



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS - PPGCA

Williams Martins Castro

Análise Espacial das Mudanças na Cobertura e Uso da Terra em Santarém e Belterra, Pará, Brasil

Belém
2008

Williams Martins Castro

Análise Espacial das Mudanças na Cobertura e Uso da Terra em Santarém e Belterra, Pará, Brasil

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais, do Instituto de Geociências, pelo convênio entre Universidade Federal do Pará, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi.

Área de Concentração: Ecologia e Uso da Terra

Orientador: Dr. Mateus Batistella

Co-Orientador: Dr. Adriano Venturieri

Belém
2008

Williams Martins Castro

Análise Espacial das Mudanças na Cobertura e Uso da Terra em Santarém e Belterra, Pará, Brasil

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais, do Instituto de Geociências, pelo convênio entre Universidade Federal do Pará, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi.

Área de Concentração: Ecologia e Uso da Terra

Orientador: Dr. Mateus Batistella

Co-Orientador: Dr. Adriano Venturieri

Data de aprovação: ___/___/___

Conceito: _____

Banca Examinadora:

Orientador
Mateus Batistella
Doutor
Indiana University (IU), EUA

Avaliador
Steel Silva Vasconcelos
Doutor
University of Florida (UFL), EUA

Avaliador
Silvio Brienza Júnior
Doutor
George August University of Goettingen, UNI GOETTINGEN, Alemanha

Avaliador
Edna Ramos Castro
Doutor
Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, (EHESS), França

Para Valderi Castro, Janilda Castro e Margaret Francis, pelo apoio e carinho, constantes.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Dr. Mateus Batistella, que mesmo com as dificuldades impostas pela distância conseguiu cumprir sua função de orientador, me encorajando e advertindo quando foi necessário.

Ao co-orientador Dr. Adriano Venturieri, ao qual sou profundamente grato pelo acompanhamento do trabalho e suporte logístico.

Ao Dr. Álvaro D'Antona por suas inúmeras contribuições, essenciais durante a elaboração do desenho experimental deste trabalho.

Agradeço também ao professor Leonardo Sá, um marco em minha história acadêmica, pelos ensinamentos, pela amizade, pelas inúmeras lições de vida, conhecimento, erudição e sobretudo pela dedicação com que conduziu o curso de Ciências Ambientais durante sua gestão.

À Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de Mestrado.

Ao professor Édson Paulino, pelo pioneirismo na coordenação do curso, fundamental para que se tornasse o sucesso que é hoje.

À equipe do Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa, principalmente a Andréa Coelho, Guilherme Campos, Dona Dirce Rosa, Nathália Nascimento e Danielle Campinas. Agradeço também aos demais que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho.

Em Campinas, na Embrapa Monitoramento por Satélite, à geógrafa Nádia Zacharczuck que foi fundamental durante o delineamento experimental do trabalho.

Agradeço à equipe da Embrapa Amazônia Oriental de Santarém, principalmente ao Dr. Olinto Rocha e ao seu Pinheiro que me conduziu às mais remotas áreas agrícolas em Santarém e Belterra.

Agradeço a todos os colegas e professores do Curso de Ciências Ambientais. Se não tivesse ingressado neste curso, não teria vindo à Belém e conseqüentemente não teria conhecido todas as pessoas que hoje compõem meu grupo de amigos.

A esses amigos, principalmente: Josivam Beltrão, Cléo Quaresma, Maria Beatriz Rosa, Silvana Sodré, Carlos Capela, Flérida Moreno, Andressa Parente, Elida Figueiredo, Paulo Marques, Aninha Moreira, Sabrina Forte, Jean Michel entre

outros, todos os momentos prazerosos juntos certamente não cairão jamais no esquecimento.

Aos amigos de Santarém: Eráclito Souza, Michela Figueira, José Mauro, Irene Cibele, Joelma Dezincourt, Jadson Dezincourt, Raimundo Júnior, Risonaldo Leal, Resenildes, Cleilim, Yoko Ishida. A cumplicidade positiva e compromisso com a ciência resistem às escalas de tempo e espaço.

Ao projeto LBA, pela oportunidade de fazer ciência.

E como não poderia deixar de ser, quero agradecer a meus pais, que não estão no meio acadêmico, mas sempre foram convictos de sua importância.

Finalmente, à minha super mulher e companheira Margaret Francis, pelo apoio e amor, sem os quais nada disso seria possível. Sou profundamente grato, sobretudo por hoje você ser parte da minha vida.

