precisão de interpretação do uso do solo.

O monitoramento das condições agrícolas e as estimativas de safras beneficiam extremamente o planeamento estratégico de um determinado país. A avaliação exata e oportuna da redução na produção agrícola causada por um desastre natural, tal como a seca ou infestação de pragas e doenças, pode influenciar na economia nacional, principalmente quando o país tem o setor agrícola como base da sua economia. A estimativa de safra, a ponto de avaliar possíveis reduções no rendimento agrícola, pode evitar uma situação desastrosa e ajudar no planejamento estratégico. As aplicações da tecnologia do sensoriamento remoto para monitorar as condições da colheita vêm sendo estudadas extensivamente e têm fornecido informações oportunas das mudanças no crescimento e no desenvolvimento das colheitas agrícolas de diversos países (DORAISWAMY et al., 2004).

O papel relevante do sensoriamento remoto na agricultura tem sido atribuído principalmente ao monitoramento e mapeamento de áreas agrícolas por meio da utilização de imagens orbitais, que permite a identificação do dinamismo do ambiente agrícola pela integração de diversos tipos de dados em diferentes momentos no tempo (GIANNOTTI, 2001).

2.2.1 Estatísticas Agrícolas

O Serviço Nacional de Estatísticas Agrícolas (*National Agricultural Statistics Service* - NASS) do Departamento Norte Americano de Agricultura (*United States Department of Agriculture* - USDA) iniciou a utilização do sensoriamento remoto orbital na agricultura com o lançamento do primeiro satélite da série Landsat em 1972, o que possibilitou a estimativa de área agrícola e o diagnóstico das condições das culturas (Hale et al., 1999).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) realiza anualmente o levantamento das safras agrícolas no Brasil por meio do LSPA (Levantamento Sistemático da Produção Agropecuária). Este levantamento teve início em 1972, para obter informações de área, produção e rendimento médio dos principais cultivos brasileiros (IBGE, 2002). Entretanto, este método não utiliza dados de sensoriamento remoto orbital.

O monitoramento e previsão da safra da soja no Brasil, assim como das demais culturas, é tradicionalmente realizado a partir de dados oriundos de informações fornecidas por entidades ligadas à produção agrícola. Os dados coletados em nível municipal são posteriormente agrupados para toda a extensão do território nacional. Apesar da grande importância destes dados para a economia, por estarem intimamente ligadas ao excesso ou escassez de produtos, a subjetividade na avaliação por entrevistas determina um certo grau de incerteza nas informações geradas. Aliado a isso, em função das diferenças regionais, a liberação destas informações geralmente é lenta e onerosa. A introdução das tecnologias de geoprocessamento e de sensoriamento remoto poderiam tornar o sistema atual de monitoramento e previsão de safras brasileiro mais eficiente e dinâmico nas escalas regional e nacional. Essas tecnologias permitem a obtenção de informações precisas, em tempo hábil e com reduzida relação custo/benefício sobre a extensão, as condições de desenvolvimento e o potencial de produção de culturas (MOTTA et al., 2001).

Para um país com tanto potencial agrícola, a previsão de safras torna-se imprescindível, o que justifica que pesquisas sejam continuamente geradas para o desenvolvimento e aprimoramento de metodologias que permitam a aquisição de dados mais confiáveis de produtividade e área cultivada para a estimativa de safras (SANCHES, 2004). Com vistas a uma estimativa agrícola com maior objetividade, o Projeto GeoSafras, coordenado pela CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), vem desenvolvendo para alguns Estados brasileiros, com base em amostragem por município, um método de amostragem simples para estimativa de área agrícola de algumas das principais culturas. Diferencia-se do método realizado pelo IBGE por

utilizar imagens de satélite para auxiliar na determinação de áreas agrícolas e por basear-se num procedimento estatístico-amostral.

O método para estimativa de área agrícola utilizado pelo Projeto GeoSafras ainda é executado em caráter experimental. Entretanto, tem havido constantes esforços no sentido de aumentar sua eficiência, a fim de contribuir para a melhoria das estatísticas agrícolas no Brasil.

2.2.2 A Cultura da Soja

A partir da década de 1960, a soja estabeleceu-se como cultura economicamente importante para o Brasil. Nessa década, a sua produção multiplicou-se por cinco (passou de 206 mil toneladas, em 1960, para 1,056 milhão de toneladas, em 1969), e 98% desse volume era produzido nos três Estados da região sul, onde prevaleceu a prática da sucessão trigo no inverno e soja no verão (EMBRAPA, 2005b).

Entre os principais países produtores, os Estados Unidos ocupam a primeira posição na produção de soja, e respondeu por 41,5% da produção mundial em 2004. O Brasil é o segundo maior produtor de soja, responsável por 23,8% da produção mundial (Abiove, 2005a). Entretanto, as condições são favoráveis para que o Brasil seja o maior produtor desta oleaginosa, não só devido à alta produtividade alcançada em 2003 (Figura 2.1), como também pela grande extensão de área que ainda pode ser explorada pela agricultura.

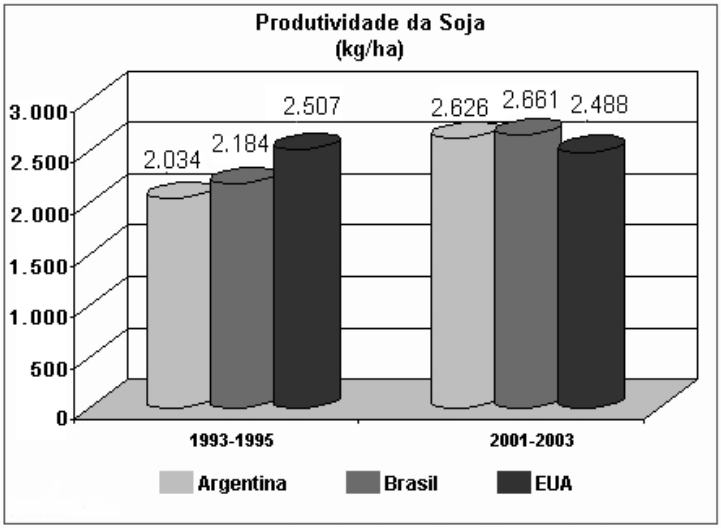


FIGURA 2.1 – Em 2003 o Brasil desponta com a maior produtividade de soja.
FONTE: Abiove (2005b).

Em dez anos, no período compreendido entre 1990 e 2000, a área da cultura da soja cresceu 584,26% no oeste da Bahia, e esta região é responsável por 100% da produção atual do Estado. Essa produção representou 73,1% da produção do Nordeste e 4,6% da produção do país no ano de 2000 (PEIXOTO, 2005).

2.3 Importância do Acompanhamento Temporal da Agricultura

A ciência da terra é multidisciplinar e vários estudos necessitam de informações registradas por sensores remotos. Em diversos trabalhos as imagens de sensores remotos são, na quase totalidade, a única maneira de obter informação espacial da cobertura vegetal, e ainda, possibilitam estudos temporais haja vista a possibilidade de registros obtidos em anos anteriores. Em decorrência disso, o uso dessas informações é crescente a cada dia, onde os pesquisadores são confrontados frequentemente com este fluxo contínuo de dados que necessitam ser explorados e potencializados (TURDUKULOV; KRAAK, 2006).

A detecção de mudanças é um processo para identificar diferenças no estado de um objeto ou fenômeno pela sua observação em tempos diferentes, levando em consideração alguns aspectos, como a identificação da natureza da mudança, medição da sua extensão e avaliação do seu padrão espacial (ANDERSON, 2005).

A classificação de imagens a partir de uma única data tem mostrado desvantagens na avaliação de informações sobre mudanças da cobertura vegetal, principalmente para a caracterização de cultivos agrícolas (WAYMAN, 2000). A abordagem temporal na agricultura é um fator fundamental (Sanches, 2004), possibilitando a distinção de cultivares, além de fornecer informações sobre a disposição e expansão dos talhões agrícolas ao longo dos anos. Para Haase et al. (2007), muitas destas mudanças são quase sempre imperceptíveis quando a questão é analisada sobre períodos muito curtos, havendo assim a necessidade do uso de séries mais longas e até históricas.

Os estudos históricos dos cenários agrícolas por meio de análise temporal são na grande maioria eficientes, com relevante importância para a economia mundial, pois influenciam nas tomadas de decisão no sentido de priorizar ou dirigir as ações de governo, entre outras implicações do ramo. Por esses estudos é possível compreender a dinâmica agrícola local, bem como prever os processos de desenvolvimento agrário nos anos vindouros.

O sensoriamento remoto multiespectral, por meio de imagens digitais, tem um papel fundamental na composição dos cenários agrícolas, haja vista o relevante potencial na distinção dos principais cultivos por meio desses estudos temporais. Além da distinção, o conhecimento atualizado da distribuição e da área ocupada pela agricultura e vegetação natural, bem como informações sobre as proporções de suas mudanças, são cada vez mais necessárias (MATHER, 1999). Desse modo, existe a necessidade de atualização constante dos registros de uso da terra para que suas tendências e cenários possam ser analisados (TONIAL, 2003).

Segundo Mather (1999), imagens ópticas de satélite têm sido amplamente utilizadas para a caracterização do uso da terra, fornecendo informações importantes de épocas passadas, as quais podem subsidiar metodologias com enfoques temporais. Para Kurosu et al. (1997), essas imagens apresentam boa capacidade para classificação e monitoramento de alvos agrícolas.

Entretanto, apenas algumas culturas agrícolas podem ser efetivamente monitoradas por sensoriamento remoto. São aquelas que ocupam a maior área, sendo cultivadas

mecanicamente e, portanto, em talhões cujas dimensões mínimas geralmente superam uma dezena de hectares. Não por acaso, as espécies vegetais pertencentes a esse grupo geralmente são também aquelas que têm alto interesse econômico e são responsáveis pela geração de um grande número de empregos ao longo de sua cadeia produtiva (LUIZ; EPIPHANIO, 2001).

2.4 Métodos para Análise de Imagens Multitemporais

Os dados obtidos por sensoriamento remoto são de grande importância para a caracterização e planejamento do uso da terra. Entretanto, estes necessitam ser analisados com o objetivo de extrair informações respeitando a sua capacidade de utilização. Durante vários anos de pesquisas, foram desenvolvidos alguns métodos para extração de informações em imagens multitemporais, desde os mais simples, baseados em classificação visual e integração de dados, como o utilizado por Rizzi (2004) na identificação da área plantada com cultivo da soja no Estado do Rio Grande do Sul, até os mais complexos, a exemplo do índice de vegetação *Tasseled Cap* utilizado por Oetter et al. (2000), no mapeamento de cenários agrícolas utilizando as componentes *brightness*, *greenness* e *wetness* como bandas adicionais às imagens originais do TM/Landsat-5.

A abordagem visual é geralmente utilizada em estudos que envolvem pequenas unidades geográficas. O resultado obtido por este método apresenta uma alta dependência do conhecimento e experiência do intérprete, porém despreza algumas etapas utilizadas em abordagens automáticas, como a edição matricial - processo pós-classificatório para corrigir imperfeições inerentes aos sistemas automáticos. O trabalho realizado por Sanches et al. (2005) comprova a importância da análise espectro-visual na identificação do calendário agrícola para alguns cultivos. Em seu trabalho foi utilizado um total de 36 imagens de satélites (TM/Landsat-5 e ETM+/Landsat-7) dos municípios de Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra (Norte do Estado de São Paulo).

Estudos de análise de cenários agrícolas com dados remotamente sensoriados são afetados particularmente pelo sincronismo e pelo número necessário de imagens para realizar estudos precisos. Alguns aspectos quanto à definição temporal devem ser

levantados: considerações práticas da potencialidade do sensor, as condições de tempo, além dos fatores associados a custo. Tais características acabam interferindo na compilação de séries de dados detalhadas para a pesquisa agrícola. Entretanto, para a caracterização de alvos agrícolas o fator temporalidade torna-se cada vez mais importante quando se considera que a paisagem não é estática, e que o número e o sincronismo das imagens necessitam monitorar variações ao longo do tempo (PAX-LENNEY; WOODCOCK, 1997).

Segundo Crews-Meyer (2004), a natureza temporal da mudança agrícola na paisagem, onde os processos intra e interanuais e as mudanças apresentam-se frequentes, avaliações tradicionais da mudança da paisagem não são completamente eficazes. Adicionalmente, as mudanças sazonais e a configuração espacial da paisagem pela introdução de cultivos agrícolas podem às vezes parecer como alterações permanentes da paisagem quando de fato são simplesmente uma mudança local no arranjo espacial. Tendo em vista esta possibilidade, o autor desenvolveu uma metodologia que avalia a estrutura de mudança na paisagem, com base na avaliação derivada da "história de vida" de cada pixel, por meio de uma longa série temporal.

Outro método utilizado para análise de imagens multitemporais é o Modelo Linear de Mistura Espectral, proposto por Shimabukuro e Smith (1991). Esse modelo baseia-se na seleção de valores radiométricos considerados "puros", correspondentes às componentes *solo*, *sombra* e *vegetação*. Berka e Rudorff (2003) utilizaram este método para estimar a área plantada com a cultura da soja em municípios do norte do Paraná, baseados na resposta espectral da cultura, e ainda ressaltaram a sua importância na redução de tempo em etapas de processamento, como a segmentação de imagens.

Vieira (2000) propõe o método Superfície de Resposta Espectro-Temporal (SRET). Este método baseia-se na integração de dados multiespectrais de diferentes datas, de modo a obter valores representados em superfícies de tendências, ao invés de unicamente valores de reflectância do pixel, o qual desconsidera o aspecto da temporalidade no processo de identificação dos alvos.

A quantidade excessiva de informações oriundas de dados multitemporais pode ser um fator que dificulta a sua análise e integração. Nesse contexto, a técnica de transformação por Componentes Principais (CP) tem reduzido a dimensão dos dados temporais, preservando 99% das informações originais nas quatro primeiras componentes (ABOTTEEN, 1978). Carrilho (1996) aplicou esta técnica com o objetivo de identificar a mudança do uso da terra em uma região de Cerrado. Para isso, combinou pares de uma mesma banda TM3 (1989 e 2004), TM4 (1989 e 2004) e TM5 (1989 e 2004) em diferentes épocas. Tal técnica possibilitou a identificação das áreas alteradas, após diagnóstico por meio de processo automático de classificação.

2.5 Métrica da Paisagem

A estrutura da paisagem e sua caracterização espacial estão relacionadas com alguns indicadores intrínsecos, tais como tamanho, forma, composição e arranjo. Os processos e relacionamentos ecológicos que existem numa paisagem baseiam-se em suas características estruturais, de modo que mudanças em suas estruturas são ocasionadas por distúrbios naturais ou antropogênicos (DiBari, 2007).

Informações remotas, quando usadas em conjunto com algumas métricas que identificam o uso e cobertura do solo, auxiliam muito o estudo da dinâmica ecológica na escala da paisagem por meio da análise multi-temporal (ROCCHINI et al., 2006).

Constantemente, dentro da ecologia da paisagem e do planeamento regional existe grande interesse de tornar os modelos de mudança do uso da terra em processos consistentes que retratem a realidade local em função da dinâmica espacial e temporal dos alvos. Entretanto, para uma boa análise e modelagem são necessários levantamentos mais abrangentes que permitam medir as mudanças projetadas e seus possíveis impactos ambientais. Ao mesmo tempo, os resultados dos modelos frequentemente complexos necessitam sintetizar as informações geradas e serem colocados à disposição de forma fácil e compreensível a um público mais abrangente. Com o crescente uso desses modelos, informações remotas juntamente com técnicas utilizadas no estudo da ecologia da paisagem, têm sido indicadores-chaves para aumentar a confiabilidade de tais estudos em tempo hábil (LATHROP et al., 2007). Segundo Olsen et al. (2007),

conhecer os indicadores ecológicos é importante para descrever as alterações na ecologia de um sistema, estabeler um potencial métrico da mudança, e construir um sistema de monitoração ambiental eficaz. Tais indicadores devem representar a escala de condições ecológicas definidas no sistema, indicando ao longo das análises os sinais constatados na mudança ambiental dos ecossistemas locais.

A avaliação de padrões do uso da terra, por meio de métricas da paisagem, tem contribuído para fornecer informações principalmente sobre o efeito da ação antrópica e seus impactos negativos sobre a paisagem, tais como: a indicação de áreas degradadas e locais vulneráveis a este tipo de ação (AMISSAH-ARTHUR et al., 2000).

As consequências da fragmentação tornam-se evidentes nas mudanças da composição e na configuração da paisagem. De maneira geral, tais consequências resultam numa redução da cobertura vegetal, o que reflete em uma nova configuração espacial representada pela cobertura remanescente. Para Kamusoko e Aniya (2007), um dos principais fatores que tem influenciado nessa mudança da configuração espacial da paisagem é a expansão agrícola intensa.

2.5.1 Aplicação em Alvos Agrícolas

As informações da cobertura vegetal podem estar representadas na forma de “índices”. Vários desses índices são utilizados nos estudos que envolvem a dinâmica espacial da paisagem. Segundo Schiavinotto e Stützle (2007), a busca pela análise quantitativa da paisagem depende do conhecimento de diversos algoritmos e suas variadas aplicações. Para definir as análises empregadas sobre a paisagem, dois conceitos são de grande importância: o primeiro é a necessidade da definição do espaço em que o algoritmo irá atuar; e o segundo é a análise de vizinhança, que se reflete na dependência espacial entre os alvos.

Porém, numa perspectiva geral, esses conceitos têm sido mais amplamente empregados para avaliar a dinâmica da cobertura vegetal, com enfoque voltado para a análise de fragmentos florestais. Um exemplo de tal aplicação é o trabalho realizado por Abdullah e Nakagoshi (2007), o qual mostra o desenvolvimento de um único índice de fragmentação da floresta para descrever o grau de fragmentação da floresta e para

compreender o relacionamento entre a fragmentação e a mudança humana do uso de terra. Frohn e Hao (2006) utilizaram dezesseis índices de métricas da paisagem para avaliar os efeitos da agregação espacial da cobertura remanescente em uma análise temporal de seis anos no Estado de Rondônia, por meio de imagens do Satélite TM/Landsat-5.

Diante de tal cenário, poucas são as pesquisas que empregam conceitos de métrica da paisagem para estudos quantitativos de alvos agrícolas. Na sua maioria, tais estudos referem-se estritamente aos efeitos causados na cobertura vegetal em função da expansão agrícola. Entretanto, têm surgido pesquisas inovadoras com enfoque específico para avaliar a distribuição dos talhões agrícolas, a exemplo do trabalho realizado por Soares (2006), que teve como principal objetivo construir um modelo de regressão múltipla visando melhorar a precisão das estimativas de área plantada quando obtidas por sensores de baixa resolução espacial, como o MODIS/TERRA (250m). Tal estudo incorporou informação espacial de classes temáticas (soja, milho e cana-de-açúcar) por meio da análise integrada de diversos índices de métrica da paisagem associadas aos alvos agrícolas.

Entre os principais índices da paisagem, os de emprego mais usual a alvos agrícolas são: (1) Área, (2) Perímetro e (3) Compactividade. Outro índice importante, porém ainda pouco empregado em alvos agrícolas é a (4) Direção e Comprimento Médio.

(1) – A *Área* é um dos índices mais utilizados em estudos diretos de alvos agrícolas. É por meio desta variável que são obtidos os valores quantitativos da extensão territorial e/ou área de abrangência dos principais cultivos agrícolas.

$$\sum_{j=0}^{n} a_{ij} \qquad (2.1)$$

aij = Área, em m²;
i = Classe;
j = Polígono.

(2) - O *Perímetro* é a distância que circunda um objeto bidimensional. Geralmente, este é utilizado para dar subsídios a outras análises, não tendo muita aplicação quando utilizado diretamente.

$$\sum_{j=0}^{n} p_{ij} \tag{2.2}$$

pij = Medida, em m, do perímetro;
i = Classe;
j = Polígono.

(3) A *Compactividade* analisa o padrão da paisagem quanto à forma do elemento. Esta variável apresenta uma relação diretamente proporcional entre o Perímetro e a Área, ou seja, quanto maior for o perímetro em relação aos valores de área, mais alongado será o elemento e, consequentemente, maior será o valor numérico deste índice.

$$\frac{\sum_{j=0}^{n} (p_{ij})^2}{\sum_{j=0}^{n} a_{ij}} \tag{2.3}$$

(4) A *Direção* expressa qual o sentido preferencial em que o elemento se estabelece na paisagem, enquanto o *Comprimento Médio* calcula a magnitude média da expansão dos alvos. Ambos podem levar em consideração o aspecto da temporalidade.

2.6 Integração da Informação

As diversas aplicabilidades e estudos dos produtos obtidos por sensores remotos são armazenados e processados em ambiente denominado SIG (JUCÁ et al., 2006). Há um grande número de maneiras para acomodar objetivos múltiplos da superfície da terra, de modo a gerar informações que contribuam para a elaboração de modelos que subsidiem estratégias de planejamento. Um é construir, por meio de objetivos múltiplos, um único objetivo, que se reflete em modelos otimizados oriundos da integração de informações

de diferentes naturezas. Isto é feito usando pesos ou penalidades fixas para combinar objetivos em uma única expressão agregada. A dificuldade neste método está relacionada em integrar as informações de maneira apropriada (KRCMAR et al., 2005).

As ferramentas utilizadas para modelagem espacial, por meio de operações espaciais com sustentação e suporte, têm auxiliado nas tomadas de decisão. Ao mesmo tempo as informações para sustentar as decisões e as ferramentas de modelagem estão aumentando rapidamente, e são constantemente aplicadas ao planejamento do uso da terra, principalmente no ramo da gerência ambiental (PAEGELOW; OLMEDO, 2005).

Com os visíveis avanços dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) ao longo do tempo, esta tecnologia passou a ser mais acessível, o que possibilita, por meio de bancos de dados integrados, resultados mais precisos em tempo hábil. Um exemplo da integração de informação de fontes com características distintas foi o trabalho realizado por Moran et al. (2002). Neste estudo, os autores utilizaram medidas da reflectância de superfície e de temperatura, por meio da integração de informações oriundas de sensores passivos (Ópticos) e ativos (Radar) de mesma época, com a finalidade de monitorar as condições da colheita agrícola e do solo.

Grande parte da integração do conhecimento sobre a mudança do uso de terra ocorre por meio de modelos espaciais que visam explicar as causas, as posições, as consequências e a trajetória da mudança do uso de terra (VERBURG; VELDKAMP, 2005). Para compor tais cenários, diante da gama de informações em multi-escalas e de diversas naturezas, é necessário integrar as diversas informações por meio de uma técnica denominada de “modelagem espacial”.

2.7 Expansão Agrícola sobre a Vegetação Natural

A degradação ambiental ou a deterioração ambiental resulta em perda da biodiversidade, redução na fertilidade dos solos e na deterioração de outros recursos intrínsecos do ambiente biofísico (GYASI et al., 1995).

As mudanças ecológicas nas paisagens ao longo das décadas esclarecem uma parte crescente da mudança ambiental global. Medir as causas e as consequências dessas

mudanças é um desafio constante (ELLIS et al., 2006). O monitoramento da distribuição da cobertura do solo é uma iniciativa importante para estabelecer as ligações entre decisões políticas, ações regulatórias e atividades subsequentes de uso (LUNETTA et al., 2006).