“A única forma de descobrir os limites do possível é aventurar-se um pouco além deles, rumo ao impossível”

Arthur C. Clarke

SUMÁRIO

RESUMO
ABSTRACT
LISTA DE FIGURAS
LISTA DE TABELAS
LISTA DE SIGLAS

CAPÍTULO 1

1.1	INTRODUÇÃO	19
1.2	OBJETIVOS	22
1.3	REFERENCIAL TEÓRICO	23
1.3.1	Mudanças na Cobertura e Uso das Terras como Conseqüência dos Processos de Ocupação da Amazônia	23
1.3.2	Mercado Global de Commodities e Novas Frentes de Ocupação na Microrregião de Santarém	27
1.3.3	Ecologia e Análise Espacial de Paisagens	33

CAPÍTULO 2

2.1	MATERIAL	42
2.1.1	Caracterização Geral da Área de Estudo	42
2.1.2	Contexto Histórico e Geográfico da Área de Estudo	43
2.1.3	Clima	45
2.1.4	Geologia e Relevo	46
2.1.5	Hidrografia	46
2.1.6	Vegetação	48
2.1.6.1	Savanas	48
2.1.6.2	Formações Pioneiras Aluviais	49
2.1.6.3	Sistemas de Floresta Tropical Densa	50
2.1.6.4	Floresta Tropical Aberta	51
2.2	MÉTODOS	51

2.2.1	Delimitação das áreas e abordagem multiescalar	51
2.2.2	Sub-região de Santarém	53
2.2.3	Área de Ocupação Consolidada	55
2.2.4	Sub-áreas sob Influência de Eixos Viários	56
2.2.5	Sistematização dos dados e procedimentos de análise utilizados no ZEE da BR 163	60
2.2.5.1	Segmentação	60
2.2.5.2	Classificação não Supervisionada por Regiões	61
2.2.5.3	Definição da Legenda Temática	62
2.2.6	Análise Estatística com Métricas de Paisagem	62
2.2.6.1	Porcentagem de Paisagem (PP)	63
2.2.6.2	Densidade de Manchas (DM)	63
2.2.6.3	Índice de Maior Mancha (IMM)	64
2.2.6.4	Tamanho Médio de Manchas (TMM)	65
2.2.9	Aplicação de Questionários em Campo	66

CAPÍTULO 3

	RESULTADOS	67
3.1	SUB-REGIÃO DE SANTARÉM	67
3.1.1	Porcentagem de Paisagem e Índice de Maior Mancha	67
3.1.2	Tamanho Médio e Densidade das Manchas	68
3.2	ÁREA DE OCUPAÇÃO CONSOLIDADA	69
3.2.1	Porcentagem de Paisagem e Índice de Maior Mancha	69
3.2.2	Tamanho Médio e Densidade das Manchas	70
3.3	SUBÁREAS SOB INFLUÊNCIA DE EIXOS VIÁRIOS	71
3.3.1	Rodovia BR 163 (Santarém-Cuiabá)- Sub-áreas de influência Norte e Sul	71
3.3.1.1	Porcentagem de Paisagem e Índice de Maior Mancha	71
3.3.1.2	Tamanho Médio e Densidade das Manchas	74
3.3.2	Estrada PA 433 (Comunidade Morada Nova-Comunidade Jaboti)	75
3.3.2.1	Porcentagem de Paisagem e Índice de Maior Mancha	75
3.3.2.2	Tamanho Médio e Densidade das Manchas	77

3.3.3	Estrada PA 431 (Santarém-Mojuí dos Campos) e estrada PA 445 (Distrito de Mojuí dos Campos-Comunidade de Igarapé das Pedras)	79
3.3.3.1	Porcentagem de Paisagem e Índice de Maior Mancha	79
3.3.3.2	Tamanho Médio e Densidade das Manchas	81
3.3.4	Rodovia PA 370 (Santarém - Hidrelétrica de Curuá-Una)	83
3.3.4.1	Porcentagem de Paisagem e Índice de Maior Mancha	83
3.3.4.2	Tamanho Médio e Densidade das Manchas	85
3.4	ANÁLISES MULTIESCALARES: DIVERGÊNCIAS QUANTITATIVAS E QUALITATIVAS	87

CAPÍTULO 4

	DISCUSSÃO	91
4.1	SUB-REGIÃO DE SANTARÉM	91
4.2	ÁREA DE OCUPAÇÃO CONSOLIDADA	92
4.3	SUB-ÁREAS SOB INFLUÊNCIA DE EIXOS VIÁRIOS	93
4.3.1	Zona de influência da rodovia BR 163	93
4.3.2	Zona de influência da Estrada PA 433	95
4.3.3	Zona de influência das Estradas PA 431 e 445	96
4.3.4	Zona de influência da rodovia PA 370	97
4.4	MÉTRICAS DE PAISAGEM COMO INDICADORES DE PADRÕES E PROCESSOS ESPACIAIS	98