Para Vagen (2006), algumas análises da paisagem são baseadas frequentemente em representações simplificadas da mudança da cobertura vegetal, o que contribui para o aumento significativo das incertezas inerentes aos processos de análise. Quantificar as mudanças da cobertura vegetal é importante para compreender outros processos existentes no ecossistema, incluindo as mudanças na qualidade do solo e os processos que conduzem à degradação ambiental. Quantificar e descrever a dinâmica espacial e temporal desses processos é também importante para o desenvolvimento e a execução de políticas e intervenções que melhorem as estratégias de gerenciamento, a fim de monitorar o status e as tendências dos ecossistemas.

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto e de sistemas de informação geográfica têm-se mostrado uma ótima ferramenta para o monitoramento ambiental, principalmente em regiões onde há certa carência de informações e uma necessidade de agilizar o processo de gerenciamento dos recursos naturais (LORENA et al., 2001).

O desflorestamento pode ser monitorado por meio do sensoriamento remoto utilizando imagens de satélite ou fotografias aéreas e dados manipulados em Sistemas de Informações Geográficas. Por meio dessas tecnologias é possível analisar os impactos resultantes da remoção da cobertura vegetal originárias de ecossistemas no contexto da teoria da biologia da conservação. Além disso, podem ser analisadas outras modificações ambientais, com a quantificação de possíveis problemas decorrentes dos desflorestamentos, como a perda de habitat e a fragmentação, sendo estes uma grave ameaça para ecossistemas arborizados (SZMUCHROWSKI et al., 2003).

Um exemplo prático do uso de imagens remotamente sensoreadas na análise dos impactos ocasionados pela expansão agrícola sobre a cobertura vegetal é o trabalho realizado por Maron e Fitzsimons (2007). Tal pesquisa mostra de forma evidente os impactos negativos em função da expansão agrícola numa série histórica de 23 anos, no

Sudeste da Austrália. Entre os principais impactos, o mais direto foi a remoção da cobertura vegetal em função da rápida expansão de sistemas agrícolas conhecidos como “pivô central”. Nos 23 anos de análise houve uma supressão de aproximadamente 70% da vegetação nativa (savana e floresta) e, a partir daí, desencadeou-se um quadro de desequilíbrio na cadeia biológica local.

O governo australiano tem utilizado metodologias integradas para medir e monitorar as condições ambientais nas suas savanas. O trabalho realizado por Johansen et al. (2007) evidencia tal monitoramento por meio de análises de índices espectrais da vegetação, segmentação de imagens, e classificações supervisionadas, apoiadas em trabalho de campo. Dessa experiência, concluíram que a análise da detecção da mudança demonstrou que dados orbitais integrados com informações obtidas *in loco* podem contribuir para identificar a mudança gradual local, auxiliando nas ações e estratégias de planejamento.

No Brasil, o Cerrado é a maior região neotropical das savanas existentes no mundo, cobrindo aproximadamente 45% de América do Sul (CASTRO et al., 1994). Entre os biomas brasileiros, este tem sofrido uma forte pressão de conversão do uso da terra (NEPSTAD et al., 1997), impulsionado principalmente pela produção agrícola. Tais pressões ficam mais evidentes em áreas denominadas de “fronteira agrícola”, as quais localizam-se em sua maioria na porção central do território brasileiro.

2.7.1 Impactos no Bioma Cerrado

O conhecimento das causas e consequências da destruição, fragmentação e depauperamento dos *habitats* naturais é fundamental para a compreensão e conservação de amostras funcionais representativas dos ecossistemas naturais e dos recursos biológicos. Entre os ecossistemas tropicais que sofrem com aceleradas taxas de destruição destaca-se o Cerrado. Embora seja o segundo bioma brasileiro em extensão, cobrindo quase um quarto do território nacional, sua biodiversidade ainda é pouco conhecida, apesar de se tratar da mais rica e ameaçada savana tropical do planeta (SCARIOT et al., 2005).

A facilidade com que a vegetação pode ser removida, em comparação àquela de outros biomas, clima e solos propícios à agricultura e pecuária, associada à falta de ordenamento na ocupação da paisagem e uso dos recursos naturais poderá trazer consequências desastrosas. Não somente a biodiversidade será afetada em sua composição, mas também os serviços advindos desses ecossistemas, como a ciclagem de nutrientes, a recarga dos aquíferos e o fluxo das águas, entre muitos outros, comprometendo a qualidade de vida das populações e a sustentabilidade das atividades econômicas e sociais da região (SCARIOT et al., 2005).

O Cerrado encontra-se hoje num alto grau de fragmentação, e os fragmentos remanescentes apresentam-se como “ilhas”, circundados por pastagens ou grandes monoculturas, principalmente de grãos (sobretudo soja), cana-de-açúcar ou árvores exóticas fornecedoras de madeira e celulose. Essa situação de fragmentação tem levado a grandes perdas de biodiversidade, locais e regionais, seja diretamente pela substituição de espécies nativas por outras de interesse econômico (pastagens e culturas), seja pelo pequeno tamanho dos fragmentos remanescentes – que se tornam incapazes de suportar populações viáveis –, ou ainda, pelo seu isolamento, encontrando-se cercados por uma matriz “hostil” e, portanto, incapazes de manter fluxos de matéria e energia com outros fragmentos semelhantes (PIVELLO, 2005).

Arruda (2001) confirma que muitos desses efeitos nas áreas do Cerrado brasileiro são em decorrência do rápido desenvolvimento agrícola como forma da ocupação de novas áreas. Tais fatos mostram que a ocupação desordenada e sem planejamento foi responsável pela supressão de 60% dos dois milhões de quilômetros quadrados originais deste ecossistema.

Como explanado em capítulos anteriores, é notório e indiscutível a importância do setor agrícola para a economia nacional e mundial. Porém, a forma de ocupação de novas áreas para expansão de cultivos comerciais, principalmente em áreas de fronteira agrícola, necessitam, obrigatoriamente, cumprir as diretrizes impostas pelo Código Florestal.

CAPÍTULO 3

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na região Oeste do Estado da Bahia, e corresponde ao município de Luís Eduardo Magalhães (LEM), como mostra a Figura 3.1.

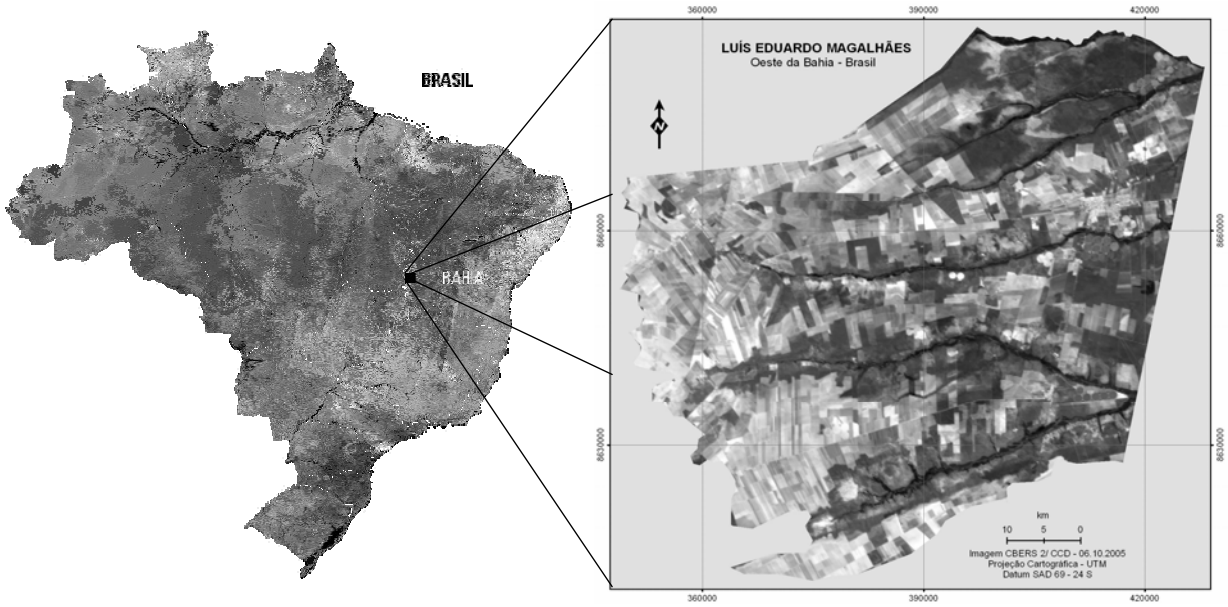


FIGURA 3.1 – Localização da área de estudo.

O município de LEM tem uma população estimada em 22.081 habitantes, com uma extensão territorial de 4.015 km² (IBGE, 2005). Segundo a SEI (2005), este município apresenta solos variando de arenosos a argilo-arenosos, com relevo plano a suave ondulado, e tipo climático B1wA' (critério de *Thornthwaite*), e sua vegetação nativa é o Cerrado. O clima é úmido e apresenta índice hídrico de 40% a 60% com excedente superior a 600 mm/ano, com maior concentração do regime de chuvas entre os meses de outubro a março. A agricultura é tecnificada, e há muitas áreas de cultivos com sistema de irrigação por "pivô central", principalmente na porção leste do município, onde a concentração da agricultura é menor.

A principal atividade econômica é a agricultura, sendo a soja, o milho e o algodão os principais cultivos em ordem econômica. Segundo Sousa (2005), a soja tem área plantada de 200 mil hectares e produção de 400 mil toneladas; o milho, 30 mil hectares

de área plantada e uma produção de 150 mil toneladas; e o algodão com 10 mil hectares plantados, e produção de 1,5 milhões de arrobas.

Assim como em toda a região Oeste da Bahia, o setor do agronegócio foi um fator primordial para o desenvolvimento do município de LEM. Segundo Francisco (2004), Luís Eduardo Magalhães vem crescendo em um ritmo acelerado a partir da sua emancipação em 2000. Um dos principais indicativos deste desenvolvimento é a baixa taxa de desemprego no município, que é de apenas 2%, ante 11% na Bahia, e pode ser considerado um município positivamente diferenciado da realidade econômica baiana e brasileira.

Este rápido desenvolvimento do setor agrícola nos últimos anos, frente à falta de conhecimento sobre a dinâmica agrícola local, foram fatores primordiais que influenciaram na escolha da área de estudo. Os resultados obtidos na conclusão deste trabalho talvez possam ser aplicados a outros municípios que apresentem realidades semelhantes a Luís Eduardo Magalhães no que diz respeito ao rápido desenvolvimento do setor agrícola.

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho visa utilizar dados de sensores remotos para subsidiar o acompanhamento histórico da expansão agrícola no município de Luís Eduardo Magalhães (LEM). Assim, a metodologia apresentada visa auxiliar na identificação do panorama agrícola do município ao longo de 22 anos (1984 a 2006), contribuir para o entendimento da dinâmica agrícola local, e identificar os principais fatores que influenciaram na expansão desta atividade, bem como seus possíveis impactos sobre a vegetação nativa.

As etapas de execução deste trabalho, que visam atender aos objetivos propostos, são mostradas na Figura 4.1, com posterior descrição.

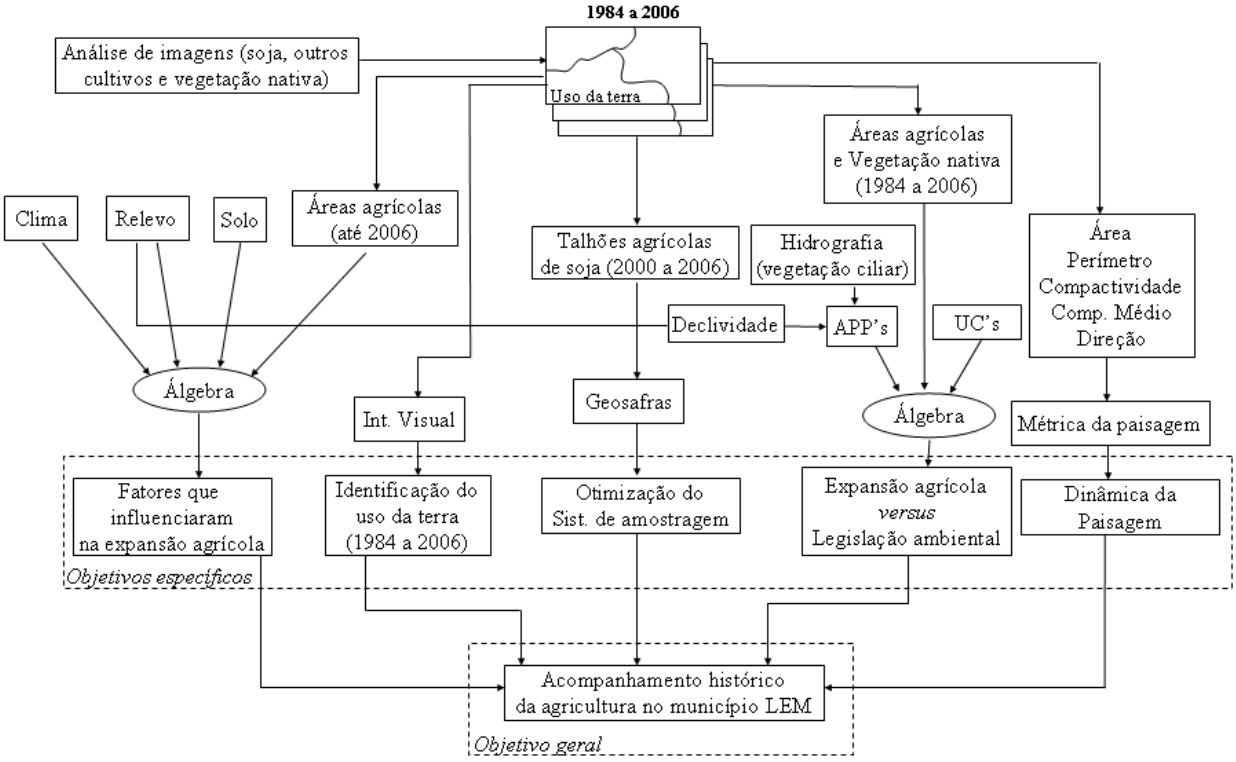


FIGURA 4.1 – Visão geral da metodologia proposta.

Na análise e classificação do uso da terra no município, de 1984 a 2006, foi elaborada uma base de dados para o monitoramento da atividade agrícola ao longo dos 22 anos. O uso da terra foi dividido nas seguintes categorias: soja, outros cultivos e cerrado, sendo que os alvos agrícolas foram interpretados em talhões individualizados para auxiliar as estatísticas de métricas.

Em linhas gerais, a seleção das imagens ocorreu no período compreendido entre os meses de janeiro e março de cada ano, período que possibilita uma melhor identificação dos cultivos agrícolas nas imagens de satélite, em relação aos outros usos. As imagens selecionadas estão listadas na Tabela 4.1.

TABELA 4.1 – Imagens utilizadas para interpretação visual em LEM.

Sensor	dia.mês.ano	Sensor	dia.mês.ano	Sensor	dia.mês.ano	Sensor	dia.mês.ano	Sensor	dia.mês.ano
TM	03.05.1984	TM	25.01.1989	TM	09.03.1993	TM	10.03.1999	TM	14.02.2002
TM	15.02.1985	TM	26.02.1989	TM	21.02.1993	TM	21.01.1999	ETM+	09.02.2003
TM	05.02.1987	TM	16.02.1991	TM	10.01.1995	ETM+	19.02.2001	TM	07.03.2004
TM	21.02.1987	TM	06.03.1992	TM	29.01.1996	ETM+	23.03.2001	TM	09.02.2006
TM	27.03.1988	TM	19.02.1992	TM	31.01.1997	ETM+	22.02.2002	TM	25.02.2006

As imagens foram registradas utilizando com base num mosaico do satélite ETM+/Landsat-7 de uso global (Geocover), com a plicação de um Polinomial de 1 Ordem (mapeamento direto) utilzando o método de reamostragem *nearest neighbor*. Foram coletados 7 (sete) pontos de controle fixos em cada imagem, com erro médio de 0,4 pixel.

Para a extração dessas informações utilizaram-se imagens orbitais dos seguintes sensores: TM/Landsat-5 e ETM+/Landsat-7, localizadas na órbita/ponto 220/068 com extensão de 50% do imageamento deslocado a sul. A técnica utilizada para extrair as informações foi a “interpretação visual”, onde foram utilizadas as bandas espectrais do vermelho (B3), infravermellho-próximo (B4) e infravermelho-médio (B5).

A categoria “soja” corresponde a um cultivo de verão. Nesta estação, a incidência de nuvens é elevada, o que, de forma geral, dificultou a interpretação de imagens. Além disso, existiram outros problemas, como defeitos na gravação da informação bruta. Em função de tais impedimentos, não foi possível obter imagens para os anos de 1986,

1990, 1994, 1998, 2000 e 2005. Em alguns casos, quando pertinente, os valores de estatística de uso da terra foram obtidos por meio de médias, tomando como base os anos anteriores e subsequentes.

Uma das dificuldades em trabalhos que envolvem temporalidade é a falta de informações para validação dos mapas correspondentes de anos anteriores à realização da pesquisa. Muitas vezes, o pesquisador tem que utilizar outros recursos, a exemplo do trabalho realizado por Oetter et al. (2000), que utilizaram fotografias aéreas em escala detalhada para o reconhecimento de padrões agrícolas em imagem Landsat-5 (TM), na região noroeste do Estado do Oregon (EUA). A impossibilidade de levantamentos de campo e a falta de informações de anos anteriores dificultam o reconhecimento dos padrões agrícolas em épocas pregressas. Diante disso, foi adotada uma metodologia de classificação que tomou como referencial as imagens de 2006, as quais foram validadas em campo para o estabelecimento de padrões dos usos interpretados.

Esta etapa visa ao levantamento de informações básicas, as quais são de grande importância para o desenvolvimento das etapas posteriores (Figura 4.2).

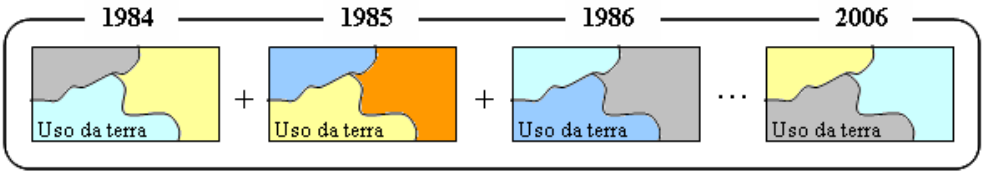


FIGURA 4.2 – Acompanhamento agrícola de 1984 a 2006.

4.1 Identificação dos Principais Fatores que Influenciaram na Expansão Agrícola

Na maioria das vezes, a mudança da paisagem de uma determinada região está relacionada com fatores antrópicos. Especificamente, o desenvolvimento agrícola depende de vários fatores controladores do sistema de produção, tais como: classe de solo (características químicas, físicas e biológicas), relevo (plano, suave ondulado, ondulado, montanhoso), clima (tropical, temperado), facilidade no escoamento na produção (pavimentação de estradas, proximidade de mercados), entre outros.

Esta etapa tem o objetivo de integrar, através de álgebra de mapas (adição), as áreas agrícolas (soja e outros cultivos), identificadas na interpretação do ano de 2006, com

algumas variáveis que podem ter influenciado na expansão agrícola do município, tais como: distribuição dos solos, tipos de relevo e clima (Figura 4.3). Os procedimentos necessários à obtenção desses planos de informação serão descritos a seguir.

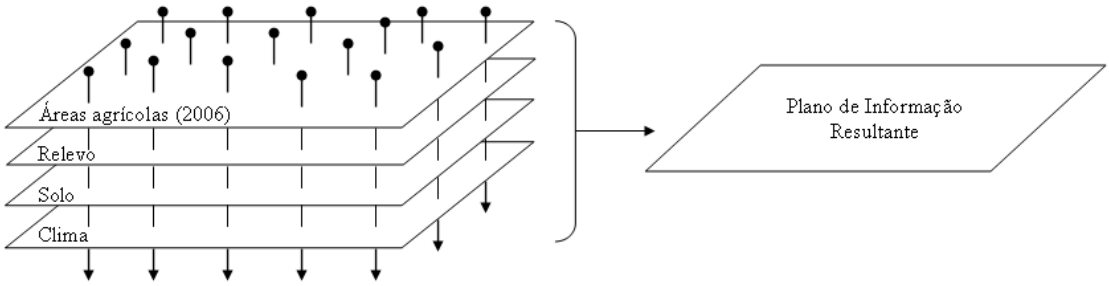


FIGURA 4.3 – Integração dos planos de informação.

4.1.1 Áreas Agrícolas (2006)

Esta etapa objetiva a identificação dos talhões agrícolas, para os quais foi considerada a relação entre a sua distribuição espacial com outras variáveis (solo, relevo e clima), posteriormente descritas. Os talhões foram obtidos pela união entre as categorias “soja” e “outros cultivos”, identificados na interpretação do ano de 2006, visto que o objetivo foi identificar todas as formas agrícolas existentes em LEM até 2006.

4.1.2 Relevo

O relevo é um fator importante para o desenvolvimento agrícola de uma determinada região, principalmente em grandes extensões de terra que necessitam de um grau elevado de mecanização devido ao preparo, estabelecimento e colheita dos plantios agrícolas.

Atualmente, há dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) - um sensor remoto ativo -, com resolução espacial de 90m, que possibilitam sua aplicação em estudos envolvendo escalas de até 1:250.000. Entretanto, Valeriano (2005) ressalta a importância de pré-processamentos e de análises geoestatísticas para aproximar a modelagem do relevo à integração com outras informações, no sentido do refinamento dos dados.

Segundo Valeriano (2005), após os devidos tratamentos e análises, os dados SRTM podem ser utilizados em escalas de até 1:50.000 para relevos planos (faixa litorânea e áreas agrícolas). Essas características conferem grande importância a esta base de dados, particularmente pela sua escala de detalhamento em comparação a outros dados disponíveis no Brasil. Na obtenção do relevo da área em estudo, o presente trabalho utilizou os dados SRTM auxiliados por pré-processamentos e análises geoestatísticas. Tal metodologia foi desenvolvida por Valeriano (1999), e posteriormente melhorada. Pretende-se utilizar esses dados para integração em análises agrícolas. A Figura 4.4 mostra a metodologia para refinamento dos dados SRTM, com as etapas descritas a seguir:

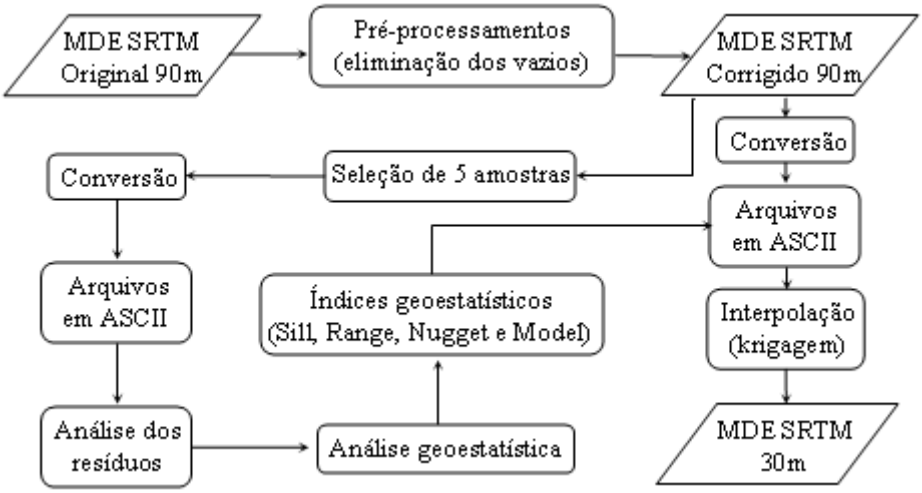


FIGURA 4.4 – Procedimentos para refinamento dos dados SRTM.
FONTE: Adaptado de Valeriano (2005).

- Inicialmente, os dados SRTM foram obtidos na Internet (http://srtm.usgs.gov/data/obtainingdata.html), em folhas (*Tiles*) de 1º de latitude por 1,5º de longitude, em escala de 1:250.000, com pixel de aproximadamente 90m x 90m. Após a obtenção dos *tiles* desejados, eles foram reprojetados para a projeção cartográfica UTM, datum SAD-69 e fuso 23S. Em seguida, foram selecionadas três amostras (em áreas heterogêneas) contendo 30 colunas e 30 linhas cada;

- As amostras selecionadas foram exportadas para um arquivo binário (ASCII), com informações de Latitude, Longitude e Cota (altitude). Essas informações estão contidas em cada pixel que compõe as amostras;

- Em virtude da coerência na representação dos dados no plano cartesiano, foram obtidos novos valores para latitude e longitude, o que possibilita a representação desses dados com o início na origem, conforme a Equação 4.1;

$$Lat_{nova} = Lat - Lat_{mínima}$$
$$Lon_{nova} = Lon - Lon_{mínima} \quad (4.1)$$

onde a Lat_{nova} é obtida pela diferença entre a latitude pontual (Lat) e a menor latitude contida nos dados amostrais ($Lat_{mínima}$). O mesmo ocorre para obtenção do valor de $Long_{nova}$.

- Posteriormente, foi efetuada a análise de regressão dos dados ASCII (Lat_{nova}, Lon_{nova} e Cota), com atribuição de variável dependente dos valores cotados, enquanto os demais são tratados como variáveis explicativas. Como resultado desta análise, foram gerados os valores de resíduos de fundamental importância para a análise geoestatística;
- Com os resíduos são gerados semivariogramas para cada amostra. Em seguida, estes são ajustados com o objetivo de obter os índices estatísticos que subsidiem o processo de *krigagem*, para a geração de uma grade regular com 30m x 30m.

4.1.3 Solo

O mapeamento dos solos no Brasil é representado em uma escala de informação estadual, mas poucas vezes municipal, o que dificulta a sua utilização em trabalhos com abordagens mais detalhadas. Segundo Dematê et al. (2001), apenas 5% da superfície terrestre foi mapeada na escala 1:25.000, 15-20% na escala 1:100.000 e 35% na escala 1:250.000.

O município de Luís Eduardo Magalhães está mapeado em 1:250.000. Porém, esta escala de mapeamento pedológico ainda está abaixo da desejada. Diante do quadro da baixa disponibilidade de mapeamento de solos no Brasil, o sensoriamento remoto tem contribuído para a melhoria dos mapas de solos brasileiros, como ressaltado por Assad e Domingues (2005), numa metodologia que objetiva melhorar esses mapas, com base na

utilização de dados SRTM, já que há forte associação entre as variáveis *solo* e *relevo*, conforme trabalhos que avaliam a topossequência dos solos.

Esta etapa propõe a utilização de modelos digitais de elevação (SRTM) para melhoria do mapa de solos do município em estudo. Tal metodologia é fundamentada na associação entre o solo e o relevo, como exemplificado abaixo, na Figura 4.5.

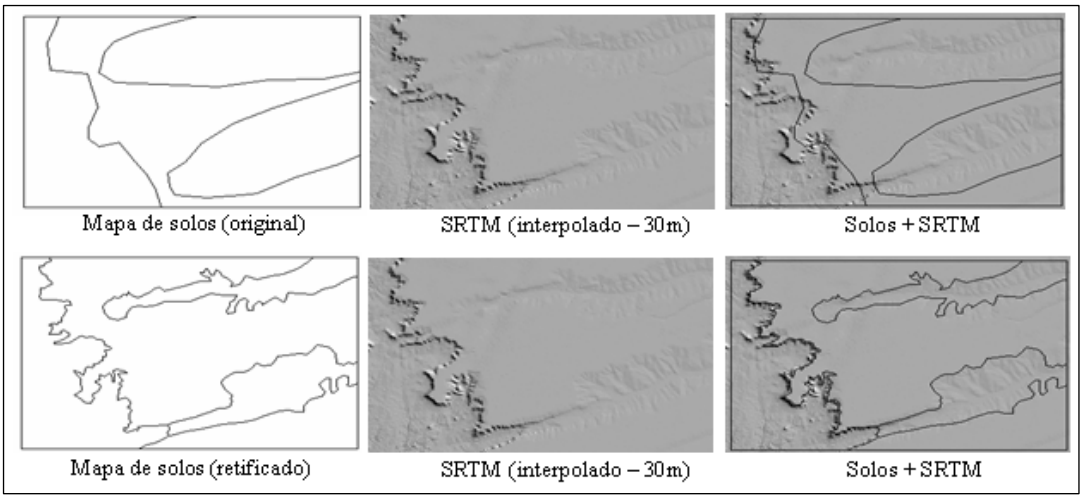


FIGURA 4.5 – Melhoria do mapa de solos com base no modelo digital de elevação.

4.1.4 Clima

Mesmo com todo o avanço no sistema de produção agrícola, o clima ainda é uma variável de grande importância, podendo ser um fator controlador da produção. Geralmente, os mapas climáticos são confeccionados a partir de um longo acompanhamento dos fenômenos climáticos locais. A elaboração do mapa climático a ser utilizado neste trabalho baseia-se numa análise temporal de 40 anos das variáveis "pluviometria" e "temperatura". Tal mapa climático, publicado em 1998 na escala de 1:6.500.000, foi desenvolvido pela Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI, 2005), segundo critério de *Thornthwaite*.

4.2 Métrica da Paisagem Aplicada a Alvos Agrícolas

Os índices de métricas da paisagem comumente são utilizados para a caracterização e diferenciação dos aspectos espaciais em análise quantitativa, e resultam no diagnóstico do uso da terra de um determinado espaço geográfico. Na maioria das vezes, essas

análises estão condicionadas a estudos que envolvem fragmentação de florestas (VALENTE, 2001; CASAGRANDE et al., 2003); porém, são pouco utilizadas em alvos agrícolas.

Diante da identificação histórica da paisagem, com ênfase em alvos agrícolas, tema principal deste trabalho, a análise de métrica de paisagem insere-se no acompanhamento da expansão agrícola ao longo dos 22 anos, com identificação e quantificação de índices que possam fornecer informações sobre a forma e dimensão do estabelecimento agrícola no município, tais como área, perímetro, compactividade, direção (azimute) e comprimento médio dos talhões. Os índices supracitados têm suas aplicações justificadas a seguir.

4.2.1 Área

Este índice (Equação 4.2) tem a função de quantificar a área dos talhões agrícolas nos 22 anos, além de identificar os principais períodos em que os mesmos se apresentam em maior proporção.

$$\sum_{j=0}^{n} a_{ij} \tag{4.2}$$

aij = Área, em m²;
i = Classe;
j = Polígono.

4.2.2 Perímetro

O perímetro (Equação 4.3) é a distância que circunda um objeto bidimensional. Geralmente, este é utilizado para dar subsídios a outras análises, não tendo muita aplicação quando utilizado diretamente. O perímetro, neste trabalho, é uma variável importante no cálculo da compactividade, que será abordada a seguir.

$$\sum_{j=0}^{n} p_{ij} \tag{4.3}$$

pij = Medida do perímetro, em metros;

i = Classe;

j = Polígono.

4.2.3 Compactividade

A compactividade permite a análise dos padrões da paisagem. Neste caso, trata-se da forma dos talhões agrícolas (alongada ou circular), conforme o seu estabelecimento ao longo da paisagem. O seu cálculo baseia-se na relação perímetro-área, conforme a Equação 4.4.

$$\frac{\sum_{j=0}^{n} (p_{ij})^2}{\sum_{j=0}^{n} a_{ij}} \qquad (4.4)$$

4.2.4 Direção e Comprimento Médio

Estes índices são comumente utilizados em estudos geológicos, especificamente em análise de lineamentos estruturais de rochas, como estatística descritiva com visualização em “diagrama de rosetas”. Entretanto, vislumbrou-se a sua aplicação experimental para a caracterização de alvos agrícolas, em que a *direção* expressa qual o sentido preferencial da expansão agrícola dos talhões no município, enquanto o *comprimento médio* calcula a magnitude média da expansão dos talhões, ambos levando em conta o aspecto da temporalidade.

Para que esta metodologia seja adequada a alvos agrícolas, faz-se necessária a construção de vetores no sentido longitudinal dos talhões agrícolas, os quais terão direção e comprimento, simulando a forma de um lineamento geológico, como mostra a Figura 4.6.

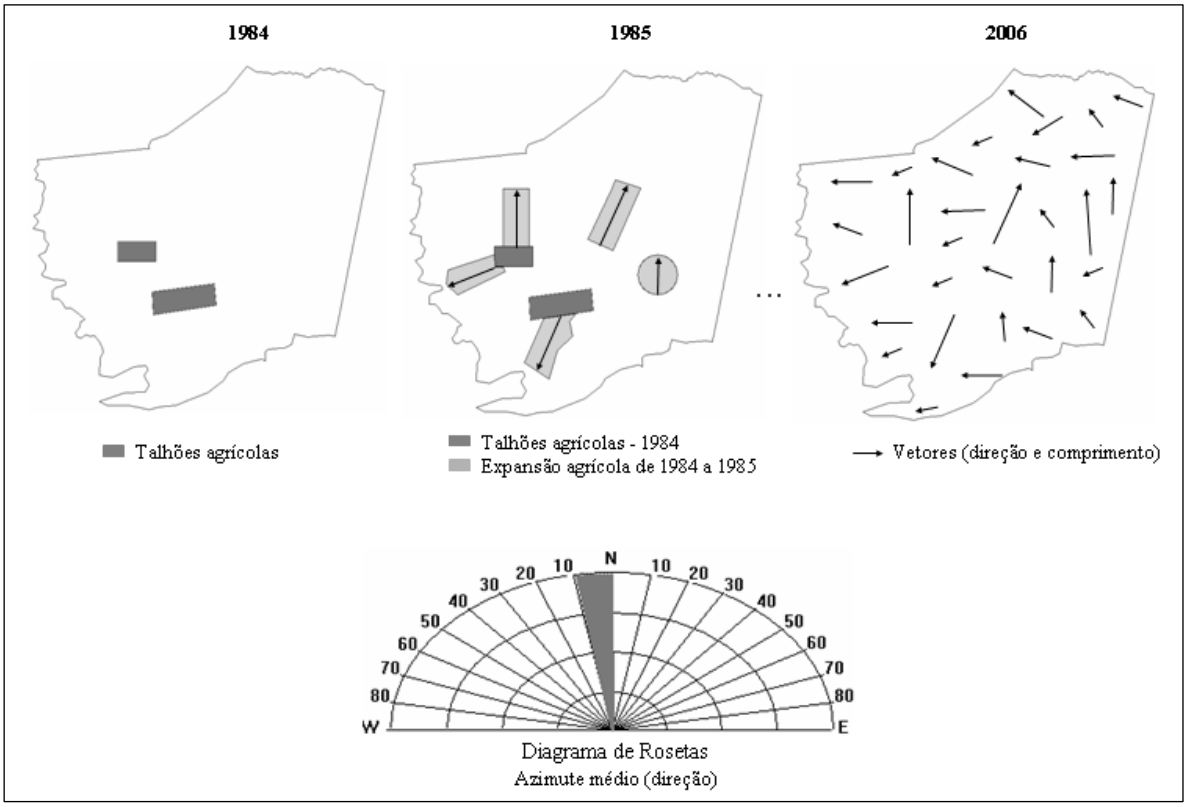


FIGURA 4.6 – Método para análise da direção e comprimento médio dos talhões agrícolas.

O aparecimento de talhões sem nenhum referencial, ou seja, sem vizinhança, é um fator que dificulta a identificação da direção de sua expansão. Entretanto, a alternativa viável para solucionar esse problema é a determinação da direção destes talhões em função de fenômenos referenciais, como sede da propriedade, observação dos talhões mais próximos, acompanhamento temporal, entre outros.

4.3 Expansão Agrícola *versus* Legislação Ambiental

Na maioria das vezes, a expansão agrícola ocorre em detrimento da vegetação nativa. Em alguns casos, chega-se a situações críticas, como a ocupação de áreas de preservação permanente (áreas com declividade acima de 45º, vegetação ciliar, ecossistemas críticos, entre outros), ou unidades de conservação.

Tendo em vista essas agressões, a presente etapa objetiva analisar quais foram os impactos negativos da expansão agrícola no município de estudo, com base nas normas e diretrizes do Código Florestal, tendo como principais indicativos as informações

espaciais: áreas agrícolas e vegetação nativa (1984 a 2006), declividade e hidrografia (áreas de preservação permanente) e unidades de conservação. Essas informações serão analisadas por meio de álgebra de mapas, que possibilitará uma análise integrada dos múltiplos fatores.

4.3.1 Áreas Agrícolas e Vegetação Nativa

Tanto as áreas agrícolas descritas no item 4.2.1 como as áreas de vegetação nativa (Cerrado) foram obtidas com base na interpretação visual dos anos de 1984 a 2006, o que possibilitará a identificação das áreas de Cerrado que foram suprimidas. Como dito anteriormente, devido a problemas com cobertura de nuvens, e por perda em registros de dados já gravados dos satélites TM/Landsat-5 e ETM+/Landsat-7, em 22 anos de análise não foi possível obter informações para os anos de 1986, 1990, 1994, 1998, 2000 e 2005. Nestes casos, as estimativas anuais foram obtidas a partir da média dos valores bienais.

4.3.2 Declividade e Hidrografia (Áreas de Preservação Permanente – APPs)

As informações de declividade do município de Luís Eduardo Magalhães foram obtidas por processamentos dos dados SRTM interpolados (30m), como mostra o item 4.1.2. Essas informações baseiam-se na variação da altitude em função de uma distância estabelecida ou conhecida, e possibilita, assim, por inferência geográfica (*Booleana*), a seleção de áreas acima de 45° - correspondente a pelo menos 100% de declividade - que, segundo o Código Florestal, são enquadradas na categoria de Áreas de Preservação Permanente (*APP)*. Para a identificação das transgressões à vegetação ciliar - também enquadrada na categoria *APPs* -, são identificados os principais cursos d'água do município, oriundos do levantamento sistemático realizado pelo IBGE na escala de 1:100.000, respeitando os critérios de distância descritos no Código Florestal.

4.3.3 Unidades de Conservação (UCs)

A única Unidade de Conservação existente em LEM é a Área de Proteção Ambiental Rio de Janeiro, enquadrada na categoria de Uso Sustentável, sob tutela do Governo do Estado. Seus limites em formato digital foram solicitados à Secretaria Estadual de Meio

Ambiente da Bahia (SEMA) e, posteriormente, esta informação foi integrada ao banco de dados, como proposto no item 4.4.

4.4 Otimização do Sistema de Amostragem do GeoSafras

Como descrito no item 2.2.1, o Projeto GeoSafras utiliza um sistema de amostragem simples sobre imagens de satélite, com o objetivo de estimar áreas agrícolas municipais, como base para estimativas estaduais.

Nos fundamentos básicos de estatística, como mencionado por Meyer (1983), o aumento do número de amostras é uma das alternativas utilizadas para obter um valor de probabilidade maior e diminuir, assim, os erros inerentes ao sistema de amostragem. Entretanto, em algumas situações, este princípio não pode ser aplicado, principalmente quando o acréscimo no número de amostras é fator primordial para elevação dos custos de execução do levantamento.

Neste contexto, a presente etapa objetiva a otimização do sistema de amostragem proposto pelo Projeto GeoSafras, mantendo-se inalterado o número de amostras. A fim de melhorar a precisão do levantamento, propõe-se a “diminuição” da área municipal, com a eliminação de locais impróprios para o estabelecimento da agricultura, tais como lâminas d’água, unidades de conservação, entre outros. Para melhor entendimento do funcionamento deste método, o exemplo abaixo demonstra detalhadamente como se dará a otimização.

O método GeoSafras atual parte do princípio que a quantidade de pixels distribuídos na área do município representa a população. Portanto, cada ponto amostrado, fruto da distribuição aleatória, tem a mesma probabilidade de ocorrência em qualquer pixel. Inicialmente, a imagem é numerada de 1 até “N”, onde “N” representa a quantidade total de pixels presentes no município (população), o qual depende da área municipal e da resolução espacial da imagem utilizada. Posteriormente, (n) amostras são sorteadas de forma aleatória, e a verificação de campo indica o valor de acertos ou ocorrências para uma determinada cultura. Com isso é possível calcular a probabilidade (p) de ocorrência desta cultura no município. Visto o valor de probabilidade, é possível calcular o valor “q” pela diferença, uma vez que ambos são complementares. Sabidos os

valores da área que representa um pixel, a probabilidade de ocorrência de uma determinada cultura, e o número populacional, é possível estimar o valor de área plantada para esta cultura no município (Equação 4.5), compondo assim, os

$$N = \frac{A}{a} \quad ; \; p = \frac{ta}{n} \; ; \; q = 1-p \; ; \; n = \frac{(Z_{\alpha/2})^2 . pq}{e^2} \; ; \; EAP = a \, . \, p \, . \, N \qquad (4.5)$$

procedimentos necessários para um sistema de amostragem simples (EPIPHANIO et al., 2002).

N = População total;

A = Área municipal;

a = Área do pixel;

ta = Acertos, conforme verificação de campo;

p = Probabilidade;

q = Complementar à probabilidade;

n = Número de amostras;

$Z^{\alpha/2}$ = Valor tabelado (grau de significância adotado);

e = Erro admitido no sistema de amostragem;

EAP = Estimativa de área plantada.

O método aqui proposto, denominado GeoSafras Otimizado, utilizará o mesmo procedimento descrito acima, porém buscar-se-á uma redução da área municipal com base na exclusão de áreas impróprias para o estabelecimento agrícola (lâminas d'água, unidades de conservação, entre outras). Consumada a redução da área municipal, o valor de "N" diminui. Considerando o mesmo número de amostras, o valor de probabilidade tende a aumentar, diminuindo assim o coeficiente de variação do sistema. Tal estratégia reflete em uma estimativa de área com uma menor magnitude de variação nos resultados estimados, mantendo-se o mesmo número de amostras utilizado no método inicial.

Para a avaliação do método, foi construída uma base de dados de área plantada com o "cultivo da soja" nas últimas seis safras (2001 a 2006), exceto para o ano de 2005 devido à impossibilidade de obtenção de imagens livres de nuvens no período do

calendário agrícola deste cultivo (Figura 4.7). Tal base foi obtida por meio de interpretação visual em imagens orbitais dos sensores TM e ETM+ a bordo dos satélites Landsat-5 e 7, respectivamente. A interpretação foi realizada com base no reconhecimento de padrões utilizando uma composição colorida falsa cor 4R 5G 3B, apoiada em trabalho de campo realizado em janeiro de 2006, com Índice Kappa de 0,96 para esta safra, entre as possibilidades: Soja e Não-Soja. Presume-se que esta interpretação forneça uma base de dados confiável para a aferição do método aqui exposto, além de possibilitar uma análise comparativa com os resultados oficiais de estimativa de área plantada realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

Figura 4.7 – Padrões obtidos por meio de interpretação visual, no município de LEM (Composição Colorida TM/Landsat-5 - 4R 5G 3B).

Com o objetivo de adotar um nível de significância de 5%, foi calculado um número de 250 amostras para o município LEM, as quais foram sorteadas aleatoriamente para os dois métodos: GeoSafras e GeoSafras Otimizado. Na estimativa da área plantada do cultivo da soja utilizando os dois métodos, o município LEM foi dividido em células de 900m² (30m x 30m). Com a eliminação de áreas impróprias para o cultivo agrícola, a área útil municipal passou de 401.515,0ha para 361.364,0ha, o que corresponde a uma redução de aproximadamente 10%, compondo uma população de 4.461.277 e 4.015.155 pixels, respectivamente.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Identificação dos Principais Fatores que Influenciaram na Expansão Agrícola

5.1.1 Áreas Agrícolas (2006)

Inicialmente, foram identificas as áreas agrícolas, que servirão de "máscara" para sobrepor as variáveis Relevo, Solo e Clima. Segundo informações obtidas por meio de interpretação visual, atualmente (2006), o município de LEM apresenta uma área cultivada de 218.667,6ha, o que corresponde a mais da metade da área municipal (54,46%). Entre os principais cultivos em ordem econômica, destacam-se a soja, o milho e o algodão. Segundo informações do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (IBGE, 2005), a soja apresentou valores de área plantada de 127.903,0ha, o milho 14.530,0ha e o algodão 20.037,0ha, o que corresponde respectivamente, a 0,54%, 0,12% e 1,58% da área plantada nacionalmente. A Figura 5.1 mostra a distribuição espacial da área agrícola do município de LEM, que foi utilizada como "máscara" para a análise dos principais fatores que influenciaram na expansão agrícola do município.

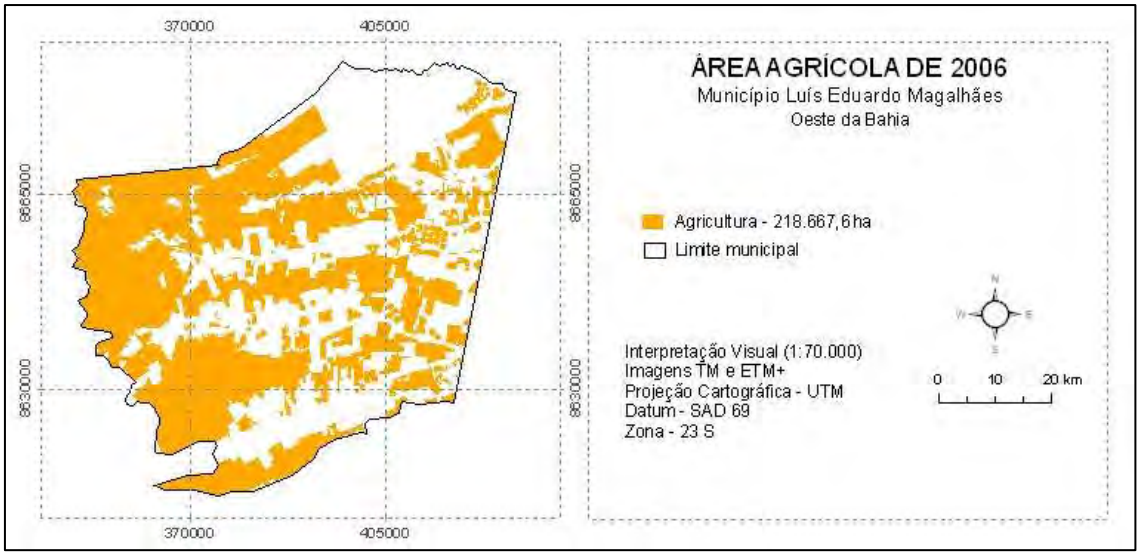


Figura 5.1 – Distribuição espacial da área cultivada em LEM.