CAPÍTULO 5

5.1	CONCLUSÕES	100
5.2	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102

RESUMO

Análise Espacial das Mudanças na Cobertura e Uso da Terra em Santarém e Belterra, Pará, Brasil

Através de um estudo de caso, este trabalho testa como a delimitação da área de estudo pode influenciar o resultado de análises multiescalares em processos espaciais de mudanças na cobertura e uso da terra na Amazônia. Partindo dos limites dos municípios de Santarém e Belterra no oeste do Estado do Pará, foram definidos três níveis de análise. O primeiro nível abrange uma região retangular arbitrariamente definida e denominada sub-região de Santarém. O segundo nível, uma parte do primeiro, corresponde a uma área de ocupação consolidada, definida pelo limite do entorno de lotes estabelecidos pelo INCRA na década de 1970. O terceiro nível corresponde às zonas de influência de quatro eixos viários inseridos na área de ocupação consolidada e subdivididos em sub-áreas norte e sul, num total de oito sub-áreas do segundo nível de delimitação. Para cada nível de análise, foram calculadas métricas de paisagem sobre mapeamentos temáticos de cobertura e uso das terras para os anos de 1986, 1997 e 2005, analisados conjuntamente com entrevistas feitas em campo. Os resultados mostram que as peculiaridades da dinâmica de ocupação em cada nível permitem melhor identificar padrões e processos revelados pela estrutura da paisagem. Em particular, nota-se a continuidade da fragmentação da floresta e o avanço da agricultura intensiva em diferentes taxas nas distintas porções da área de estudo. Os resultados obtidos para os três níveis de análise são complementares, possibilitando uma compreensão mais abrangente das mudanças de cobertura e uso da terra e de seus fatores condicionantes.

Termos chaves: análises multiescalares; mudanças de cobertura e uso da terra; métricas de paisagem, Amazônia, Santarém

ABSTRACT

Spatial Analysis of Land-Use and Land-Cover Change in Santarém and Belterra, Pará, Brazil

Through a case study, this work tests how the delimitation of the study area may influence the results of multiscale analyses in spatial processes of land-use and land-cover change in the Amazon. Within the municipal limits of Santarém and Belterra in western Pará State, three levels of analysis were defined. The first level encompasses a rectangular region that was arbitrarily defined as the Santarém sub-region. The second level, which encompasses part of the first level, corresponds to an established agricultural settlement, defined by the set of limits of property lots designed by INCRA in the 1970's. The third level corresponds to the zones of influence of four different roads located within the established agricultural settlement, subdivided into sub areas North and South, comprising a total of eight sub areas within the second level of delimitation. For each level of analysis, landscape metrics were calculated based on land-use and land-cover thematic maps for 1986, 1997, and 2005, also analyzed with basis on field surveys. The results show that the peculiarities of the occupation dynamics in each level allow for a better identification of patterns and processes revealed by the landscape structure. In particular, it is clear there is a continuation of processes of landscape fragmentation and expansion of intensive agriculture at different rates in distinct portions of the study area. The results obtained for the three levels of analysis are complementary, allowing for a better understanding of land-use and land-cover changes as well as their driving forces.

Key words: multiscale analyses, land-use and land-cover change, landscape metrics, Amazon, Santarem