5.1.2 Relevo

Na etapa analítica de refinamento de 90m para 30m da variável relevo, a partir dos dados SRTM, os semivariogramas da Figura 5.2 mostram os ajustes dos modelos selecionados para cada amostra e seus respectivos índices utilizados no processo de interpolação ou krigagem. O eixo “x” corresponde aos valores em distância (m) da dependência espacial, enquanto o eixo “y” representa os valores de semivariâncias - medida de dispersão conforme valores de dependência espacial.

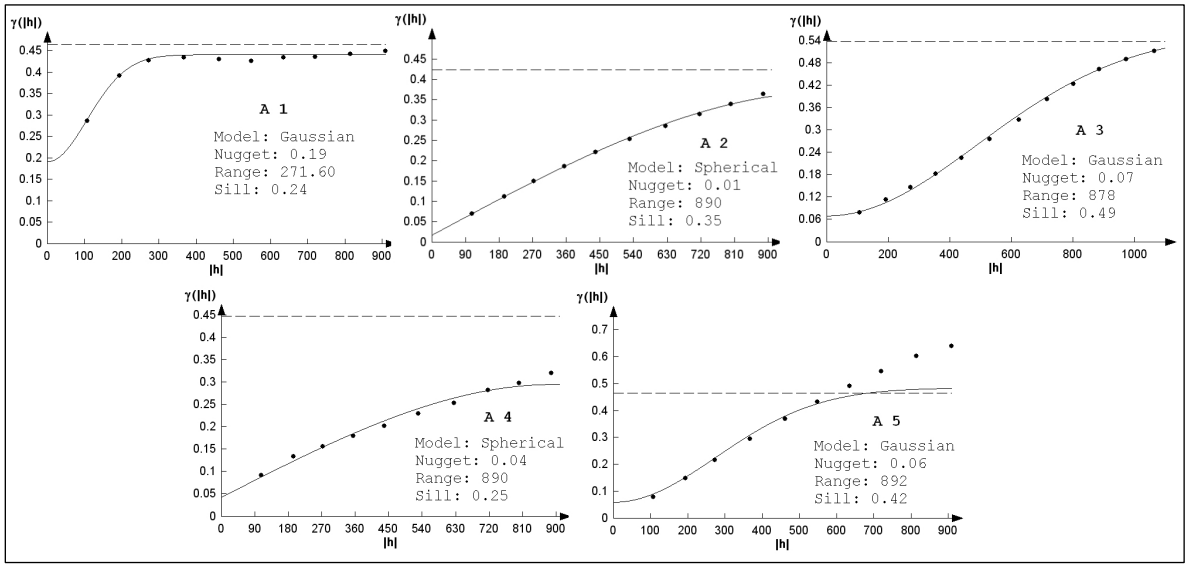


FIGURA 5.2 – Ajustes dos cinco semivariogramas pré-selecionados.

Os semivariogramas apresentaram faixa (r*ange*) de 271 a 892 (dependência espacial). Entre os diversos modelos de ajustes dos semivariogramas, apenas dois foram ajustados nas análises: Gaussiano e Esférico. Ao efetuar um processo de interpolação, é importante identificar a amostra que contém maior correlação com os dados originais, visto que o objetivo desta etapa é o refinamento dos dados, sendo indesejada a presença de quaisquer “artefatos” que não estejam presentes nos dados originais.

Os cinco resultados provenientes das amostras selecionadas apresentaram alta correlação com os dados SRTM originais, implicando que o processamento foi bem conduzido. Como a segunda amostra (A2) apresentou alta fidelidade aos dados originais (Figura 5.3), foi a amostra escolhida para avaliar a variável relevo e, em seguida, servir como base para o cálculo da Declividade.

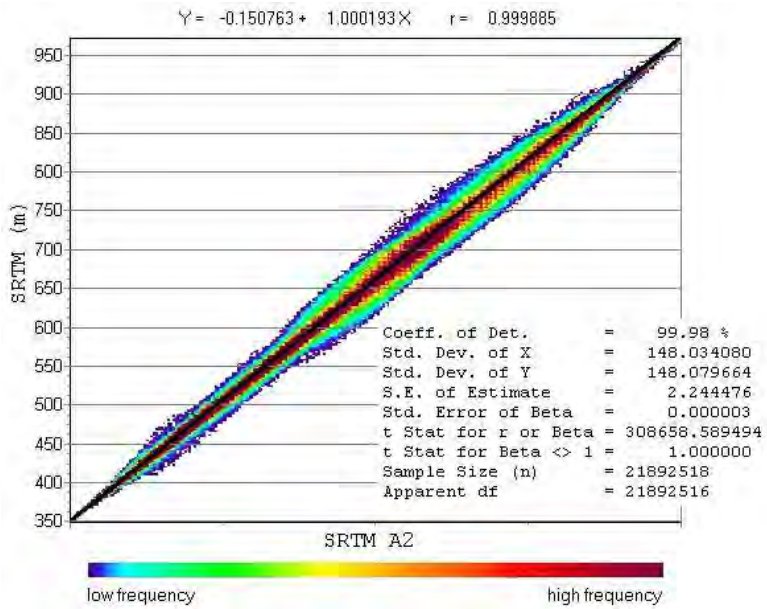


FIGURA 5.3 – Correlação do SRTM Original (90m) com o SRTM krigagem (30m) – Amostra A2.

É notório que após a interpolação causou uma suavização nos dados SRTM (Figura 5.4), onde o relevo apresentou feições mais próximas à sua forma natural. A interpolação corrigiu principalmente alguns pontos em que o relevo apresentava-se com mudanças abruptas, provenientes de erros por perda de sinal no processo de formação da imagem.

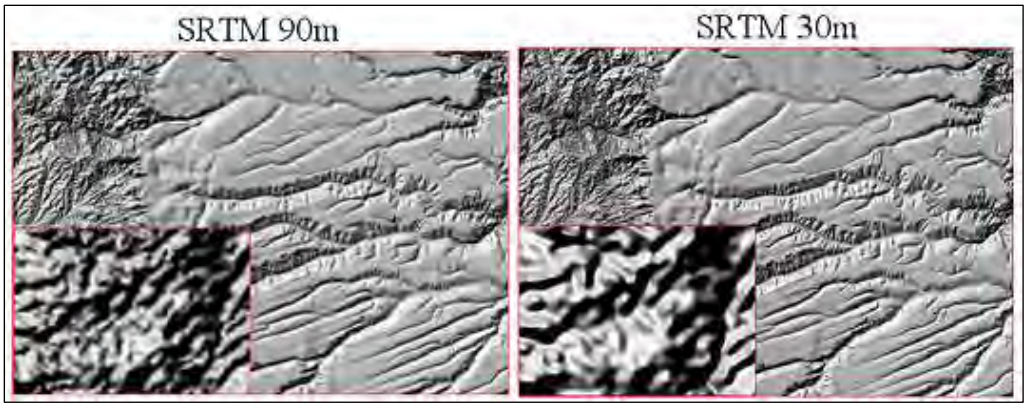


FIGURA 5.4 – Informação de relevo em grade regular de 30m (krigagem).

No sistema de produção agrícola, a variável declividade é de grande importância para o estabelecimento da agricultura em escala comercial, e está intimamente ligada com a perda de solo, podendo ocasionar sérios problemas físicos e químicos como, por

exemplo, erosão e perda da fertilidade natural do solo. Em LEM, a declividade variou de 0% a 12%, com valores médios de 4,20%, sendo favorável a sistemas avançados de produção. Com grande parte de sua superfície sobre relevo plano, compõe um cenário atrativo para a maior parte dos cultivos agrícolas. Ao sobrepor a *máscara* criada pela extensão dos cultivos agrícolas de 1984 a 2006, pode-se afirmar que toda a extensão agrícola estabeleceu-se sobre terrenos com uma declividade muito pequena, com média de 1,10%. Nesta situação, a variável em questão favorece o estabelecimento agrícola sem apresentar quaisquer empecilhos que venham a intervir negativamente no sistema de produção local.

5.1.3 Solo

Ao analisar o sistema de drenagem do município de LEM, é possível ter uma breve estimativa da predominância das classes de solo que ocorrem no município. O sistema de drenagem é bem esparso e com poucas ramificações, o que caracteriza a presença de solos arenosos e/ou argilo-arenosos. Segundo o Levantamento de Reconhecimento de Solos na Margem Esquerda do Rio São Francisco (Esc. 1:250.000), realizado por EMBRAPA (1973), em LEM há predominância de duas classes de solos:

- LVd10- LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO A fraco e moderado textura média fase cerrado subperenifólio/subcaducifólio e campo cerrado relevo plano;

- HGd12- Grupamento Indiscriminado de GLEISSOLO HÚMICO + GLEISSOLO POUCO HÚMICO, ambos Tb textura arenosa/média, arenosa e média + ORGÂNOSSOLOS + NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO, todos DISTRÓFICOS fase campo de várzea e floresta perenifólia de várzea com buriti relevo plano.

O solo LVd10 ocorre em relevo muito plano, não apresenta boas propriedades químicas, visto que sua saturação por bases é abaixo de 50% (distrófico); entretanto, apresenta características físicas favoráveis, o que estimula a implantação de grandes cultivos comerciais, como a cultura da soja. Esta classe de solo ocorre em 87% da área municipal. O solo HGd12, ocorre em apenas 13% da superfície de LEM, e quase sempre está associado a áreas úmidas próximas à rede de drenagem.

Devido ao relevo ser um dos fatores que influenciam na formação dos solos, estas duas variáveis apresentam grande correlação entre si; em muitas situações, variações no relevo implicam em mudança das classes de solo. Verificou-se que os limites que representam as variações nas classes de solo acompanhavam as variações do relevo; entretanto, estes limites não estavam bem ajustados devido à diferença de escala entre as duas informações: solo e relevo. Para contornar tal situação, os limites das classes de solos foram ajustados com base no modelo de elevação oriundo dos dados SRTM interpolados (Figura 5.5).

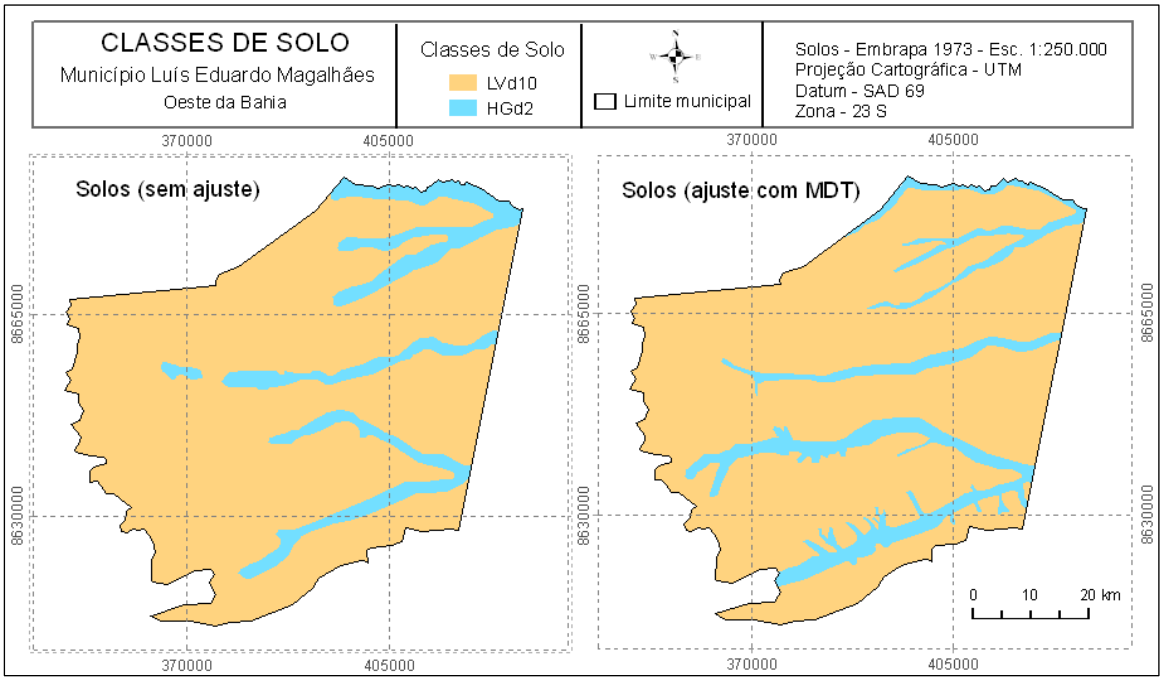


FIGURA 5.5 – Ajuste do mapa de solos com base no modelo digital do terreno (SRTM).

5.1.4 Clima

Segundo informações climáticas da SEI (2005), o município de LEM apresenta clima B1wA', obtido por meio do critério de *Thornthwaite*, com base na análise de "Pluviometria" e "Temperatura" no período de 1943 a 1990 (Esc. 1: 6.500.000, 1998). O clima é úmido e apresenta índice hídrico de 40% a 60%, com excedente superior a 600 mm/ano, com maior concentração do regime de chuvas entre os meses de outubro a março. Apesar da existência de alguns plantios associados a sistemas de irrigação, o município apresenta um bom regime de chuvas, o que leva a concluir que este não é um

fator limitante na produção agrícola de LEM, ao contrário de algumas regiões localizadas na parte central do Estado da Bahia (semiárido), onde a agricultura é extremamente dependente do clima (precipitação).

Acredita-se que o clima é um fator que contribuiu para a expansão agrícola em LEM, visto que o município apresenta um bom regime hídrico. Consequentemente, existe uma redução de custos no sistema de produção local incentivando o estabelecimento da agricultura, além de propiciar regime hídrico necessário para o estabelecimento da maioria dos cultivos agrícolas comerciais.

5.1.5 Álgebra de Mapas

Esta etapa visa identificar as principais variáveis que contribuíram para a expansão agrícola no município de LEM. Para tal, foi realizada a integração (adição) das variáveis cobertura do solo (agricultura e cerrado), relevo, solo e clima. Tal integração ocorreu por meio de uma técnica muito usual em geoprocessamento, conhecida como "Álgebra de Mapas". Na preparação das informações básicas foram levadas em consideração as características intrínsecas das variáveis, o que deu origem a uma legenda pré-estabelecida, descrita a seguir.

- Os valores de declividade foram obtidos por meio de processamento sobre a variável relevo (SRTM Interpolado). Após o fatiamento foi possível obter três classes de relevo, conforme adaptado de Ramalho Filho e Beek (1995). A primeira classe abrange uma variação de 0 a 2% da declividade no terreno, o que caracteriza um relevo extremamente plano. Em seguida, a segunda classe corresponde a uma variação de 2 a 5% na declividade, conceitualmente chamado de relevo suave ondulado, enquanto a variação de 5 a 12% corresponde à categoria de relevo moderadamente ondulado.

- As informações das classes de solos também passaram por edição, com a finalidade de ajustar os seus limites com a informação de relevo, visto a grande correlação existente entre as duas variáveis.

- A cobertura do solo, obtida por meio de interpretação visual e por informações de campo, diz respeito a duas sub-classes: à vegetação nativa (Cerrado), e às áreas ocupadas por cultivos agrícolas (Agricultura), em sua maioria para produção comercial de grãos.

- As informações do clima local reduzem-se às condições de Temperatura e Pluviosidade do município. Grande parte dos dados climáticos apresentados no Brasil ainda apresentam-se em escala insuficiente para análise mais detalhada. Portanto, o município apresentou apenas uma classe climática: B1wA', segundo levantamento da SEI (2005), por isso, esta variével não foi representada espacialmente na Figura 5.6. Entretanto, as informações sobre o Clima de LEM são de fundamental importância para o entendimento dos procesos agrícolas.

O resultado da combinação entre as classes das variáveis supracitadas resultou em uma nova informação, composta por 12 categorias, como mostra a Figura 5.6.

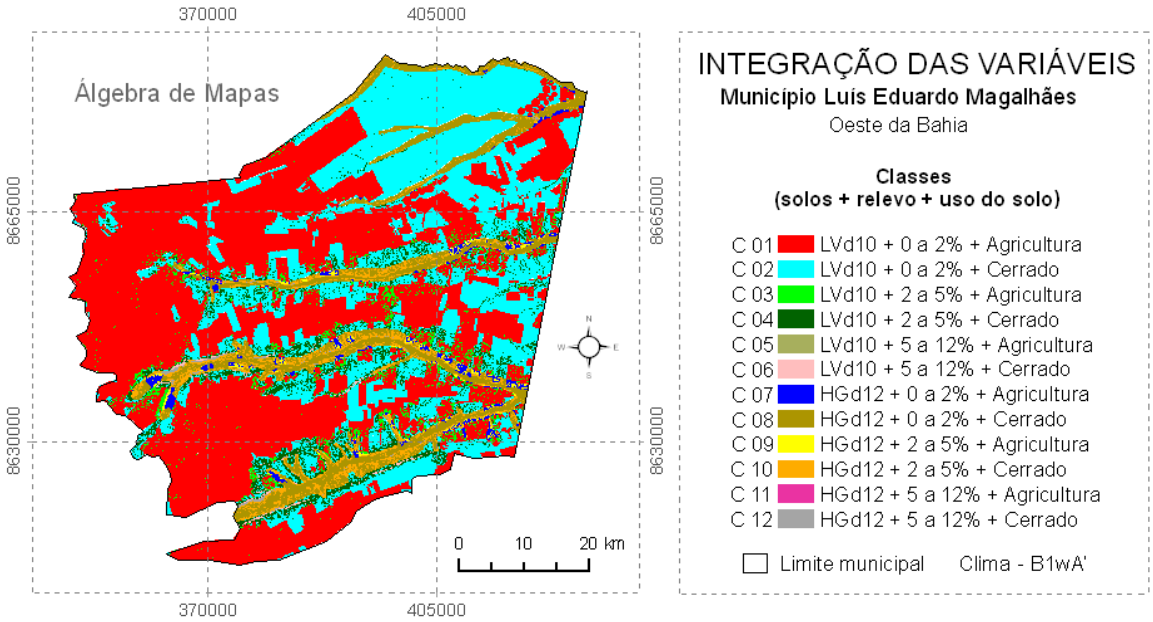


FIGURA 5.6 – Integração das variáveis solo, relevo, uso do solo e clima.

Entre as 12 classes obtidas por meio do cruzamento das variáveis Uso do Solo (Agricultura e Cerrado), Relevo, Solo e Clima, a Classe 1 (C 01) apresentou uma maior representatividade em termos de área, ocupando aproximadamente a metade (49,90%) da extensão territorial do município de LEM. Esta classe é representada por 91,60% de

todos os cultivos agrícolas sobre Latossolo (LVd10), com declividade muito plana (0 a 2%). Como a grande proporção dos cultivos agrícolas pertence a esta Classe (C 01), acredita-se que a combinação entre as variáveis Solo e Relevo formaram um ambiente extremamente favorável à expansão agrícola local.

Apesar da baixa fertilidade natural deste solo (LVd10), ele apresenta boas características físicas, o que desperta grande interesse da agricultura comercial, haja vista que o fator químico é relativamente fácil de ser corrigido por meio da introdução de insumos agrícolas externos. Considerando a associação existente entre os cultivos comerciais e a necessidade de mecanização desde a fase de implantação até a colheita, o relevo tem sido uma variável relevante do meio físico, e em algumas situações pode influenciar diretamente no sistema de produção. Em LEM, esta variável interfere positivamente, pela formação de extensos “platôs”, com topografia muito adequada aos principais cultivos agrícolas, especialmente à produção de grãos.

Em menor proporção que a Classe 1 (C 01), porém com percentual expressivo quando comparado às demais classes, a Classe 2 (C 02) ocupa aproximadamente 28,50% da área municipal. Esta classe apresenta solo LVd10 (Latossolo), com relevo plano (0 a 2%), e o uso do solo conserva ainda grande parte da vegetação natural - o Cerrado. Esta Classe apresenta relevo e solo atrativo para a ocupação agrícola, o que a torna uma classe vulnerável no que diz respeito à conversão da cobertura vegetal frente à expansão agrícola. Cerca de 48% desta classe está localizada internamente a uma Unidade de Conservação Estadual: Área de Proteção Ambiental Rio de Janeiro. Apesar de ser uma Unidade de Uso Sustentável, com a presença de propriedades particulares, é possível afirmar que a criação desta Unidade foi uma estratégia governamental eficaz para frear a expansão agrícola sobre o município, visto que neste local está concentrada grande parte dos remanescentes da vegetação nativa de LEM.

A Classe 8 (C 08) apresentou um percentual de 8% da área municipal, compreendendo os solos hidromórficos, relevo plano (0 a 2%), e Cerrado como vegetação natural. Nas demais classes, excetuando-se a C 01 e a C 02, a Classe C 08 foi a terceira classe mais representativa do município. Compreende áreas ao longo dos rios denominadas de

“vegetação ciliar”, com relevo plano e solos temporariamente alagados, o que dificulta o estabelecimento dos principais cultivos agrícolas em “sistema de sequeiro”.

A classe do solo foi de fundamental importância para a conservação da cobertura vegetal, devido ao desinteresse na ocupação dessas áreas pela agricultura, em função dos possíveis problemas que podem ser ocasionados pela inundação intermitente, como exemplo da formação de um ambiente anaeróbico impróprio para o desenvolvimento dos principais cultivos locais, além de problemas sistemáticos impedindo a entrada de maquinário, devido a problemas de “atolamentos” tornando as máquinas inoperáveis nestas condições.

As demais classes apresentam-se em proporções muito baixas (C 03 = 2,70%, C 04 = 5,12%, C 05 = 0,02%, C 06 = 0,30%, C 07 = 1,10%, C 09 = 0,60%, C 10 = 3,20%, C 11 = 0,01% e C 12 = 0,20%), com poucas características marcantes e que pudesse justificar uma análise descritiva sobre as variáveis em análise.

5.2 Métrica da Paisagem Aplicada a Alvos Agrícolas

O município de LEM apresentou um expressivo desenvolvimento agrícola ao longo dos 22 anos de análise. Em 1984, a agricultura no município apresentava-se incipiente, com apenas 16.964,9ha de área plantada, ou seja, apenas 4,22% da área municipal era ocupada por cultivos agrícolas. No cenário atual, aproximadamente 54,46% do município é ocupado por talhões agrícolas, sendo a soja, o milho e o algodão os principais cultivos em ordem decrescente de importância econômica. Em geral, os talhões agrícolas apresentam-se de forma e tamanho variado (Figura 5.7), notando-se uma leve concentração desses talhões na porção oeste do município.

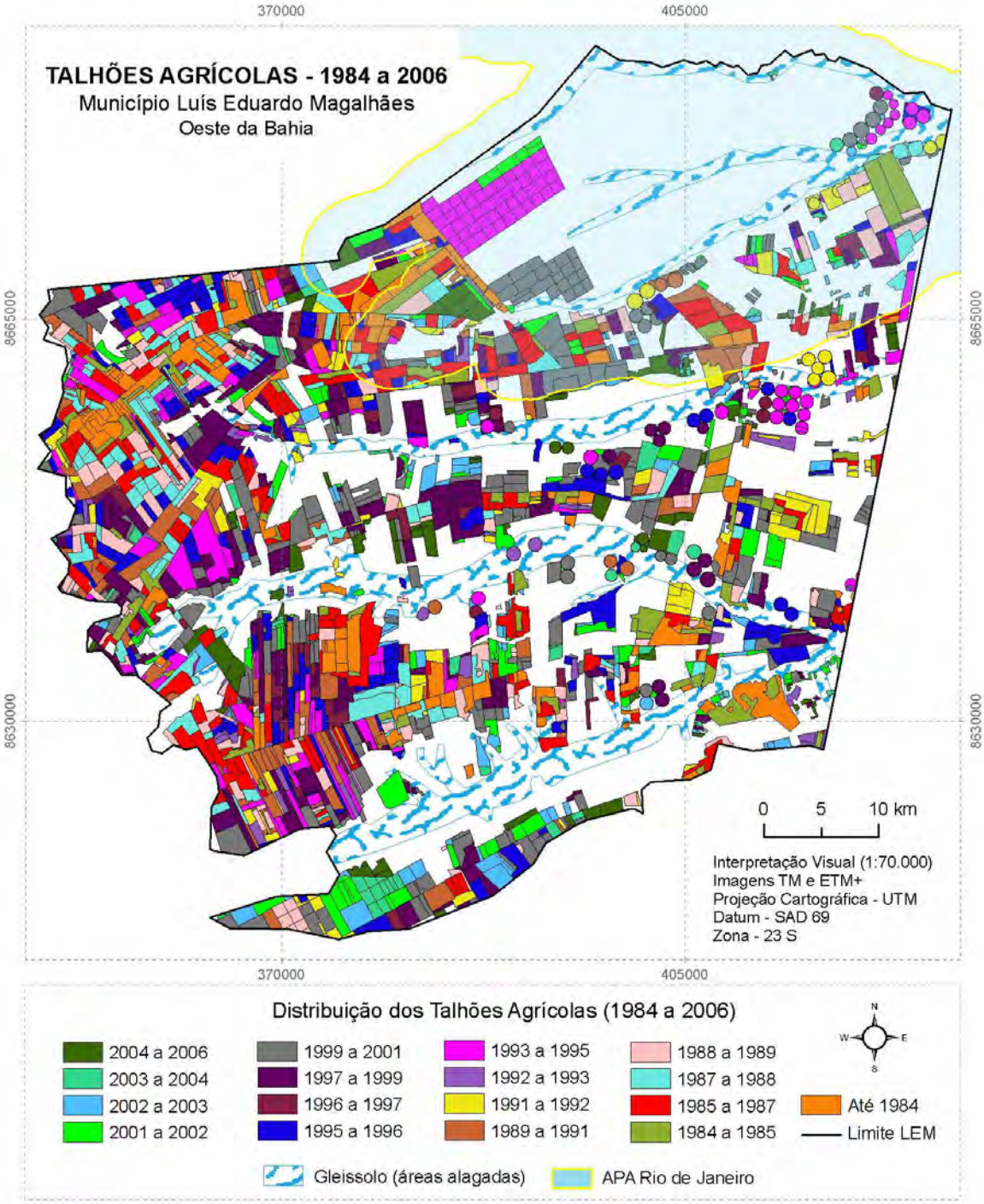


FIGURA 5.7 – Distribuição dos talhões agrícolas em LEM, de 1984 a 2006.

Em seu território, em 2006, o município de LEM possuía um total de 2.354 talhões agrícolas. Estes apresentam diversas formas, desde talhões mais alongados até circulares, como os plantios sob sistema de irrigação circular conhecido como “pivô central”. Durante a ocupação agrícola no período em análise, não foi identificado

nenhum segmento com regeneração natural (abandono), o que implica na intensidade de uso do talhão agrícola após seu estabelecimento sobre o Cerrado. Observa-se na Figura 5.7 que os talhões agrícolas ocorreram com menor intensidade em áreas que apresentaram algum impedimento físico (Gleissolo), ou em áreas protegidas, como a exemplo da APA Rio de Janeiro, onde a porção sul desta Unidade de Conservação faz intersecção com o município de LEM.

As áreas médias dos talhões agrícolas, nesses 22 anos de análise, são da ordem de 85,7ha, com presença de talhões variando desde áreas muito pequenas a extensos plantios de grãos (0,1ha até 1.00l,7ha). É evidente que existem plantios em LEM, a exemplo de extensas áreas com o cultivo da soja, que apresentam valores mais expressivos de área. Entretanto, vale salientar que estes extensos plantios são compostos por vários talhões agrícolas, e que estes são a unidade base desta análise.

A maior expansão dos talhões agrícolas, em número e área, ocorreu no período 13 (1995 a 1996), quando o surgimento de 190 talhões somou uma área de 15.849,3ha, com média de 83,4ha. A menor expansão em termos de expansão de área ocorreu no período 21 (2003 a 2004). A Figura 5.8 mostra que inicialmente, quando começou efetivamente a expansão agrícola do município, tanto o número de novos talhões quanto o somatório destes em área foi mais expressivo, ou seja, neste período a expansão se deu de forma mais acelerada. Contrapondo a esta situação, os últimos três anos em análise mostram que houve uma queda significativa nesses valores.

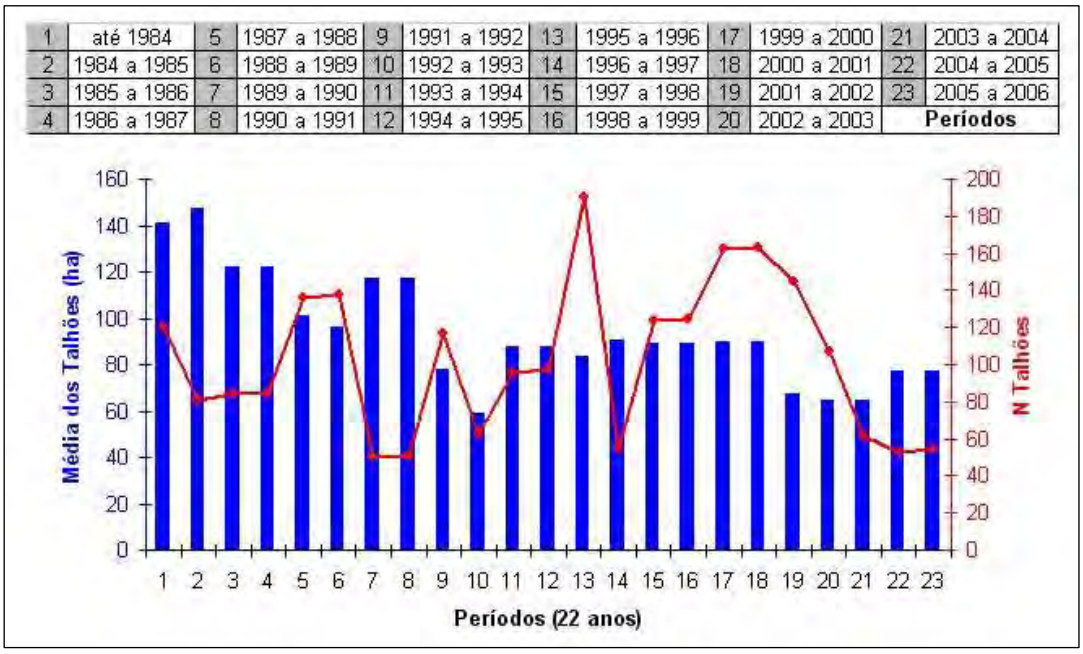


FIGURA 5.8 – Evolução do número e área média dos novos talhões agrícolas em LEM, em base anual.

Numa análise espacial, juntamente com informações adicionais, tais como hidrografia e unidade de conservação, observa-se que a redução da expansão agrícola nos três últimos anos pode estar diretamente relacionada com a falta de área agricultável para o estabelecimento de novos talhões agrícolas no município. É previsível que num futuro bem próximo o aumento da produção de grãos em Luís Eduardo Magalhães esteja mais condicionado a técnicas agrícolas inovadoras que visem ao aumento da produtividade, do que à incorporação de novas áreas agricultáveis.

A análise de *compactividade* avalia os talhões no que diz respeito à sua forma. Quanto maior a relação entre o perímetro e a área do talhão agrícola, maior será o seu índice de compactividade. A relação entre o perímetro e a área, do ponto de vista da compactividade, independe do tamanho do talhão, sendo esta análise estritamente relacionada à sua forma. A Figura 5.9 comprova que o tamanho do talhão agrícola não influencia diretamente no índice de compactividade.

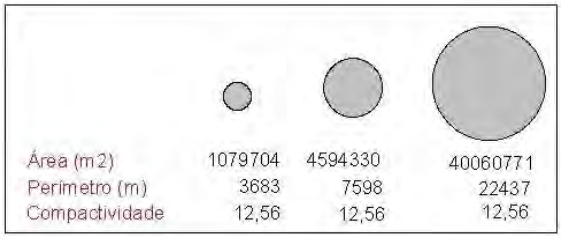


FIGURA 5.9 – Relação da compactividade com a forma do objeto.

Ao longo dos 22 anos de análise os talhões agrícolas que apresentaram menor índice de compactividade foram os plantios circulares, os quais têm sua forma condicionada ao sistema de irrigação adotado, conhecido como “pivô central”. Para estas áreas o índice de compactividade foi de 12,56. Sabido o valor de compactividade do plantio em sistema de “pivô central”, foi possível identificar o surgimento do primeiro sistema circular de irrigação implantado no município de Luís Eduardo Magalhães, evidenciado no período 8 (1990 a 1991). Em 2006 existiam 107 sistemas de irrigação por pivô central implantados no município.

De forma geral, como mostra a Figura 5.10, os talhões agrícolas apresentaram valor médio de compactividade variando de 22,55 a 32,36. Tal fato significa que não houve grandes variações de forma nos talhões agrícolas estabelecidos durante o período de análise. Houve uma menor variação nos valores mínimos de compactividade quando comparados aos valores máximos para cada período. O período 6 (1988 a 1989) é um caso típico em que houve maior variação, principalmente no valor máximo de compactividade. Neste caso específico, observou-se que tal variação dizia respeito a um “talhão agrícola” isolado com o valor do perímetro bem elevado quando comparado o valor de área – em função da junção de três talhões agrícolas do período anterior. Tal fato aconteceu apenas com indivíduos isolados, e não reflete a realidade da distribuição dos valores de compactividade dos talhões agrícolas em LEM, podendo ser comprovado observando-se a homogeneidade dos valores de média de compactividade ao longo dos 22 anos de análise (Figura 5.10).

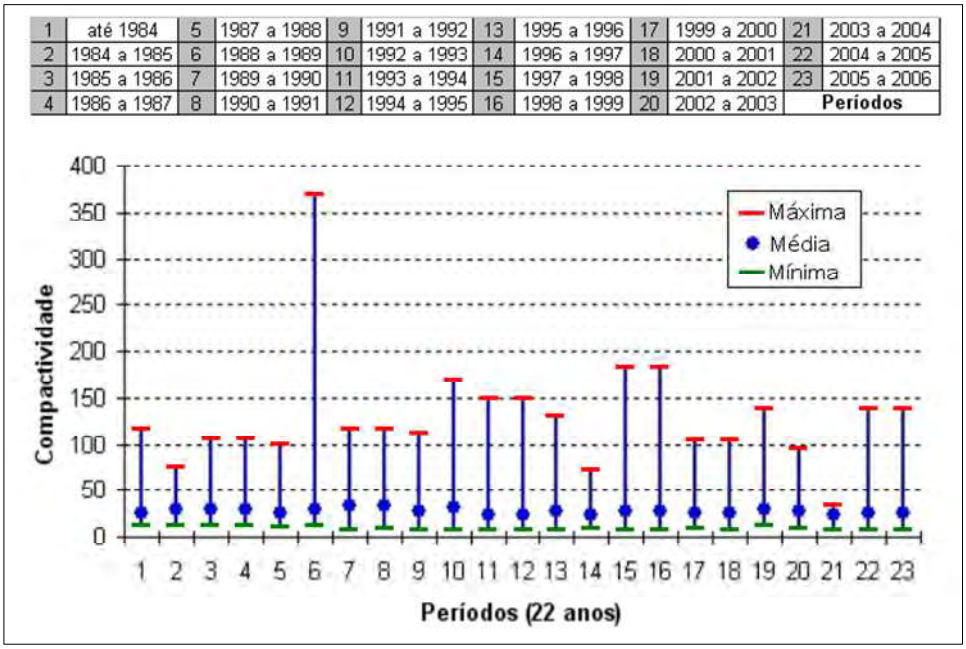


FIGURA 5.10 – Valores mínimos, médios e máximos dos índices de compactividade dos novos talhões agrícolas incorporados em cada período em LEM, de 1984 a 2006.

No período 21 (2003 a 2004) os novos talhões incorporados ao município apresentaram maior uniformidade, com pouca variação entre os valores mínimos e máximos de compactividade. Os valores mínimo e máximo dos índices de compactividade para este ano foram de 12,56 e 26,59, respectivamente, e o valor médio foi de 23,69. Tal uniformidade pode estar relacionada ao número reduzido de talhões, além da pouca expressividade em termos de área, visto que foi exatamente neste período que houve uma das menores expansões de área agrícola nos 22 anos em análise.

Após a análise da compactividade dos talhões agrícolas em LEM nos 22 anos, é possível afirmar que não houve grandes variações na forma dos talhões agrícolas, e de um modo geral eles apresentaram uniformidade, típico de áreas que sofreram algum tipo de ação antrópica. Em alguns períodos, como nos períodos 6, 15 e 16, houve um intervalo maior entre os valores de mínimos e máximos. Entretanto, ao observar a homogeneidade nos valores médios de compactividade, nota-se que tal fato ocorreu com indivíduos isolados, e que não representa a realidade da distribuição populacional.

Somando a expansão total (1984 a 2006) dos talhões agrícolas no município de LEM, e tomando por base a variável comprimento, constatou-se que essa expansão foi de 3.176,15km. O tamanho médio do comprimento dos talhões situou-se em 1,37km, o que indica, pela dimensão das áreas expandidas, que a atividade agrícola em LEM é predominantemente de médio a grande porte, completamente fora do padrão de agricultura familiar (valor aproximado abaixo de 100m). Continuando a análise do comprimento dos talhões agrícolas, porém agora em caráter anual, pode-se afirmar que o período 13 (1995 a 1996) foi o mais expressivo em termos de comprimento total (237,50km); entretanto, foi o período 2 (1984 a 1985) que apresentou maiores valores médios de comprimento por talhão (1,78km). Até o período 18 não foi observada nenhuma curva de tendência notável nos valores de expansão do comprimento dos talhões agrícolas; a partir deste período, houve uma queda drástica nos valores de expansão do comprimento dos talhões, passando de 205,47km para 61,61km no período 23 (Figura 5.11).

Na Figura 5.11 mostra-se que os valores médios de área e comprimento apresentaram um coeficiente de determinação significativo ($r^2 = 0,87$), indicando uma alta correlação entre essas variáveis ao longo dos anos em análise, com uma relação diretamente proporcional. Esta relação (área/comprimento) apresenta pouca variação ao longo dos anos, o que permite afirmar que, de maneira geral, os talhões agrícolas apresentaram um padrão uniforme de estabelecimento.

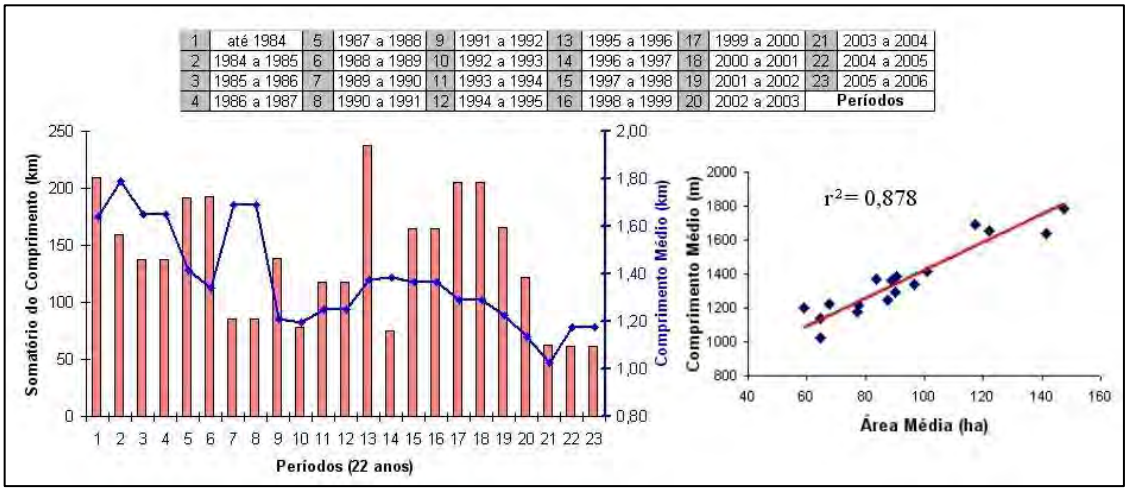


FIGURA 5.11 – Comprimento médio dos talhões agrícolas em LEM, e a relação diretamente proporcional entre os valores médios de área e comprimento.

Ao longo dos 22 anos, a expansão agrícola no município de LEM deu origem ao aparecimento de vários talhões agrícolas, e estes foram estabelecidos nas diversas direções. Para identificar a freqüência de distribuição desses talhões, foi utilizado o plano cartesiano como referência (0° a 360°), com intervalos de rumos variando em 10°. Tal análise identificou duas principais direções preferenciais em que os talhões agrícolas se estabeleceram nesses 22 anos.

Como se observa na Tabela 5.1 e Figura 5.12, os intervalos de rumos 60° a 70° e 330° a 340° apresentaram uma maior freqüência de distribuição, com valor de 137 talhões agrícolas, o que possibilita identificar a direção preferencial da expansão dos talhões agrícolas. Contrapondo a esta situação, o intervalo de rumo 200° a 210° foi o que apresentou uma menor freqüência de distribuição dos talhões, com apenas 11. Apesar da aleatoriedade na direção de expansão dos talhões agrícolas, é notória uma ligeira tendência em determinados intervalos de rumos (60° a 70° e 330° a 340°), ao longo dos 22 anos.

Quando se trata de áreas com declividades acentuadas, é comum que a direção de plantio tenha certa preferência, de modo a se estabelecer em áreas menos íngremes, podendo, assim, a variável declividade interferir na direção dos plantios agrícolas. No caso de LEM, não existe influência expressiva da declividade (média 4,20%) na direção dos plantios, visto que a área do município é muito plana, com ligeira declividade

apenas ao longo dos principais rios. Acredita-se que em LEM a direção de plantio esteja mais associada ao ordenamento territorial (limite das propriedades) e às técnicas de manejo, do que a fatores do meio físico, como a declividade, bem como à localização e implantação de estradas.

TABELA 5.1 – Direções de estabelecimento dos talhões agrícolas em LEM, de 1984 a 2006.

Rumo (graus)	**N**	**Rumo (graus)**	**N**	**Rumo (graus)**	**N**	**Rumo (graus)**	**N**
0-10	132	90-100	68	180-190	33	270-280	27
10-20	74	100-110	32	190-200	21	280-290	28
20-30	37	110-120	27	200-210	11	290-300	22
30-40	47	120-130	39	210-220	17	300-310	32
40-50	63	130-140	32	220-230	35	310-320	50
50-60	129	140-150	69	230-240	62	320-330	101
60-70	137	150-160	83	240-250	59	330-340	137
70-80	111	160-170	67	250-260	48	340-350	85
80-90	130	170-180	101	260-270	55	350-360	125

Rumo - direção preferencial em graus.
N - Número de talhões agrícolas de 1984 a 2006.

Na Figura 5.12, os vetores (setas) que indicam a expansão da agricultura em LEM expressam a direção e a magnitude da expansão dos talhões agrícolas.

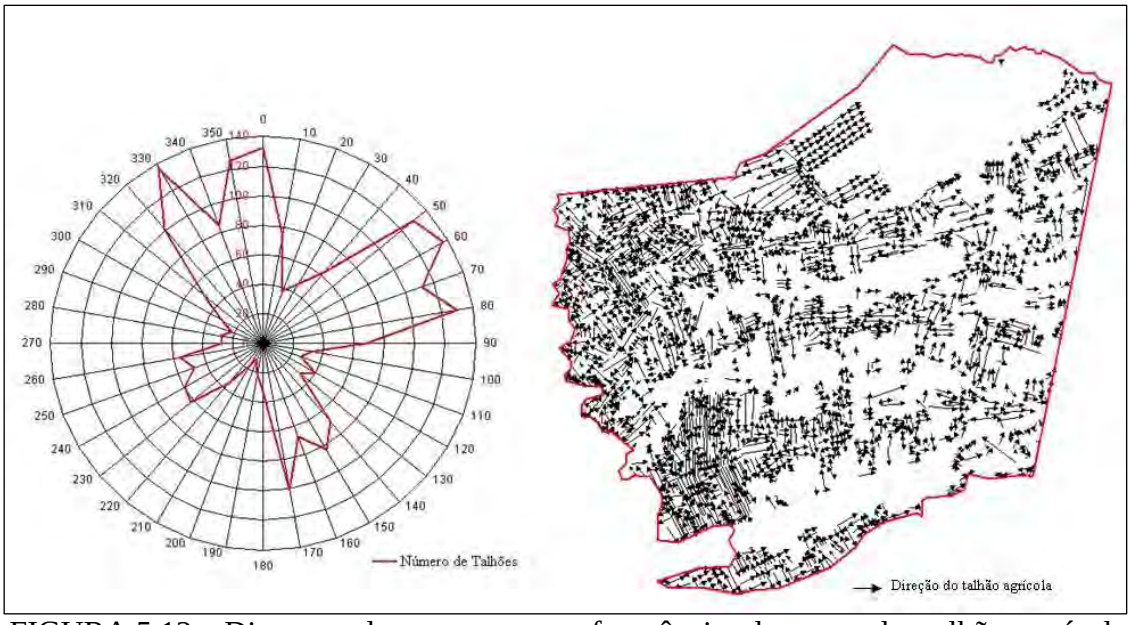


FIGURA 5.12 – Diagrama de rosetas com as frequências de rumos dos talhões agrícolas em LEM (1984 a 2006), e distribuição espacial que identifica a direção e a magnitude da expansão.

5.3 Expansão Agrícola *versus* Legislação Ambiental

O município de Luís Eduardo Magalhães está localizado no Bioma Cerrado. Este Bioma ocorre principalmente pelo Planalto Central Brasileiro nos Estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, parte de Minas Gerais, Bahia e Distrito Federal, abrangendo 196.776.853,0ha. Geralmente, as áreas de ocorrência deste bioma apresentam condições e facilidades para a implantação de cultivos em larga escala. O município de LEM é um caso típico da pressão imposta pela produção de grãos sobre o Ecossistema Cerrado, em área de fronteira agrícola, impulsionado pela necessidade de desbravar novas áreas para o aumento da produção, frente ao desenvolvimento do agronegócio. Tal pressão é exemplificada por um típico gráfico, onde fica evidente a existência de uma relação inversa entre a expansão agrícola e a vegetação nativa (Figura 5.13).