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mercado global de trigo, soja e derivados e outros grãos. Projeções até 2015.	28
Figura 2	China: oferta e demanda de milho, soja e trigo.	29
Figura 3	Evolução da produção de soja nos principais produtores do Pará.	31
Figura 4	Foco de tensão entre pequenos agricultores e sojicultores.	33
Figura 5	Sub-região de Santarém, com destaque para o limite municipal, área de ocupação consolidada e sub-áreas.	54
Figura 6	Área de Ocupação Consolidada.	55
Figura 7	Eixo BR 163. Em (A) é representado a sub-área Norte da BR 163; em (B) a sub-área Sul da mesma rodovia.	56
Figura 8	Eixo PA 433. Em (A) é representado a sub-área Norte da PA 433; em (B) a sub-área Sul da mesma rodovia.	57
Figura 9	Eixo PA 431/445. Em (A) é representado a sub-área Norte da PA 431; em (B) a sub-área Sul da PA 445.	58
Figura 10	Eixo PA 370. Em (A) é representado a sub-área Norte da PA 370; em (B) a sub-área Sul da mesma rodovia.	59
Figura 11	(A) Porcentagem de Paisagem (PP); (B) Índice de Maior Mancha (IMM) para a sub-região de Santarém.	68
Figura 12	(A) Porcentagem de Paisagem (PP); (B) Índice de Maior Mancha (IMM) para a Área de Ocupação Consolidada.	70
Figura 13	(A) Porcentagem de Paisagem (PP); (B) Índice de Maior Mancha (IMM) para a sub-área Norte da BR 163	72
Figura 14	(A) Porcentagem de Paisagem (PP); (B) Índice de Maior Mancha (IMM) para a sub-área Sul da BR 163.	73
Figura 15	(A) Porcentagem de Paisagem (PP); (B) Índice de Maior Mancha (IMM) para a sub-área Norte da PA 433.	76
Figura 16	(A) Porcentagem de Paisagem (PP); (B) Índice de Maior Mancha (IMM) para a sub-área Sul da PA 433.	77
Figura 17	(A) Porcentagem de Paisagem (PP); (B) Índice de Maior Mancha (IMM) para a sub-área Norte da PA 431/445.	80

Figura 18	(A) Porcentagem de Paisagem (PP); (B) Índice de Maior Mancha (IMM) para a sub-área Sul da PA 431/445.	81
Figura 19	(A) Porcentagem de Paisagem (PP); (B) Índice de Maior Mancha (IMM) para a sub-área Norte da PA 370.	84
Figura 20	(A) Porcentagem de Paisagem (PP); (B) Índice de Maior Mancha (IMM) para a sub-área Sul da PA 370.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Agricultura de Grãos na microrregião de Santarém.	31
Tabela 2	Área total de cada nível de análise (ha).	53
Tabela 3	Métricas de paisagem utilizadas para a análise comparativa entre os três níveis de análise.	65
Tabela 4	Tamanho Médio das Manchas (TMM) (ha) e Densidade de Manchas (DM) para a Sub-região de Santarém.	69
Tabela 5	Tamanho Médio das Manchas (TMM) (ha) e Densidade de Manchas (DM) para a Área de Ocupação Consolidada.	71
Tabela 6	Tamanho Médio das Manchas (ha) para a área de influência da BR 163 (Santarém-Cuiabá).	74
Tabela 7	Densidade de Manchas para a área de influências da área de influência da BR 163 (Santarém-Cuiabá).	75
Tabela 8	Densidade de Manchas para a área de influência da PA 433 (Cmde. Morada Nova-Cmde. Jaboti).	78
Tabela 9	Tamanho Médio das Manchas (ha) para a área de influência da PA 433 (Cmde. Morada Nova- Cmde. Jaboti).	78
Tabela 10	Tamanho Médio das Manchas (ha) para a área de influência da PA 431 e 445 (Santarém-Mojuí dos Campos- Cmde. Igarapé das Pedras).	82
Tabela 11	Densidade de Manchas para a área de influência da PA 431 e 445 (Santarém-Mojuí dos Campos- Cmde Igarapé das Pedras).	82
Tabela 12	Densidade de Manchas para a área de influência da PA 370 (Santarém - Curuá-Una).	86
Tabela 13	Tamanho Médio das Manchas (ha) para a área de influência da PA 370 (Santarém - Curuá-Una).	86
Tabela 14	Conversão de Floresta observada no período de 1986 a 2005.	87
Tabela 15	Conversão para Capoeira observada no período de 1986 a 2005.	88
Tabela 16	Conversão de Pastagem observada no período de 1986 a 2005.	89
Tabela 17	Conversão de Agropecuária observada no período de 1986 a 2005.	90

LISTA DE SIGLAS

CPATU	Centro de Pesquisas Agropecuárias do Trópico Úmido
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CPT	Comissão Pastoral da Terra
DM	Densidade de Manchas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
ESRI	Environmental Systems Research Institute (Instituto de Pesquisas em Sistemas Ambientais)
FAO	Food and Agriculture Organization (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação)
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMM	Índice de Maior Mancha
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LANDSAT	Satélite de Monitoramento da Terra
LBA	Large Scale Biosphere Atmosphere Experiment in Amazonia (Projeto de Grande Escala de Biosfera e Atmosfera na Amazônia)
LEGAL	Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico
PAs	Projetos de Assentamento
PAM	Produção Agrícola Municipal
PAF	Projeto de Assentamento Florestal
PDS	Projeto de Desenvolvimento Sustentável
PIB	Produto Interno Bruto
PIN	Plano de Integração Nacional
PRODES	Monitoramento Sistemático do Desflorestamento da Amazônia
PP	Porcentagem da Paisagem
PRIMAZ	Programa de Integração Mineral em Municípios da Amazônia
RADAM	Projeto “Radar na Amazônia”