Em 1984 a agricultura no município apresentava-se incipiente, com apenas 16.964,9ha de área plantada, ou seja, 4,22% da área municipal. Em 22 anos de análise, de 1984 a 2006, a pressão da expansão agrícola sobre o Cerrado foi em sua maioria impulsionada pela plantação de grãos, o que reflete em uma supressão da vegetação nativa (Cerrado) de 201.702,7ha. Somando-se a supressão ocorrida até 1984 com os resultados obtidos em 22 anos de análise, totaliza-se uma supressão de 218.667,6ha, correspondente a mais da metade da área municipal (54,46%). O período 18 (2001 a 2002) representa o ponto de interseção onde existe um “equilíbrio” em termos de área ocupada com a agricultura e a vegetação nativa (Cerrado). A partir deste ponto, nota-se o crescente domínio dos cultivos agrícolas sobre o Ecossistema Cerrado.

Apesar do crescente domínio dos cultivos agrícolas sobre o Cerrado, na análise conjunta com outras informações vetoriais, tais como hidrografia, declividade e unidade de conservação, é possível diagnosticar que futuramente esta relação não seja tão discrepante como a apresentada nos cenários iniciais (períodos 1 a 6), visto que, atualmente, a maior porção da vegetação nativa está localizada a nordeste do município sob a proteção de uma Unidade de Conservação - Área de Proteção Ambiental Rio de Janeiro - ou às margens dos rios, onde a declividade é mais acentuada e os solos são hidromórficos, dificultando a implantação de cultivos agrícolas.

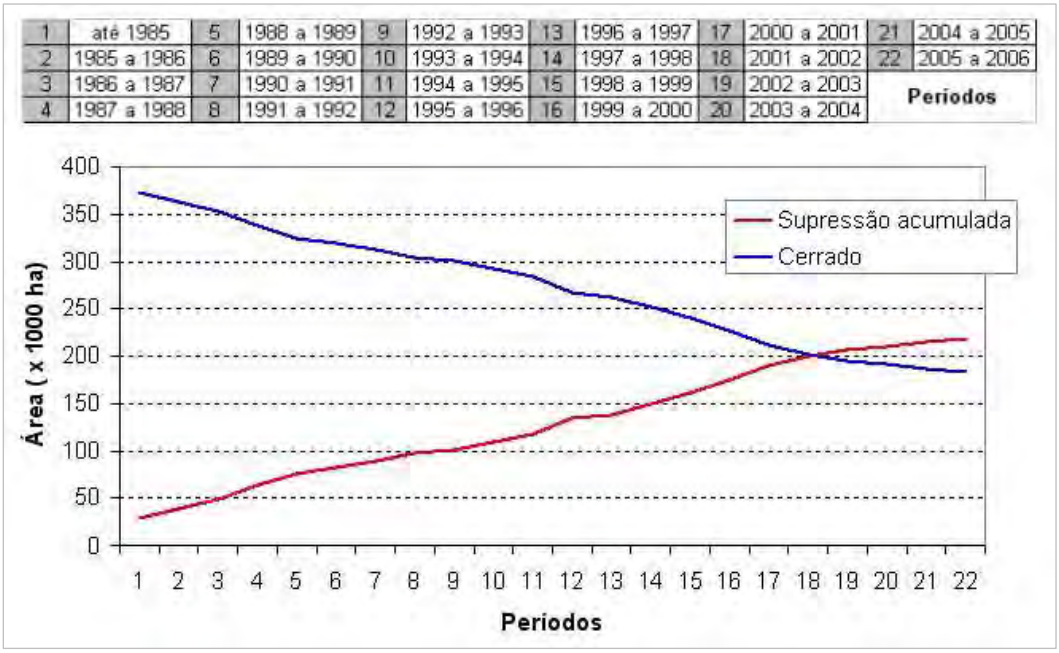


FIGURA 5.13 – Relação inversa entre a expansão agrícola e a vegetação nativa (Cerrado).

Apesar da expressividade do número e pelo impacto visual causado pela supressão da vegetação nativa nestes 22 anos, o percentual exigido pelo Código Florestal na forma de reserva legal ainda é aceitável neste estudo de caso, quando a análise se reporta ao município. Porém, o cumprimento dos 20% pela manutenção da reserva legal, segundo o Código Florestal é uma obrigatoriedade da propriedade, e não do município.

Quando se analisam os resultados do ponto de vista espacial, fica evidente que grande parte da supressão do Cerrado ocorreu na porção oeste do município (Figura 5.14), o que evidencia indícios de transgressão da legislação pelas propriedades localizadas nesta região.

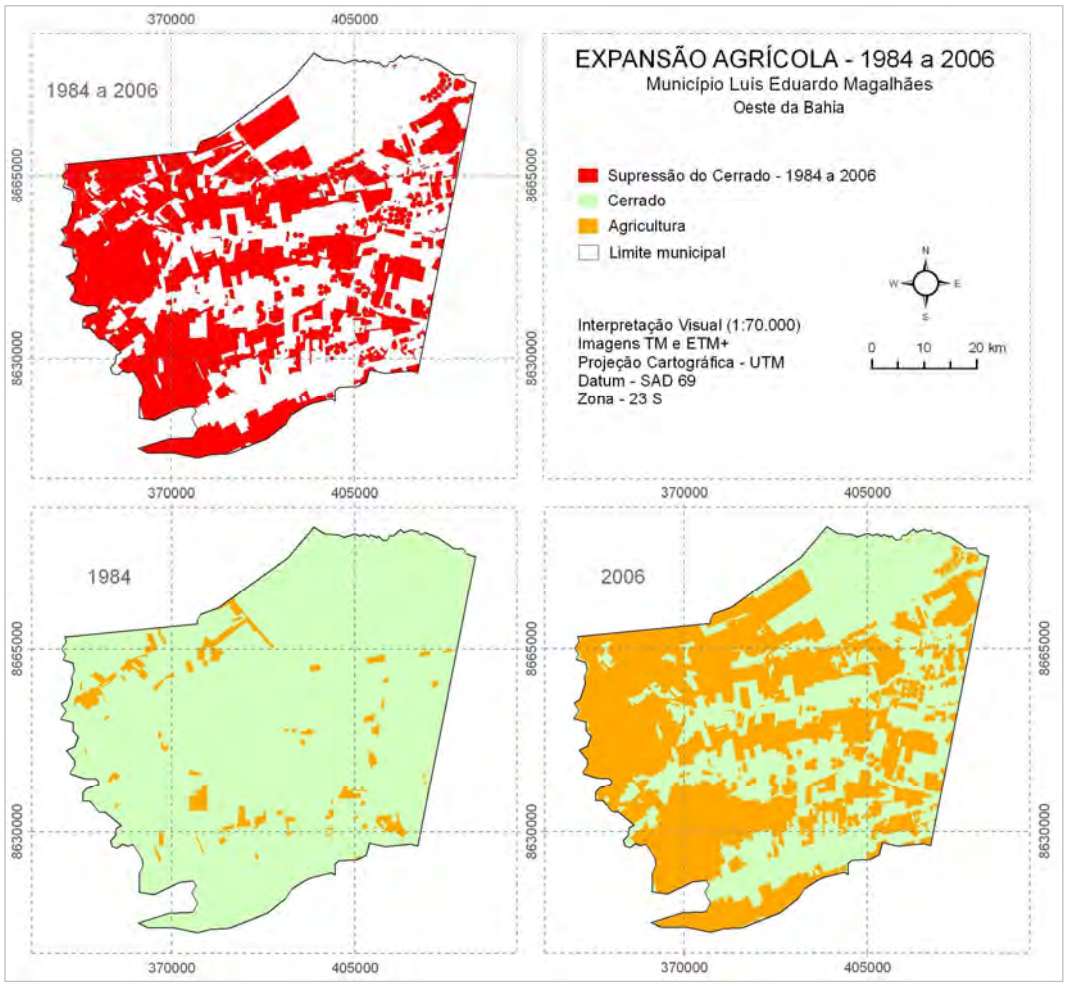


FIGURA 5.14 – Expansão da agricultura sobre o Cerrado em LEM, de 1984 a 2006.

Para simular tal transgressão, a parte oeste do município foi dividida em propriedades rurais regulares com área de 400,0ha. Tal simulação resultou na seleção de um total de 103 propriedades com seus limites completamente posicionados na porção oeste do município.

Segundo a Legislação Ambiental, na forma do novo Código Florestal no Art. 16º, Inciso II da Lei nº 4.771, de 15.09.1965, na área de abrangência do Bioma Cerrado (exceto na Região Amazônica), é obrigatoriedade da propriedade rural manter, no mínimo, 20% da propriedade na forma de reserva legal. Constatou-se que mais da metade das propriedades (63%) suprimiram a vegetação natural com valores superiores a 65%, e 39 propriedades rurais (37,86%) apresentaram valores de supressão acima de 80%, percentual mínimo estabelecido pelo Código Florestal. Além disso, 29 propriedades

rurais apresentaram supressão em níveis muito acentuados, sendo que 24 dessas propriedades suprimiram mais de 87,50% da vegetação nativa, enquanto cinco apresentaram 100% de supressão em sua suposta área de abrangência.

Até o momento, a análise quantitativa do total de área suprimida correspondente ao Ecossistema Cerrado retrata um intervalo de 22 anos (1984 a 2006). Porém, uma abordagem anual pode contribuir para evidenciar os principais períodos em que a expansão agrícola foi mais intensa no município de Luís Eduardo Magalhães.

Iniciando em 1984, foi realizada uma análise anual da expansão agrícola sobre o Ecossistema Cerrado. A partir desta análise foi possível afirmar com base nas informações obtidas pela interpretação visual de imagens orbitais que o período 12 (1995 a 1996) foi o que apresentou maior supressão da vegetação nativa (Cerrado), quantificada em 15.849,3ha (Figura 5.15). Os períodos 4 (1987 a 1988), 5 (1988 a 1989), 16 (1999 a 2000) e 17 (2000 a 2001), apesar de os valores de supressão serem menores do que o do período 12, estes também contribuíram significativamente para a supressão da vegetação nativa, com valores de supressão em torno de 13.722,7ha, 13.304,0ha, 14.616,7ha e 14.616,7ha, respectivamente.

O período 9 (1992 a 1993) foi o que apresentou menor expansão da agricultura sobre o Cerrado, correspondente a uma área de 3.650,9ha, valor bem inferior aos níveis observados nos períodos supracitados. Até o período 13, os índices de supressão do Cerrado comportaram-se de forma variada e aleatória, desde níveis altos até baixos, sem apresentar uma lógica de distribuição ao longo dos anos. A partir deste período, é notório um aumento nos índices de supressão até o período 17. Posteriormente, os valores tendem a decrescer, estabilizando nos últimos três períodos (20, 21 e 22).

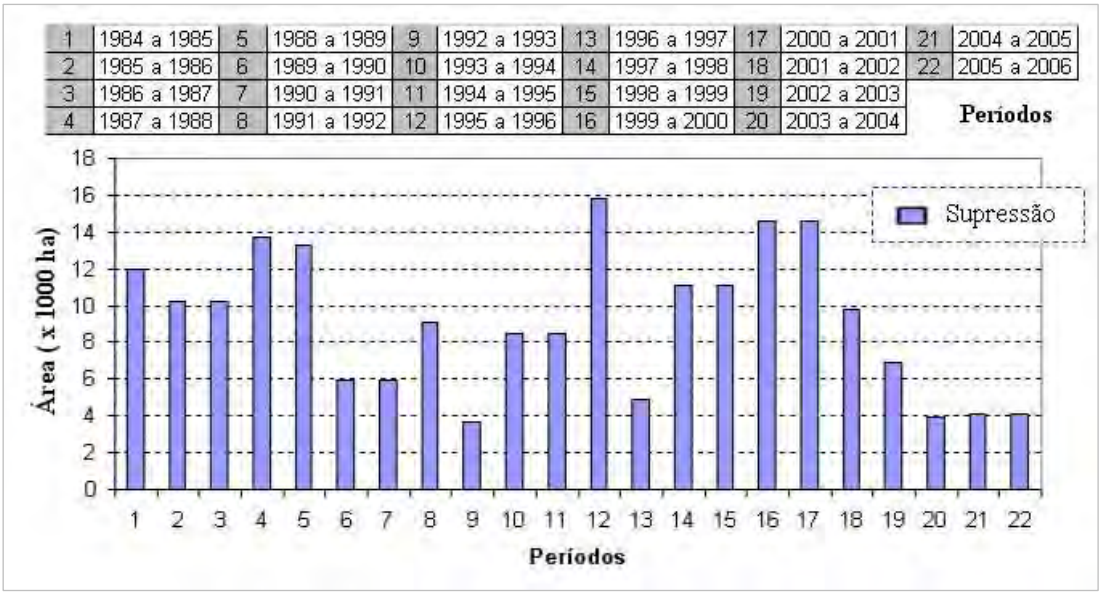


FIGURA 5.15 – Expansão da agricultura sobre o Cerrado em LEM - análise anual.

A distribuição espacial da supressão do Cerrado, e os valores obtidos a partir da supressão anual, refletem numa tendência de estabilidade no surgimento de novas áreas agrícolas para um futuro próximo. Observa-se que em 2006 existem poucas áreas a serem desbravadas, e que a maior parte destas áreas está às margens de rios (Áreas de Preservação Permanente - APP) e/ou em Unidades de Conservação (Área de Proteção Ambiental – APA). Portanto, de 2006 em diante, a possibilidade de aumento expressivo na produção de grãos neste município estará mais associada ao uso de técnicas agronômicas inovadoras (melhoramento vegetal, intensificação do uso de insumos, entre outros), que visem ao aumento da produtividade, do que à incorporação de novas áreas para o estabelecimento agrícola - cenário ocorrido nas últimas décadas.

Para a análise ambiental do ponto de vista de diagnóstico da situação atual das Áreas de Preservação Permanente (APP), analisaram-se dois aspectos: faixas de 30m ao longo dos rios, visto que estes não ultrapassam a largura máxima de 10m; e a questão das áreas com declividade superior a 45° ou 100% de declividade, ambos regulamentados pela legislação ambiental, no Código Florestal, do Art. 2º, da Lei nº 4.771, de 15/09/1965.

Tendo por análise o último aspecto – a declividade -, os dados interpolados (krigagem) do SRTM confirmaram a existência de um relevo plano, propício ao estabelecimento de cultivos em escala comercial, com poucas áreas que raramente chegam a ser classificadas na categoria de relevo suave ondulado. Os valores de hipsometria variam de 697m a 928m, com altitude média de 809m. O município de LEM apresenta relevo plano com declividade média de 4,20%, entre valores mínimo de 0% e máximo de 12,0%, conforme a Figura 5.16. A expansão agrícola, analisada no período de 1984 a 2006, foi estabelecida sobre áreas com declividade média de 1,10%, consideradas extremamente planas.

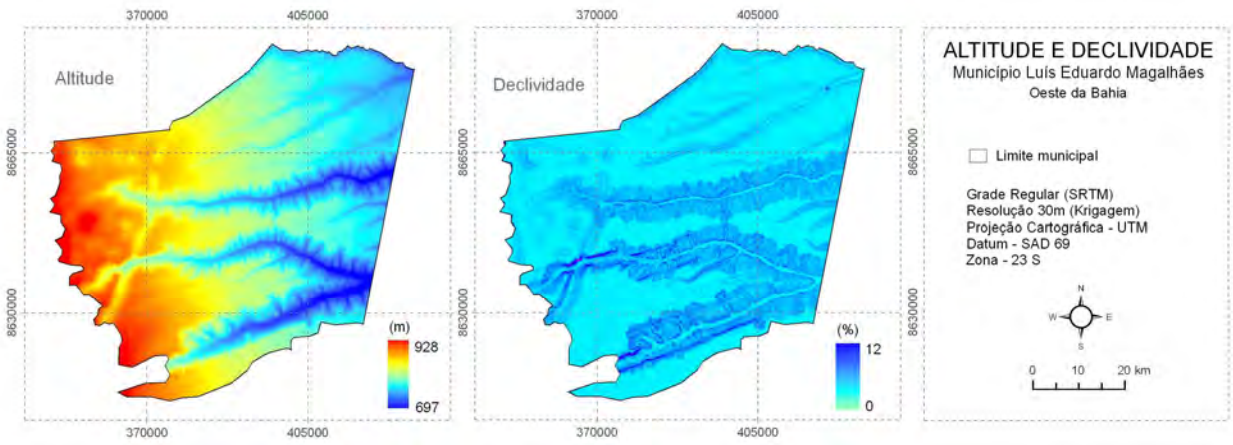


FIGURA 5.16 – Valores de altitude e declividade (processamento de dados SRTM).

Segundo os valores de declividade descritos acima, comparados à condição estabelecida no Código Florestal, do Art. 2º, da Lei nº 4.771, de 15.09.1965, é possível afirmar que toda a expansão agrícola no município de LEM foi estabelecida dentro da legalidade quando se analisa a questão da declividade, visto que estas áreas não apresentaram valores superiores a 45° ou 100%. Em todo o município não foi encontrada nenhuma área que apresentasse restrição do ponto de vista da declividade, segundo o Código Florestal. O relevo neste município é muito atraente ao estabelecimento dos cultivos agrícolas; portanto, esta variável pode ter contribuído fortemente para a rápida expansão da agricultura sobre a vegetação nativa - o Cerrado.

Agora, abordando o primeiro aspecto – largura da faixa ao longo dos rios -, a largura da lâmina d'água dos principais rios no município de LEM (Rio de Janeiro, Rio Balsas, Rio Ponta D'água, Rio Cabeceira, Rio do Borá e Rio de Ondas) não ultrapassou 10m.

Portanto, foi analisada a ocupação das margens destes principais cursos d'água, adotando uma análise de distância com um *buffer* de 30m de cada lado dos rios, conforme valores estabelecidos na legislação ambiental - Código Florestal, do Art. 2º, da Lei nº 4.771, de 15/09/1965, o que caracteriza essas áreas como Área de Preservação Permanente (APP).

Após a análise de distância nos principais rios do município, as APPs ocuparam uma área de 5.241,7ha, o que corresponde a 1,30% do município. Durante os 22 anos de análise, 12,7% das APPs apresentaram sua vegetação nativa (vegetação ciliar) substituída por cultivos agrícolas (Figura 5.17). O estabelecimento de cultivos agrícolas nas margens dos rios pode causar uma série de problemas ambientais, como assoreamento de rios, redução da vazão dos cursos d'água, aumento de poluentes via aplicação de insumos agrícolas, entre outros.

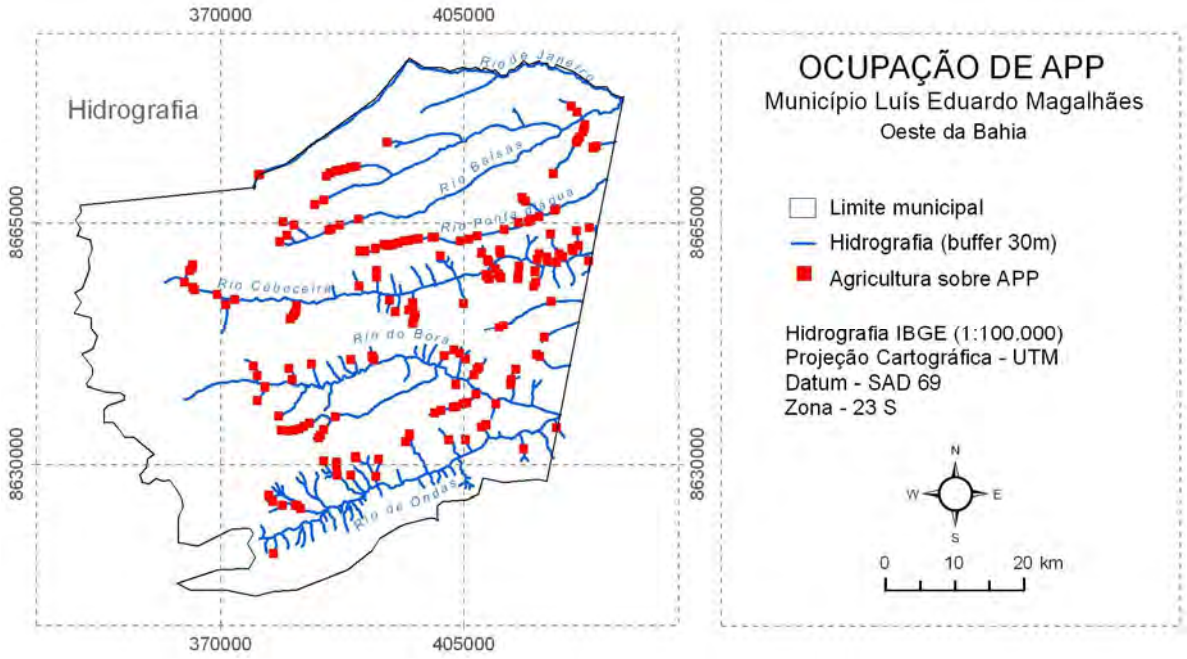


FIGURA 5.17 – Ocupação das APPs (margens dos rios) pela agricultura.

A única Unidade de Conservação existente no município é a Área de Proteção Ambiental (APA) Rio de Janeiro. É uma Unidade de Conservação criada pelo Governo do Estado da Bahia pelo do Decreto nº 2.185, de 7 de junho de 1993, com a justificativa de ser uma área apreciável e de valor cênico, favorecendo o turismo ecológico compatível com o desenvolvimento sustentável da região. Segundo o Sistema Nacional

de Unidades de Conservação (SNUC), a APA enquadra-se na categoria de Uso Sustentável, ou seja, é uma área de proteção onde existe a presença de propriedades particulares. Esta Unidade é regida por um instrumento de gestão e ordenamento do solo denominado Zoneamento Ecológico-Econômico.

A APA Rio de Janeiro tem uma extensão de 351.300,0ha, e 34,82% de sua área tem intersecção com o município de LEM (Figura 5.18). É justamente nesta região de intersecção que ocorre o maior polígono contínuo de vegetação nativa de todo o município, com 72.724,2ha de área (63,02%). Em análise prévia sobre informações de classes de solos e declividade no local de intersecção entre a APA e o município, verificou-se que não houve grande diferença ou variações que justificassem o não uso da terra por qualquer tipo de impedimento intrínseco a essas variáveis. Portanto, presume-se que esta unidade de conservação foi de fundamental importância para a manutenção da vegetação nativa, visto que é nesta região que existe o fragmento mais significativo de Cerrado em toda a extensão municipal.

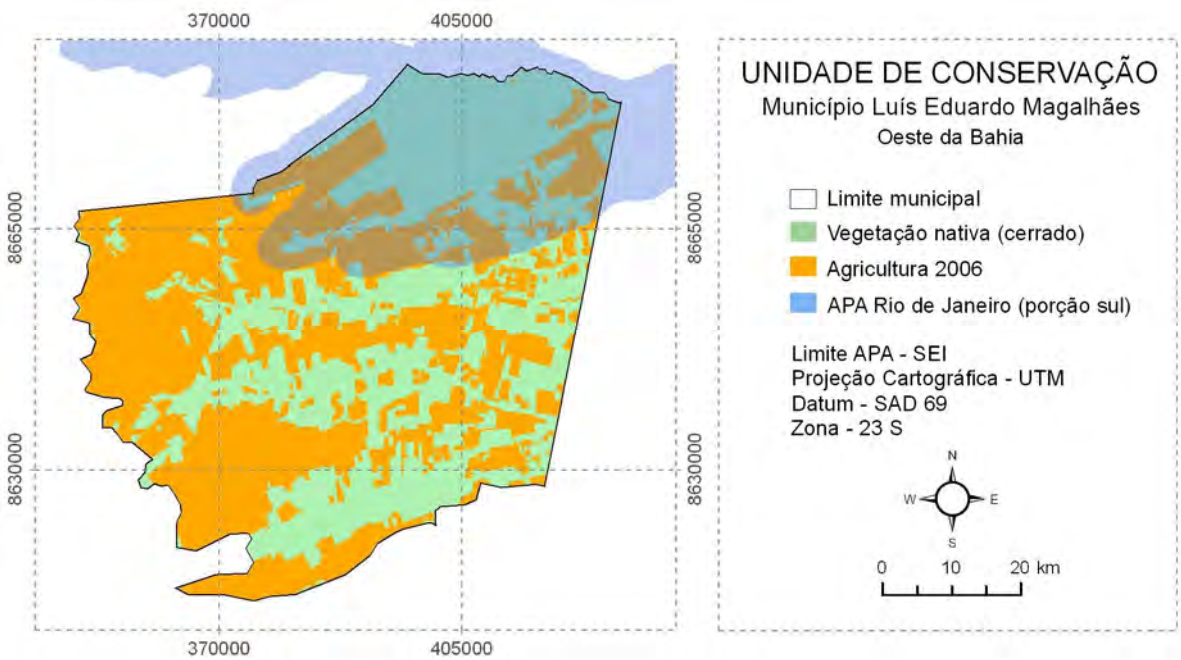


FIGURA 5.18 – Intersecção da APA Rio de Janeiro com a interpretação de 2006.

5.4 Otimização do Sistema de Amostragem do GeoSafras

O plantio da soja no município de Luís Eduardo Magalhães apresenta uma única safra durante o ano, que se inicia em novembro e tem colheita prevista para fevereiro. Em algumas poucas situações os talhões são plantados entre os meses de dezembro e janeiro. A Figura 5.19 apresenta a distribuição espacial e quantitativa da área plantada com soja, de 2001 até 2006, exceto para o ano de 2005 que, devido à dificuldade em obter imagens livres de nuvens no período do calendário agrícola desta cultura, não foi possível realizar este levantamento, mesmo fazendo uso de outros sensores disponíveis. Em 2001, o cultivo da soja ocupava uma área de 127.279,0ha, o que corresponde a uma porção bem significativa da área total do município (31,70%). Com o aumento de área plantada com esse cultivo nas últimas seis safras 2001-2006 (13.432,0ha de aumento total no período), esta relação passou para 35%, o que corresponde a uma projeção de avanço da soja em torno de 3,30% em relação à área municipal.

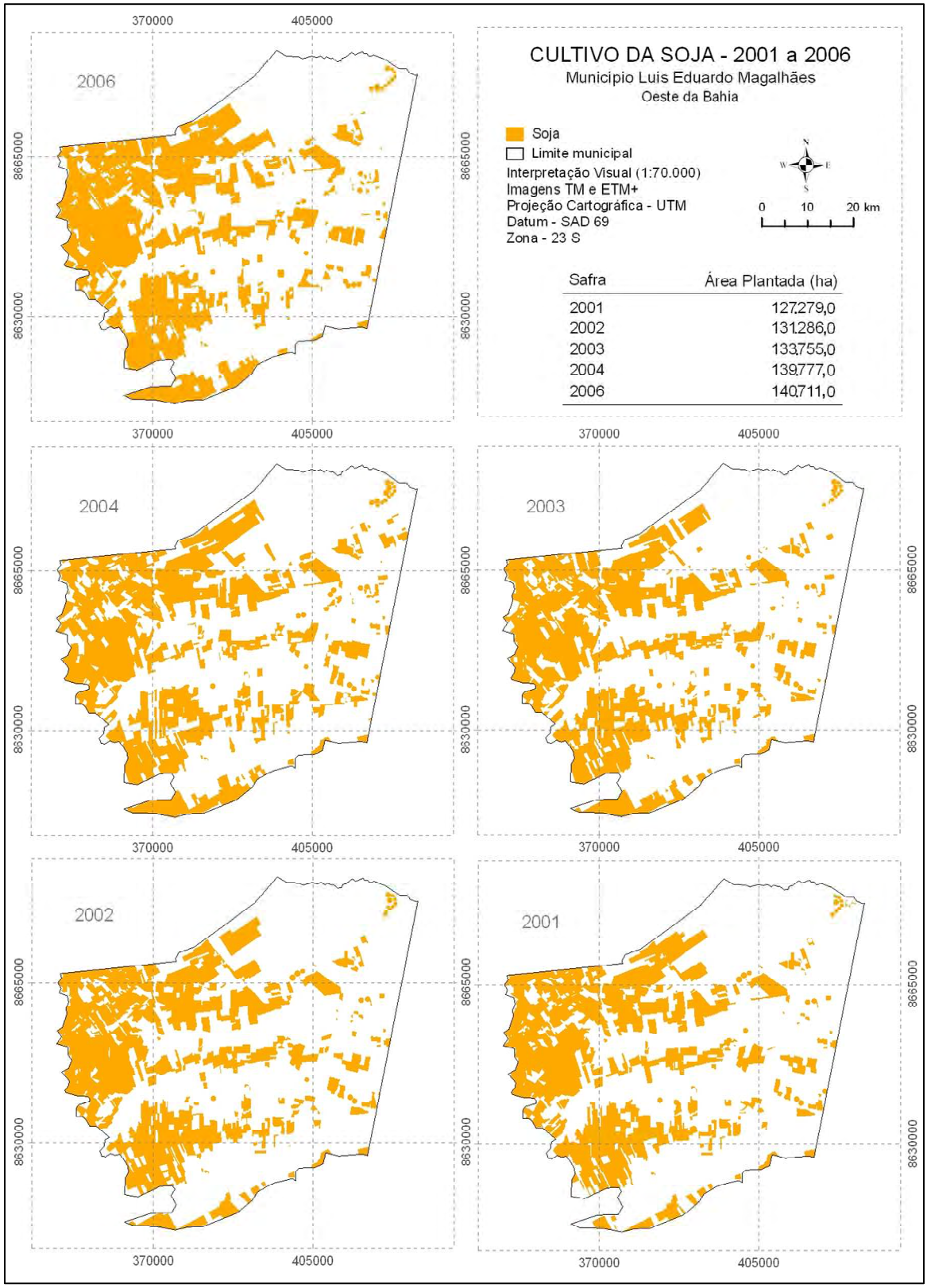


FIGURA 5.19 – Distribuição do cultivo da soja em LEM de 2001 a 2006.

A interpretação visual da safra de soja (2006) apresentou índice de concordância de 0,96 (Kappa). Segundo Landis e Koch (1977) o valor obtido para o índice de concordância está contido no internavo da categoria “Excelente” (0,80 – 1,00). Tal índice foi obtido por meio de trabalho de campo auxiliado por receptor GPS e imagens orbitais, realizado entre os dias de 06 e 09 de janeiro de 2006. A Figura 5.20 ilustra alguns usos da terra presentes em LEM durante a campanha de campo.

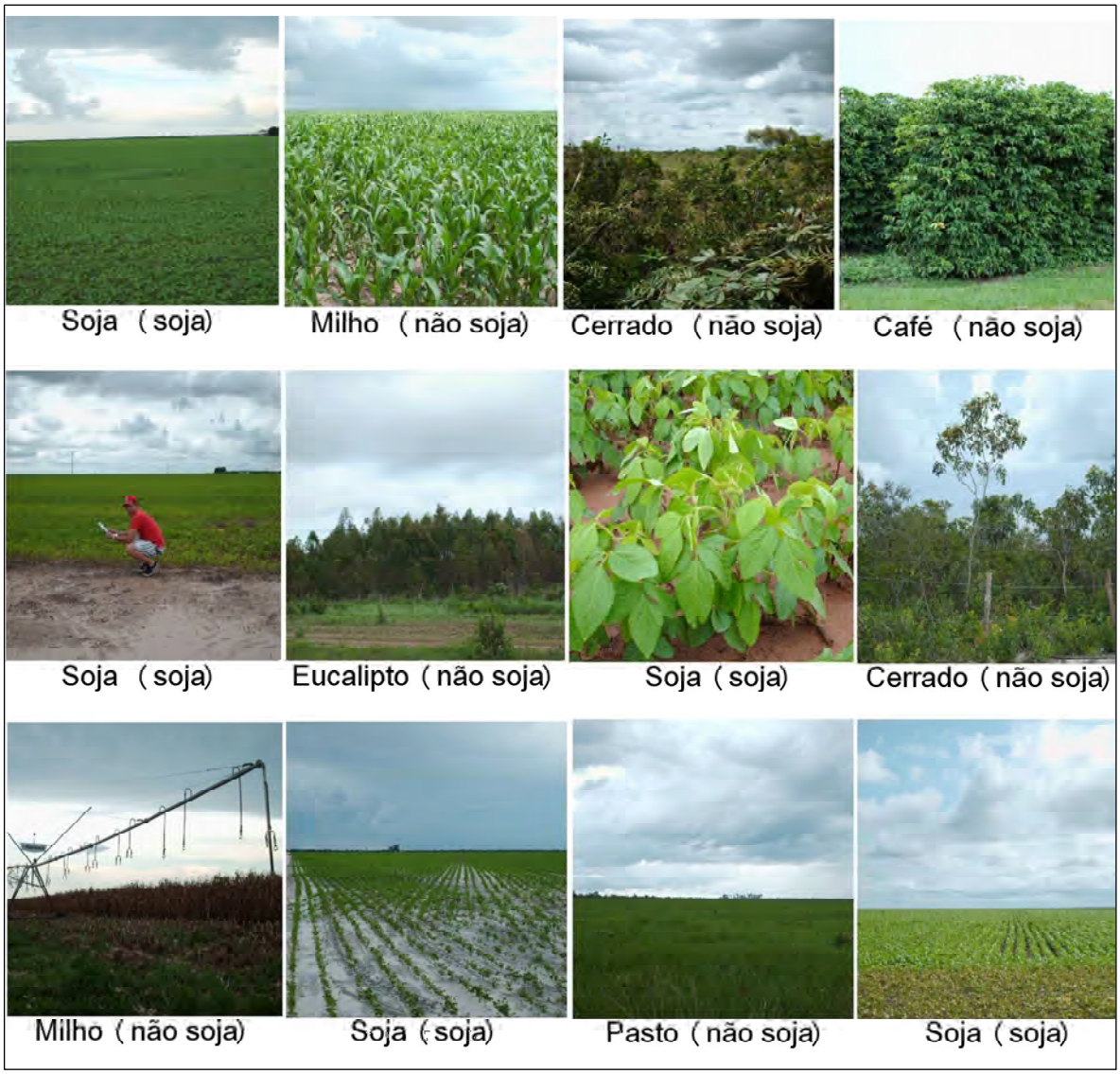


FIGURA 5.20 – Alguns usos da terra identificados no trabalho de campo em LEM.

Como visto anteriormente, há uma tendência de aumento da área plantada com a cultura da soja nas últimas safras. Até o ano de 2004 esta tendência de aumento foi mais acentuada, com um incremento médio de 4.166,0ha/ano, enquanto que a partir desta safra o incremento foi de apenas 934,0ha/ano. É evidente que vários fatores podem influenciar na magnitude de área plantada de uma determinada cultura, porém a linha de tendência aponta para certa estabilidade para os últimos anos (Figura 5.21).

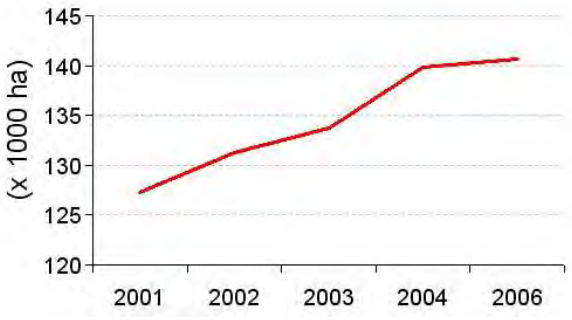


FIGURA 5.21 – Linha de tendência do incremento de área plantada com a cultura da soja no município LEM, com base na interpretação visual.

No que diz respeito à comparação entre os dois métodos: GeoSafras e GeoSafras Otimizado (Figura 5.22), fica evidente que o método GeoSafras Otimizado foi mais eficiente na determinação de área plantada com o cultivo da soja no município de Luís Eduardo Magalhães. Tal comparação foi possível devido ao uso de uma base confiável (referência) feita por interpretação visual.

A melhoria do método proposto ocorreu em função da redução na área municipal efetiva, pela eliminação de áreas impróprias para o cultivo agrícola. Com esse procedimento houve um aumento no valor de probabilidade de ocorrências de alvos agrícolas e, conseqüentemente, uma redução no coeficiente de variação associado ao sistema de estimativa de área.

Em função da necessidade de aumentar o valor de probabilidade de ocorrências de alvos agrícolas, e diante da impossibilidade de acréscimo no número de amostras por conta dos custos adicionais atribuídos ao sistema de amostragem, a redução populacional (redução da área municipal) foi fator primordial para a melhoria dos valores estimados de área agrícola no método GeoSafras Otimizado. Com isso foi possível manter constante o número de amostras. Para as cinco safras em análise o aumento médio no

valor de probabilidade foi de 2,68%, o que significa uma fonte média de erro em torno de 5.203,0ha por safra (Figura 5.22).

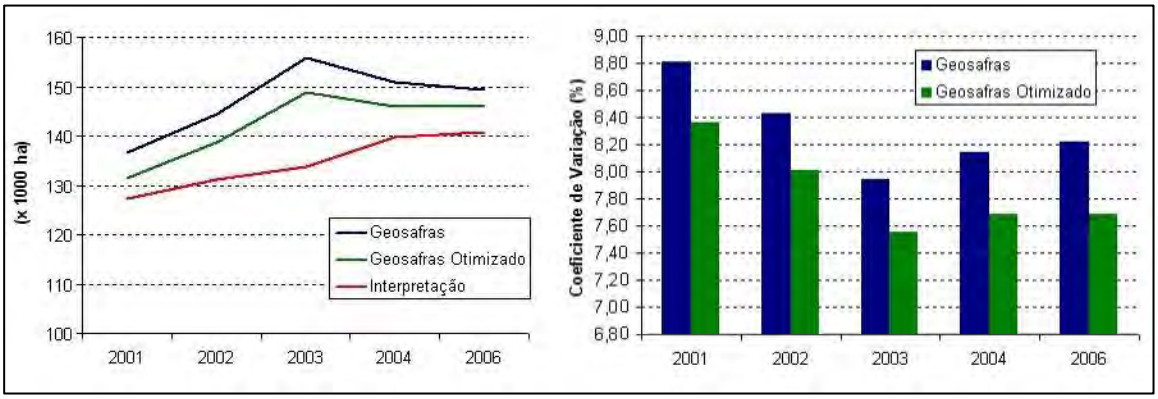
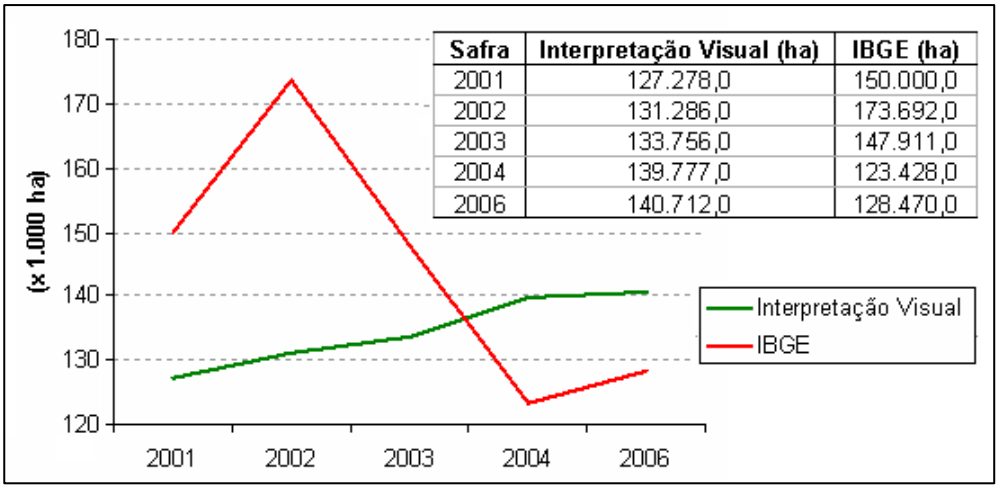


FIGURA 5.22 – Comparação entre os dois métodos na estimativa de área plantada e na magnitude dos coeficientes de variação.

Em todas as safras analisadas houve uma redução significativa dos erros para o método GeoSafras Otimizado, principalmente para safra de 2006, em que o coeficiente de variação passou de 8,21% para 7,68%. Tal redução reflete numa estimativa com menor magnitude de variação nos resultados estimados de área plantada com o cultivo da soja neste município. O procedimento adotado leva a uma estimativa com menores custos, os quais são na maioria vinculados a levantamentos de campo. Por exemplo, para redução de custos pode-se manter o mesmo coeficiente de variação para os dois métodos, e reduzir o número de amostras no método GeoSafras Otimizado, e obterem-se resultados equiparáveis de estimativa de área plantada.

Com base nas estatísticas oficiais de área plantada municipal, realizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) por meio do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA, fez-se uma análise comparativa destas estatísticas com os valores de área plantada com a cultura da soja em LEM obtidos a partir da interpretação visual, com base no reconhecimento de padrões estabelecidos em campo para a safra de 2006. Em linhas gerais, os resultados mostram que os valores estimados são distintos e não apresentam um cenário linear em relação às duas curvas de tendência (Figura 5.23). A safra de 2002 foi a que apresentou valores mais discrepantes, visivelmente ressaltados, e que corresponde a uma diferença de 42.406,0ha.



Safra	Interpretação Visual (ha)	IBGE (ha)
2001	127.278,0	150.000,0
2002	131.286,0	173.692,0
2003	133.756,0	147.911,0
2004	139.777,0	123.428,0
2006	140.712,0	128.470,0

FIGURA 5.23 – Comparativo entre as estimativas oficiais e os resultados obtidos por meio de interpretação visual.

Tomando como referência a interpretação visual, optou-se por comparar os erros obtidos pelo método GeoSafras Otimizado com as estatísticas oficiais realizadas pelo IBGE, para as cinco safras em análise. Para isso, partiu-se do princípio que tais variações, quantificadas em hectares, são correspondentes às médias de duas populações quaisquer.

Com o objetivo de verificar se existe diferença entre os erros dos dois métodos acima citados, foi utilizado o *Teste de Student-t* (Tabela 5.3). Inicialmente, para a escolha do *Teste T* foi realizada uma análise comparativa entre as variâncias (homocedásticas ou heterocedásticas) por meio do *Teste Fisher-F* (Tabela 5.2). Ambos foram realizados a 5% de significância.

TABELA 5.2 - Análise das variâncias.

Teste F	*GeoSafras Otimizado - Erro (ha)*	*IBGE – Erro (ha)*
Média	7.671,0	21.574,8
Variância	18.775.782,2	151.179.633,7
Observações	5	5
gl	4	4
F	0,124195183	
P(F<=f) uni-caudal	0,033917396	
F Crítico uni-caudal	0,156537812	

As variâncias foram consideradas heterocedásticas, ou seja, apresentam diferença estatística a 5% de significância, visto que o valor “p” foi menor que o nível de significância adotado (0,05). Este fato indica que o Teste *t* deve assumir variâncias distintas.

TABELA 5.3 - Comparação da significância estatística entre os dois métodos.

Teste t	*GeoSafras Otimizado - Erro (ha)*	*IBGE – Erro (ha)*
Média	7.671,1	21.574,8
Variância	18.775.782,2	151.179.633,7
Observações	5	5
Hipótese da diferença de média	0	
gl	5	
t Stat	-2,384786066	
P(T<=t) uni-caudal	0,03139583	
t Crítico uni-caudal	2,015048372	
P(T<=t) bi-caudal	0,062791659	
t Crítico bi-caudal	2,570581835	

Segundo o Teste *t* unilateral, com 5% de significância, houve diferença entre os erros de estimativa de área plantada com o cultivo da soja em LEM, tomando como base os valores obtidos por interpretação visual (referência). Tal fato pode ser verificado pela análise do valor “p”, o qual foi menor que o nível de significância adotado. Os erros oriundos das estimativas oficiais foram superiores quando comparados aos erros obtidos pelo método GeoSafras Otimizado.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E REMOMENDAÇÕES

O município de LEM apresentou um intenso crescimento da atividade agrícola em 22 anos (1984 a 2006): passou de 4,22% para mais da metade da área municipal (54,46%), ultrapassando os valores de área da vegetação nativa - o Cerrado.

O intervalo de 1995 a 1996 foi o período em que a expansão agrícola apresentou índices mais expressivos neste município. Entre os principais fatores naturais que contribuíram para a expressiva expansão destacam-se o relevo e os solos. A declividade muito plana e os solos com boas características físicas proporcionaram um ambiente favorável para o desenvolvimento agrícola, principalmente para os cultivos de grãos, haja vista que o sistema de produção das principais culturas lá cultivadas necessita de um alto nível tecnológico.

Nesta ocupação agrícola os talhões ou campos agrícolas apresentaram-se com tamanhos e formas variados, com área média de 85,7ha e compactividade variando de 22,55 a 32,36, o que caracteriza uma atividade agrícola de médio a grande porte.

A expansão agrícola, em valores de área, apresentou queda significativa nos três últimos anos, o que está relacionado com a falta de área agricultável para o estabelecimento de novos talhões agrícolas. É previsível que, num futuro próximo, o aumento da produção de grãos em Luís Eduardo Magalhães vá estar condicionado a técnicas agrícolas inovadoras que visem mais ao aumento da produtividade do que à incorporação de novas áreas agricultáveis.

Na expansão territorial o tamanho médio dos talhões agrícolas foi de 1,37km, com alta correlação com os valores médios de área ($r^2 = 0,87$). Apesar da significativa amplitude entre área/comprimento, numa visão mais abrangente, a alta correlação existente entre as duas variáveis indica um padrão uniforme de estabelecimento agrícola no que tange à forma dos talhões.

A expansão agrícola em LEM apresentou alguns impactos negativos sob o ponto de vista ambiental, especialmente quanto à supressão da vegetação nativa - o Cerrado. A

pressão da expansão agrícola sobre o Cerrado foi em sua maioria impulsionada pela plantação de grãos. No período analisado, a supressão foi de 201.702,7ha. Apesar da expressiva supressão, sob uma perspectiva geral, quando se analisa o município como um todo, é possível concluir que esses valores são aceitáveis, haja vista que o percentual de reserva legal exigido pela legislação é de 20%. Entretanto, de um ponto de vista específico e de propriedade rural, observa-se que houve várias transgressões à lei, principalmente pelo não cumprimento das taxas destinadas a "Reserva Legal". E também houve a ocupação de 12,74% das áreas conceituadas como "Preservação Permanente", denominadas vulgarmente de "Vegetação Ciliar" no entorno dos cursos d'água.