SIGs	Sistemas de Informações Geográficas
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas
SIRSAN	Sindicato dos Produtores Rurais de Santarém
TM	Thematic Mapper (Sensor de Mapeamento Temático)
TMM	Tamanho Médio de Manchas
UFPA	Universidade Federal do Pará
USDA	United States Department of Agriculture
ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

A bacia Amazônica detém a maior extensão contínua de floresta tropical do planeta com cerca de 6,9 milhões de km² (IBGE, 2008; Goulding et al., 2003). Abriga aproximadamente 1/3 das espécies animais e vegetais de que se tem conhecimento no mundo (Laurance et al., 2001). No Brasil, a floresta amazônica cobre aproximadamente 3,3 milhões de km² (IPAM, 2007). Estima-se que sua contribuição para retirada de carbono da atmosfera seja entre 0,3 a 9 toneladas por ano por hectare de floresta não perturbada (Phillips et al., 1998; Nobre & Nobre, 2002). Embora o serviço ambiental de retirada de gases do efeito estufa da atmosfera ainda não esteja completamente esclarecido, é consenso entre a comunidade científica que existem mudanças no clima em escala regional e global diretamente relacionadas às mudanças de cobertura da terra na Amazônia (Artaxo et al., 1998, 2002; Nobre et al., 2001; Oyama & Nobre, 2003; Marengo, 2004; Batistella & Moran, 2005; Silva Dias, 2005).

As mudanças de uso e cobertura da terra na Amazônia têm se tornado temas centrais em ciências da Terra (Lambin et al., 2001; Moran, 2006; Batistella & Moran, 2007). Desmatamentos e queimadas estão associados principalmente a atividades agropecuárias (Faminow, 1997; Fearnside, 2000; Castro et al., 2002; Margulis, 2003). Ao longo dos anos, sobretudo a partir das duas últimas décadas, os desmatamentos vêm determinando profundas transformações na cobertura original de muitas áreas na Amazônia e seriam responsáveis por cerca de 3% das emissões globais ou 200 milhões de toneladas do carbono emitido para a atmosfera anualmente (Houghton et al., 2000). De acordo com INPE (2008), até julho de 2007 o saldo acumulado do desmatamento totalizou 653.908 km² ou cerca de 16% da área de cobertura vegetal original. Mesmo assim, 40% da floresta remanescente pode desaparecer até 2050 se o ritmo atual de avanço da fronteira agrícola for mantido (Soares-Filho et al., 2006).

A abertura de novas fronteiras, a pavimentação de rodovias como a BR 163 e os processos de urbanização favorecem o surgimento de novas dinâmicas de ocupação

do território e podem ter conseqüências sem precedentes na estrutura da paisagem caso ações de ordenamento territorial não sejam bem sucedidas (Carvalho, 1999; Fearnside, 2000, 2003; Alencar, 2004; Soares-Filho et al., 2005).

Neste contexto os Zoneamentos Ecológicos e Econômicos (ZEEs) são importantes ferramentas para subsidiar a execução de ações de ordenamento espacial, monitoramento e gestão ambiental, assim como fomento de atividades produtivas sustentáveis (Brasil, 2005). Com esta perspectiva, a etapa de diagnóstico do projeto de Zoneamento Ecológico e Econômico da área de influência da rodovia BR 163, iniciada em 2005 e concluída em 2007, revelou importantes indicadores da estrutura socioeconômica, biodiversidade, uso da terra entre outros, até então pouco conhecidos pela sociedade (Venturieri, 2007).

Inseridos nesta área de influência, os municípios de Santarém e Belterra, a partir do final da década de 1990 e início dos anos 2000, vêm experimentando a transformação de um sistema produtivo outrora baseado na agricultura familiar tradicional para agricultura mecanizada de larga escala. Uma nova fronteira agrícola se estabeleceu na região, impulsionada pelas condições favoráveis de clima, topografia e baixo custo da terra e, desde então, tem atraído um número crescente de agricultores de grãos de diversas regiões do país. A situação geográfica estratégica associada à demanda do produto viabilizou a implantação do terminal para exportação de grãos no porto de Santarém, consolidando a agricultura de exportação e desencadeando uma crescente demanda por terras. Pastagens degradadas e parcelas pertencentes a comunidades rurais dedicadas tradicionalmente à agricultura familiar estão sendo compradas e convertidas em áreas de monocultura intensiva do sistema agrícola empresarial, capitaneado pela sojicultura. As transformações no sistema de produção introduzem um novo paradigma a partir dos confrontos entre conhecimentos tradicionais de gestão de recursos naturais com o sistema mecanizado intensivo de monoculturas (Brondízio, 2006).

O debate local sobre a viabilidade da agricultura intensiva e seus impactos sócio-ambientais na região abriu precedentes para discussões em escala regional sobre os arranjos produtivos mais adequados ao desenvolvimento no âmbito da proposta de uma Amazônia sustentável. Paralelamente, a demanda dos mercados externos cresce,

assim como surgem preocupações globais com a perda de serviços ambientais da floresta e de meios de vida para as populações locais (Ros-Tonen, 2007, 2008).

Com foco na dinâmica de ocupação nos municípios de Santarém e Belterra, este trabalho explora o processo de transformação estrutural de paisagens procurando contemplar os seguintes questionamentos: a atividade agrícola intensiva de cultivo de grãos tem gerado desflorestamento na região? Esta atividade está aproveitando o passivo ambiental gerado ao longo dos anos por atividades produtivas como pecuária, entre outras? No contexto geral da paisagem, qual a distribuição e abrangência da agricultura intensiva em escala local? E de que forma o uso da terra na região tem modificado a estrutura da paisagem? Respostas a essas indagações podem contribuir para ações futuras de planejamento e formulação de estratégias de ordenamento territorial que deverão ser implantadas no Zoneamento Ecológico e Econômico da BR 163.

1.2 OBJETIVOS:

1.2.1 Objetivo Geral:

- Avaliar a dinâmica espacial e multitemporal de paisagens em Santarém e Belterra, abordando as mudanças na cobertura e uso da terra e considerando três diferentes níveis de análise.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Descrever a evolução temporal da estrutura da paisagem através do uso de métricas de paisagem;
- Analisar o papel da agricultura intensiva e outras formas de uso da terra na mudança da estrutura da paisagem.
- Identificar os processos de uso da terra que regem a dinâmica de fragmentação da floresta em uma série temporal.
- Avaliar como diferenças na escala de análise podem influenciar a percepção sobre os padrões e processos de cobertura e uso da terra.

1.3 REFERENCIAL TEÓRICO

1.3.1 Mudanças na Cobertura e Uso das Terras como Conseqüência dos Processos de Ocupação da Amazônia

A trajetória de ocupação da Amazônia brasileira foi marcada por pelo menos três grandes períodos. Os dois primeiros incluem a formação territorial da Amazônia (1616-1930) e o planejamento regional e federalização do território (1930-1985) (Puty, 2007). Becker (2001) considera que a partir do final do século XX e início do século XXI a Amazônia entrou num período denominado de uma nova fronteira experimental de gestão compartilhada e negociada do território. A conversão de cobertura florestal foi mais evidente a partir do início da década de 1970, embora até 1975 o desmatamento na Amazônia ainda fosse inexpressivo (Moran, 1993; McCracken et al., 1999). As grandes obras de infra-estrutura, implantadas sob efeito dos planos de integração nacional, potencializaram o desmatamento nas regiões “beneficiadas”, pois estimularam a migração para a região (Browder & Godfrey, 1997).

O índice médio de desmatamento anual em uma década (de 1978 a 1988) foi estimado em 21.130 Km² (INPE, 2008). Daquela época aos dias atuais, muitos esforços têm sido direcionados para quantificar o avanço do desmatamento (Malingreau & Tucker 1988, Skole & Tucker 1993, Lu et al., 2004; Foody, 2002; Alves, 2001; Soares-Filho et al., 2004; Tucker & Townshend, 2000; Souza Jr. et al., 2003). Dados governamentais mostram que desde 2004 as taxas anuais de desflorestamento têm caído; entre 2006 e 2007 foram derrubados 11.224 km² de floresta - 20% a menos do que no período 2005-2006. A redução acumulada do desmatamento até agosto de 2007 é de 59% (INPE/PRODES, 2008). Ainda que os sistemas de monitoramento desenvolvidos pelo INPE sejam reconhecidos internacionalmente pela acurácia (Kintisch, 2007), devido à metodologia aplicada, muitos autores indicam que as estimativas geradas pelo INPE subestimam o desmatamento, podendo este ser duas vezes maior que o divulgado oficialmente (Asner et al. 2002; Souza Jr. et al., 2003; Fearnside, 2003; Powell et al., 2004; Nepstad, et al., 2007).