É evidente a importância da contribuição da única Unidade de Conservação (APA Rio de Janeiro) existente em LEM na manutenção da cobertura vegetal. O maior fragmento de Cerrado (72.724,2ha) está nesta área. Porém, é preciso uma grande atenção das instituições responsáveis na fiscalização desta Unidade, uma vez que ela apresenta boas condições de solo e relevo, tornando-se um local atrativo ao estabelecimento agrícola no município.

Em comparação com o método usual desenvolvido pelo GeoSafras para estimativa de área agrícola municipal, o método aqui proposto (GeoSafras Otimizado) apresentou redução significativa nos erros para as últimas seis safras da cultura da soja em LEM, principalmente para a safra de 2006, quando o coeficiente de variação passou de 8,21% para 7,68%. A aplicação do teste *t* unilateral, com 5% de significância, apontou diferença entre os erros de estimativa de área plantada com o cultivo da soja em LEM, tomando como base os valores de referência obtidos por interpretação visual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULLAH, S. A.; NAKAGOSHI, N. Forest fragmentation and its correlation to human land use change in the state of Selangor, peninsular Malaysia. **Forest Ecology and Management**, v. 241, p. 39-48, Mar 2007.

ABOTTEEN, R. A. Principal component greenness transformation in multitemporal agricultural Landsat data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 12, Manila. **Proceedings…** Michigan: Environmental Research Institute of Michigan, Apr 1978. p. 765-774.

ACCIOLY, L. J. O.; COSTA, T. C. C.; OLIVEIRA, M. A. J.; SILVA, F. H. B. B.; BURGOS, N. O papel do sensoriamento remoto na avaliação e no monitoramento dos processos de desertificação do semi-árido brasileiro. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 1., 2002, Aracaju. **Anais...** Campinas: Embrapa, 2002. Disponível na biblioteca digital URLib: < http://www.cpatc.embrapa.br/labgeo/srgsr1/pdfs/pa_ma_01.PDF>. Acesso em: 15 jan. 2006.

AMISSAH-ARTHUR, A.; MOUGENOT, B.; LOIREAU, M. Assessing farmland dynamics and land degradation on Sahelian landscapes using remotely sensed and socioeconomic data. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 14, p. 583-599, Sept. 2000.

ANDERSON, L. O. **Classificação e monitoramento da cobertura vegetal do Estado do Mato Grasso utilizando dados multitemporais do sensor MODIS**. 2005. 247p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: INPE, São José dos Campos. 2005.

ANDERSON, L. O.; ROJAS, E. H. M; SHIMABUKURO, Y. E. Avanço da soja sobre os ecossistemas cerrado e floresta no Estado do Mato Grosso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 19-25. Disponível na biblioteca digital URLib: < http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.17.12.25/doc/01_304.pdf>. Acesso em 10 jan. 2007.

ANDERSON, L. O. A. **Classificação e monitoramento da cobertura vegetal de Mato Grosso utilizando dados multitemporais do sensor MODIS**. 2004. 247 p. (INPE-12290-TDI/986). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2004/08.31.13.56>. Acesso em 11 dez. 2006.

ANDRÉFOUËT, S.; MULLER-KARGER, F. E.; HOCHBERG, E. J.; HU, C.; CARDER, K. L. Change detection in shallow coral reef environments using Landsat 7 ETM+ data. **Remote Sensing of Environment**, v. 78, n.1, p. 150-162, Oct 2001.

ARRUDA, M. B. **Ecossistemas brasileiros.** Brasília: Ibama, 2001. 51 p.
ASNER, G. P.; KNAPP, D. E.; BROADBENT, E. N.; OLIVEIRA, P. J. C.; KELLER, M.; SILVA, J. N. Selective logging in the Brazilian Amazon. **Science**, v. 310, p. 480-482, Oct 2005.

ASSAD, E; DOMINGUES, A. L. Aplicação de geotecnologias para elaboração de mapas e imagens digitais. In: MOSTRA DE TRABALHOS DE ESTAGIÁRIOS E BOLSISTAS, 1., 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: Embrapa, 2005. Disponível na biblioteca digital URLib:
<
http://www.cnptia.embrapa.br/mostra/Embrapa/posteres%20pdf/Poster_AnaLicia.pdf>. Acesso em 21 jan. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEO VEGETAIS (ABIOVE). **Soja verde um mercado maduro**. 2005b. Disponível em: <http://www.abiove.com.br/soja_verde.html>. Acesso em 23 jan. 2006.

_____. **Atlas sócio-econômico do Rio Grande do Sul.** 2005a. Disponível em: <http://www.scp.rs.gov.br/ATLAS/atlas.asp?menu=263>. Acesso em: 23 jan. 2006.

BARBOSA, A. M.; SOARES, J. V.; MEDEIROS, J. S. Subsídios para o planejamento em ecoturismo, na região do Médio Rio Grande (MG), utilizando geoprocessamento e sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2035-2042. Disponível na biblioteca digital URLib:
< http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.20.07/doc/2035.pdf>. Acesso em 20 jan. 2006.

BERKA, L. M. S.; RUDORFF, B. F. T. Estimativa de área plantada com soja através de imagens Landsat em municípios do norte do Paraná. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 27-31. Disponível na biblioteca digital URLib:
< http://iris.sid.inpe.br:1908/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.18.18.36/doc/01_469.pdf>. Acessado em 22 fev. 2006.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing**. The Guilford Press: New York, 1996. 551p.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing**. New York: The Guilford Press, 2006. 625p.

CASTRO, L. H. R.; MOREIRA, A. N.; ASSAD, E. D. Definição e regionalização dos padrões pluviométricos dos cerrados brasileiros. In: ASSAD, E.D. (coord.) **Chuvas no cerrados:** análise e espacialização. Brasília: Embrapa, CPAC, 1994, p.13-23.

CARRILHO, J. M. Z. F. **Detecção de mudanças da cobertura do terreno em uma região de cerrado**. 1996. 130p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: INPE, São José dos Campos. 1996.

CASAGRANDE, C. A.; BALLESTER, M. V. R.; VICTORIA, R. L.; TOLEDO, A. M. A.; VICTORIA, D. C.; MONTEBELO, L. A. Mudanças no uso e cobertura do solo na microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins, Piracicaba-SP. In: Congresso de Ecologia do Brasil, 6., 2003, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC, 2003. p. 93-95. Disponível na biblioteca digital URLib: <http://www.culturaapicola.com.ar/apuntes/libros/20_diversidad_cerrado_caatinga/2/02_ecologia_da_paisagem_cap2.pdf>. Acesso em 20 jan. 2006.

COLLARES, J. E. R.; LAURIA, C. A.; CARRILHO, M. M. Pesquisa de previsão e acompanhamento de safras baseada em painéis de amostras de áreas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, 1993. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. p. 450-453.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). Agropecuária Brasileira. 2005. Disponível em: <http://www.cna.org.br/cna/publicacao/noticia.wsp?tmp.noticia=4256>. Acesso em 20 jan. 2006.

COSTA, A. S.; SOUZA, C. M. Comparação entre imagens Landsat e MODIS para detecção de incrementos de desmatamento: um estudo de caso na região do Baixo Acre. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1469-1476. Disponível na biblioteca digital URLib: < http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.23.11.15/doc/1469.pdf>. Acesso em 21 jan. 2006.

CREWS-MEYER, K. A. Agricultural landscape change and stability in northeast Thailand: historical patch-level analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 101, p. 155-169, Feb 2004.

DEMATTÊ, J. A. M.; CAMARGO, W. P.; FIORIO, P .R.; NANNI, M. Diferentes produtos do sensoriamento remoto como auxílio no mapeamento de solos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 1381-1389. Disponível na biblioteca digital URLib: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.20.18.01/doc/1381.1389.297.pdf>. Acesso em 21 jan. 2006.

DIBARI, J. N. Evaluation of five landscape-level metrics for measuring the effects of

urbanization on landscape structure: the case of Tucson, Arizona, USA. **Landscape and Urban Planning**, v. 79, p. 308-313, Mar 2007.

DORAISWAMY, P. C.; HATFIELD, J. L.; JACKSON, T. J.; AKHMEDOV, B.; PRUEGER, J.; STERN, A. Crop condition and yield simulations using Landsat and MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 92, p. 548-559, Sep 2004.

ELLIS, E. C.; WANG, H.; XIAO, H. S.; PENG, K.; LIU, X. P.; LI, S. C.; OUYANG, H.; CHENG, X.; LIN ZHANG YANG, L. Z. Measuring long-term ecological changes in densely populated landscapes using current and historical high resolution imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 100, p. 457-473, Feb 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Características do satélite Landsat**. 2005a. Disponível em: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/satelite/landsat.html>. Acesso em 03 jan. 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS (EMBRAPA). **Tecnologia de produção de soja**. 2005b. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/producaosojaPR/SojanoBrasil.htm>. Acesso em 23 jan. 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Mapa exploratório** - reconhecimento de solos na margem esquerda do Rio São Francisco. Brasília, 1973.

EPIPHANIO, J. C. N. 2005a. **Agência CT**. (Entrevista). Disponível em: <http://agenciact.mct.gov.br/index.php?action=/content/view&cod_objeto=25044>. Acesso em 21 jan. 2006.

EPIPHANIO, J. C. N. CBERS - Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 915-922. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. (INPE-12616-PRE/7909). Disponível em: <http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.19.28> Acesso em 19 jan. 2006.

EPIPHANIO, J. C. N.; LUIZ, A. J. B.; FORMAGGIO, A. R. Estimativa de áreas agrícolas municipais, utilizando sistema de amostragem simples sobre imagens de satélite. **Bragantia**, v. 61, n. 2, p. 187-197, Maio 2002.

EPIPHANIO, J. C. N.; BARROS NETO, O. O.; LUIZ, A. J. B.; FORMAGGIO, A. R. Sistema de amostragem em imagem como base para estimativa de áreas de culturas agrícolas no Município de Ipuã-SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10. (SBSR), 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 59-66. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00016-1. (INPE-8312-PRE/4096). Disponível em: <http://urlib.net/dpi.inpe.br/lise/2001/09.12.16.47> Acesso em 19 jan. 2006.

ESPINOZA, H. F.; ABRAHAM, A.-k. M. Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para o estudo dos recursos hídricos em regiões costeiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2487-2494. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.20.24.27>. Acesso em 23 jan. 2006.

FRANCISCO. **Folha de São Paulo**. 2004. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/fsp14032004.php>. Acesso em 29 jan. 2006.

FROHN, R. C.; HAO, Y. Landscape metric performance in analyzing two decades of deforestation in the Amazon Basin of Rondônia, Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v. 100, p. 237-251, Jan 2006.

GIANNOTTI, M. A. **Geotecnologias na análise de impactos sócio - ambientais**: o caso da queima de cana-de-açúcar na região de Piracicaba. 2001. 147 p. (INPE-9821-TDI/864). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/07.17.08.20>. Acesso em: 06 set. 2012..

GIBSON, P. J.; POWER, C. H. **Introductory remote sensing:** digital image processing and applications. London and New York: Routledge, 2000. 261p.

GÜRTLER, S. **Estimativa de área agrícola a partir de sensoriamento remoto e banco de pixels amostrais**. 2003. 179 p. (INPE-9774-TDI/858). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/06.02.07.29>

GYASI, E.; AGYEPONG, G. T.; ARDAYFIO-SCHANDORF, E.; ENU-KWESI, L.; NABILA, J. S.; OWUSU-BENNOAH, E. Production pressure and environmental change in the forest-savanna zone of Southern Ghana. **Global Environmental Change**, v. 5, p. 355-366, Sep 1995.

HAASE, D.; WALZ, U.; NEUBERT, M.; ROSENBERG, M. Changes to Central European landscapes - Analyzing historical maps to approach current environmental issues, examples from Saxony, Central Germany. **Land Use Policy**, v. 24, p. 248-263, Jan 2007.

HALE, R. C.; HANUSCHAK, G. A.; CRAIG, M. E. Appropriate role of remote sensing in U.S. agricultural statistics. **Seminar on Remote Sensing for Agricultural Statistics. (FAO)**, 1999. Disponível em: <http://www.nass.usda.gov/research/reports/99_04_appropriaterolers_rch.pdf>. Acesso em 29 jan. 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Agropecuária**, 2002. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/pesquisasagropecuarias2002.pdf>. Acesso em 19 jan. 2006

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA–(IBGE). **Estatísticas Municipais.** 2005. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>. Acesso em 19 jan. 2006.

.

JENSEN, J. R. **Remote sensing of the environment:** an earth resources perspective. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2000. 544p.

JOHANSEN, K.; PHINN, S.; DIXON, I.; DOUGLAS, M.; LOWRY, J. Comparison of image and rapid field assessments of riparian zone condition in Australian tropical savannas. **Forest Ecology and Management**, v. 240, p. 42-60, Feb 2007.

JUCÁ, S. C. S.; CARVALHO, P. C. M.; AGUIAR JÚNIOR, J. S. A relevância dos sistemas de informação geográfica no desenvolvimento das energias renováveis. **Ciências e Cognição**, v. 9, p. 131-136, 2006.

KAMUSOKO, C.; ANIYA, M. Land use/cover change and landscape fragmentation analysis in the Bindura District, Zimbabwe. **Land Degradation Development**, v. 18, p. 221-233, Mar 2007.

KRCMAR, E; CORNELIS VAN COTEN, G.; VERTINSKY, I. Managing forest and marginal agricultural land for multiple tradeoffs: compromising on economic, carbon and structural diversity objectives. **Ecological Modelling**, v. 185, p. 451-468, July 2005.

KUPLICH, T. M.; PEREZ, L. P.; VALERIANO, D. M.; SOUSA, R. C. A.; XAVIER, C. S.; MOTTA, M.; GUISARD, D. M. P. Mosaico do desmatamento no Estado do ACRE em 1985. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1577-1584. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. (INPE-12651-PRE/7943). Disponível em: <http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.10.32>.Acesso em 19 jan. 2006.

KUROSU, T.; FUJITA, M.; CHIBA, K., 1997. The identification of rice fields using multi-temporal ERS-1 C band SAR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 14, p. 2953-2965, Sep 1997.

LANDIS, J.; KOCH, G. G. The measurements of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, Mar 1977.

LATHROP, R. G.; TULLOCH, D. L.; HATFIELD, C. Consequences of land use change in the New York–New Jersey Highlands, USA: Landscape indicators of forest and watershed integrity. **Landscape and Urban Planning**, v. 79, p. 150-159, Feb 2007.

LORENA, R. B.; SANTOS, J. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; SANT'ANNA, H. M.; SANT'ANNA, H. S. S.; MENEZES, R. S. Dados multitemporais de sensoriamento remoto para a análise da dinâmica do uso e da cobertura da terra na região do Peixoto (AC). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10. (SBSR), 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 1653-1656. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00016-1. (INPE-8240-PRE/4029). Disponível em: <http://urlib.net/dpi.inpe.br/lise/2001/09.24.10.20>. Acesso em 10 jan. 2006.

LUIZ, A. J. B.; EPIPHANIO, J. C. N. Amostragem por pontos em imagens de sensoriamento remoto para estimativa de área plantada por município. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10. (SBSR), 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 111-118. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00016-1. (INPE-8212-PRE/4001). Disponível em: <http://urlib.net/dpi.inpe.br/lise/2001/09.13.10.55>. Acesso em 20 jan. 2006.

LUNETTA, R. S.; KNIGHT, J. F.; EDIRIWICKREMA, J.; LYON, J. G.; WORTHY, L. D. Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. **Remote Sensing of Environment**, v. 105, p. 142-154, Nov 2006.

MARON, M.; FITZSIMONS, J. A. Agricultural intensification and loss of matrix habitat over 23 years in the West Wimmera, south-eastern Australia. **Biological Conservation**, v.35, p. 587-593, Apr 2007.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images:** an introduction. New York: John Wiley & Sons, 1999. 292p.

MEYER, P. L. **Probabilidade:** aplicações à estatística. Rio de Janeiro: LTC, 1983, 426p.

MORAN, M. S.; HYMER, D. C.; QI, J.; KERR, Y. Comparison of ERS-2 SAR and Landsat TM imagery for monitoring agricultural crop and soil conditions. **Remote Sensing of Environment**, v. 79, p. 243-252, Feb 2002.

MOTTA, J. L. G.; FONTANA, D. C.; WEBER, E. Análise da evolução temporal do NDVI/NOAA em região de soja do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. (SBSR), 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 197-204. CD-ROM, Online. ISBN 85-17-00017-X. Disponível em: <http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.13.13.01>. Acesso em 14 jan. 2007.

NEPSTAD, D.; KLINK, C. A.; UHL, C.; VIEIRA, I. C.; LEFEBEBVRE, P.; PEDLWSKI, M.; MATRICARDI, E.; NEGREIROS, G.; BROWN, I. F.; AMARAL, E.; HOMMA, A.; WALKER, R.. Land use in Amazonia and the Cerrado of Brazil. **Ciência e Cultura**, v. 49, p. 73 – 86, Jul 1997.

OETTER, D. R.; COHEN, W. B.; BERTERRETCHE, M.; MAIERSPERGER, T. K.; KENNEDY, R. E. Land cover mapping in an agricultural setting using multiseasonal Thematic Mapper data. **Remote Sensing of Environment**, v. 76, p.139-155, 2000.

OLSEN, L. M.; DALE, V. H.; FOSTER, T. Landscape patterns as indicators of ecological change at Fort Benning, Georgia, USA. **Landscape and Urban Planning**, v. 79, p. 137-149, Feb 2007.

OUYANG, Y.; MA, J. Classification of multi-spectral remote sensing data using a local transfer function classifier. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 24, p. 5401–5408, Dec 2006.

PAEGELOW, M.; OLMEDO, M. T. C. Possibilities and limits of prospective GIS land cover modeling - a compared case study: Garrotxes (France) and Alta Alpujarra Granadina (Spain). **International Journal of Geographical Information Science**, v. 19, p. 697-722, Jul 2005.

PAX-LENNEY, M.; WOODCOCK, C. E. Monitoring agricultural lands in Egypt with multitemporal Landsat TM imagery: how many images are needed? **Remote Sensing of Environment**, v. 59, p. 222-229, Mar 1997.

PEIXOTO, C. R. A cultura da soja na Bahia: da defesa ao ataque. **Bahia Agrícola**, v.7, n. 1, p. 11-14, Set 2005.

PINO, F. A. Estatísticas agrícolas para o século XXI. **Agricultura em São Paulo**, v. 46, n. 2, p. 71-105, 1999.

PIRES, M. A. P. **Diagnóstico sócio-econômico de assentamentos rurais na região de Ponta Porã e as perspectivas de desenvolvimento local**. 2002. 103p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Local) – Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande. 2002.

PIVELLO, T. R. Manejo de fragmentos de cerrado: princípio para conservação da biodiversidade. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (coords.) **Cerrado:** ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005, p. 407-408.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65p.

RIZZI, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul**. 2004. 214p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: INPE, São José dos Campos. 2004.

ROCCHINI, D.; PERRY, G. L. W.; SALERNO, M.; MACCHERINI, S.; CHIARUCCI, A. Landscape change and the dynamics of open formations in a natural reserve. **Landscape and Urban Planning**, v. 77, p. 167-177, Jun 2006.

SANCHES, I. D'A. **Sensoriamento remoto para o levantamento espectrotemporal e estimativa de área de culturas agrícolas**. 2004. 172p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: INPE, São José dos Campos. 2004.

SANCHES, I. D'A.; EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R. Culturas agrícolas em imagens multitemporais do satélite Landsat. **Agricultura em São Paulo**, v. 52, n. 1, p. 83-96, 2005.

SANTOS, N. A. P.; MAILLARD, P. Uso do sensoriamento remoto e de um sistema de informação geográfica na modelagem da poluição difusa na Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2551-2554. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.20.18.57 >. Acesso em 18 jan. 2006.

SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. Introdução. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (coords.) **Cerrado:** ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005, p. 11-12.

SCHIAVINOTTO, T.; STÜTZLE T. A review of metrics on permutations for search landscape analysis. **Computers and Operations Research**, v. 34, p. 3143-3153, Apr 2007.

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, n. 1, p. 16-20, 1991.

SOARES, D. M. **Áreas agrícolas em sensores com resolução espacial de 30m estimadas a partir de dados originais e simulados MODIS e métricas de paisagem**. 2006. 153 p. (INPE-14448-TDI/1139). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/08.03.14.19>.

SOUSA, **Correio do Estado da Bahia**. 2005. Disponível em: <http://www.correiodabahia.com.br/2001/03/24/noticia.asp?link=not000022261.xml>. Acesso em 19 jan. 2006.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA (SEI). **Informações geoambientais.** 2005. Disponível em: <http://www.sei.ba.gov.br/geoambientais/index_geoamb_carto.php>. Acesso em 18 jan. 2006.

THOMAS, G. V. N.; TIM R. M. Determining temporal windows for crop discrimination with remote sensing: a case study in south-eastern Australia. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 45, p. 91-108, 2004.

TONIAL, T. M. **Dinâmica da paisagem na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul**. 2003. 331p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2003.

TURDUKULOV, U.; KRAAK, M. J. Designing a visual environment for exploration of time series of remote sensing data: in search for convective clouds. In: GEOGRAPHIC INFORMATION SCIENCE INTERNATIONAL CONFERENCE, 4., 2006, Germany. **Anais…** Muenster, Sept 2006. p. 377-380.

USTIN, S. L.; SMITH, M. O.; ADAMS, J. B. Remote sensing of ecological models using spectral mixture analysis. In: EHLERINGER J. R.; FIELD, C. B. (eds.). **Scaling physiological processes**: leaf to globe. Academic Press, 1993. p.339-357.

VAGEN, T. Remote sensing of complex land use change trajectories – a case study from the highlands of Madagascar. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 115, p. 219-228, July 2006.

VALENTE, R. O. A. **Análise da estrutura da paisagem na bacia do Rio Corumbataí, SP**. 2001. 144 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo. 2001.

VALERIANO, M. M. **Estimativa de variáveis topográficas por geoprocessamento para modelagem da perda de solo**. 1999. 172 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 1999.

VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3595-3602. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. (INPE-12739-PRE/8029). Disponível em: <http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/10.29.11.41>. 2012. Acesso em: 19 jan. 2006.

VERBURG, P. H.; VELDKAMP, A. Introduction to the special issue on spatial modeling to explore land use dynamics. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 19, p. 99-102, Feb 2005.

VIEIRA, C. A. O. **Accuracy of remotely sensing classification of agricultural crops:** a comparative study. 2000. 352p. Tese (Degree of Doctor of Philosophy) - University of Nottingham, Nottingham. 2000.

WAYMAN, J. P. **Landsat-TM based forest area estimation using iterative guided spectral class rejection**. 2000. 62 p. Dissertation (Mastership of Science in Forestry) - Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg. 2000.