Atualmente há uma grande variedade de formas de uso das terras amazônicas e, invariavelmente, desde atividades agrícolas intensivas à pequena

propriedade familiar, todas exercem um determinado tipo de pressão sobre a cobertura vegetal original. Quantificar as relações de responsabilidade quanto ao desmatamento promovido pela ocupação por cada atividade ainda é um desafio e muitas pesquisas têm direcionado esforços neste sentido (McCracken et al. 1999; Walker et al., 2000; Batistella et al., 2003; D'Antona et al., 2006). Em todos os casos, elas consideram as populações humanas amazônicas em relação ao ecossistema em que vivem, uma nova perspectiva introduzida pela ecologia humana na Amazônia.

Para Lambin et al. (2001), os desflorestamentos recentes nas florestas tropicais têm causas que vão além da pobreza e do crescimento populacional. Os eventos de degradação ambiental nestes biomas são consequência da influência de forças externas relacionadas a um cenário de oportunidade econômica potencializadoras de mercados e políticas internas. A ocupação da floresta tropical amazônica foi marcada por estratégias mal planejadas de ocupação do espaço que, principalmente, a partir da segunda metade do século XX, vêm tentando desenvolvê-la e integrá-la ao resto do país por meio de políticas de desenvolvimento e incentivo a atividades produtivas (Fearnside, 2000, 2003; Castro, 2003; Brondízio, 2005).

Os pequenos produtores são importantes atores nessas frentes de ocupação, principalmente em áreas de assentamentos e projetos de colonização. A agricultura familiar na Amazônia é formada pelos pequenos produtores rurais vindos de outras regiões do país ou mesmo por populações tradicionais de origem indígena ou cabocla (Hurtienne & da Silva, 2007). Em Santarém, a agricultura familiar é caracterizada por culturas anuais, sistemas produtivos com longos ciclos de corte e queima, pouca estabilidade rural e variabilidade de culturas (Scatena, 1996). Dependendo do grupo em questão, o sistema produtivo e seus impactos ambientais podem ser diferenciados (Fearnside, 1993, 2003; Fudemma & Brondízio, 2006). O grupo formado pelas populações tradicionais, geralmente tem conhecimento especializado do meio em que vivem, resultando em relativa sustentabilidade no uso da terra quando comparado com o modelo utilizado pelo grupo representado por imigrantes (Walker et al., 1994). Porém, a conversão de floresta está diretamente associada a forças motrizes que dependem do próprio pequeno produtor familiar e de fatores econômicos exógenos. Em outras palavras, pressão da agricultura familiar sobre a cobertura florestal pode ser maior

quando a ela é destinada uma área maior de terras, de força de trabalho e troca de sistema produtivo, principalmente quando o novo sistema é a pecuária (Walker et al., 1994, Walker & Homma, 1996). Na Amazônia, grande parte dos estabelecimentos familiares foi constituída a partir da década de 1970 após incentivos governamentais para aquisição de terras e obtenção de crédito (Fearnside, 1993; Walker et al., 1994; Walker et al., 2000), variando na época entre 50 a 200 ha. Até 2002, havia cerca de 528.571 famílias de pequenos produtores rurais (Barreto et al., 2005).

A produção familiar é destinada em sua maior parte para os mercados locais, embora em culturas como a pimenta do reino, a produção seja destinada para exportação. A relação com os mercados locais é mais evidente durante os estágios iniciais do surgimento de uma nova fronteira, quando o abastecimento de produtos é quase que inteiramente feito pela atividade agrícola familiar (Walker, 1994). Numa segunda etapa, com a consolidação de grandes sistemas produtivos como pecuária e agricultura mecanizada, grande parte dos colonos são expulsos ou marginalizados tendo suas terras compradas e convertidas para o sistema produtivo capitalizado. Embora muitos autores generalizem a ocorrência desta dinâmica na Amazônia, outros consideram que, particularmente na região da Transamazônica, parte das pequenas propriedades familiares se consolidaram, tornando-se maiores, mais estáveis e mais eficientes (Walker, et al., 2000; Homma, 1998). Resultados do censo agropecuário (IBGE, 1996) mostram que as terras utilizadas pela agricultura familiar no estado do Pará atingiram um valor de produção por hectare maior do que aquelas utilizadas em sistemas produtivos maiores ou agricultura patronal. Em toda Região Norte os estabelecimentos familiares são mais numerosos que os sistemas patronais, representando 93%, enquanto os patronais 7% (Costa, 2007). Embora a área dos estabelecimentos patronais represente cerca de 67% das terras apropriadas, o valor bruto de sua produção na região representa apenas 35% do total produzido. Em contrapartida, as terras apropriadas para o uso familiar, que representam 33% na região, produziram no ano do Censo Agropecuário de 1996, 65% do valor bruto total da produção na região (Costa, 2007).

A relação do sistema produtivo com o desmatamento também varia. Para Fearnside (1993), os estabelecimentos de até 100 hectares entre 1990 e 1991

apresentaram taxa de desmatamento anual de 0,58 e 0,45 hectares enquanto as propriedades acima 1000 hectares exibiram uma taxa de 18 a 29 hectares. Com isso, a participação estimada no desmatamento total foi de 30,5% para as propriedades familiares, 36,5% para fazendas médias e 33% para grandes empresas, acima de 1000 hectares. Porém a intensidade do desmatamento (desmatamento ponderado pela área total da propriedade) declina na medida em que o tamanho e a idade da propriedade aumentam (Costa, 2005; Hurtienne & da Silva, 2007), indicando que o desmatamento aumentaria se as áreas ocupadas pelas grandes fazendas fossem redistribuídas como pequenas propriedades (Fearnside, 1993). Até 2002, cerca de 5% do território da Amazônia foi destinado pelo governo federal para reforma agrária. Aproximadamente metade dessas áreas eram cobertas por florestas (Barreto et al., 2005). Estima-se que o assentamento de contingentes populacionais em áreas de floresta já seja responsável por aproximadamente 98.086 km², ou 15% de todo desmatamento registrado na Amazônia até hoje (Brandão Jr. et al., 2007).

Somente no ano de 2006 foram criados 97 novos projetos de assentamento na região de Santarém, entre os quais os projetos de desenvolvimento sustentável (PDS) e projetos de assentamentos florestais (PAFs). Estes cobrem uma área de cerca de 2,2 milhões de hectares e foram destinados à alocação de 33.700 famílias. Em agosto de 2007 todos os projetos de assentamento na região de Santarém foram cancelados por determinação judicial devido a irregularidades nas propostas e por beneficiarem diretamente a atividade madeireira irregular.

1.3.2 Mercado Global de Commodities e Novas Frentes de Ocupação na Microrregião de Santarém

Nos últimos anos, o mercado mundial de *commodities*, como o de carne bovina e soja, tem determinado grandes mudanças nas paisagens amazônicas (Becker, 2005; Fearnside, 2005; Morton, 2006; Costa, 2007). A expansão desses mercados, entre outros fatores, intensificou-se a partir dos anos 2000 com o surgimento na Europa da Encefalopatia Espongiforme Transmissível (TSE) ou mal da vaca louca; e pelo crescimento econômico de países emergentes como a China (Nepstad, 2006). A rentabilidade da atividade agropecuária, capitaneada pela crescente demanda pelos mercados europeus e, principalmente, asiáticos, impulsionou o deslocamento da atividade agropecuária do sul do Brasil para áreas de fronteira na Amazônia. A facilidade de obtenção de terras, assim como seu baixo preço na Amazônia, contribuíram ainda mais para a expansão da atividade para novas fronteiras do norte do país. Esses fatores em conjunto têm determinado o avanço da agricultura e da pecuária na região. O sucesso econômico da agropecuária e da agroindústria em 2007 gerou um crescimento de quase 8% da atividade no Brasil e participação no PIB nacional de 23,07% (CEPEA-USP, 2007).

Acredita-se que a expansão agropecuária na Amazônia é produto de uma política nacional de desenvolvimento, pois quanto maior o capital gerado pelo sistema produtivo, maiores são os investimentos no setor. Muito embora os investimentos na região em infra-estrutura sejam uma necessidade evidente, paralelamente tem-se observado que o desmatamento tem crescido juntamente com o agronegócio (Fearnside, 2003; Walker, 2002; Nepstad, 2006; Soares-Filho, 2006; Arima, et al., 2005). Esta é uma tendência continuamente observada, muito embora o crescimento da agropecuária na Amazônia, sobretudo para a exportação de grãos, esteja mais condicionado ao mercado internacional que à própria política econômica interna do país. Entre 2002 e 2004, anos em que houve recordes nas exportações de carne e grãos, ocorreram altas taxas de desmatamento (Nepstad et al., 2006), que contribuíram para chegada ao patamar de 65 milhões de hectares de florestas convertidas pelas

atividades agropecuárias (IPAM, 2007). Entre os fatores macroeconômicos que motivam a atividade no Brasil, o alto valor comercial das *commodities* é o principal, mesmo com a valorização progressiva da moeda brasileira frente às moedas externas, pois a demanda é crescente. O crescimento do mercado global de algumas *commodities* pode ser verificado na Figura 1.

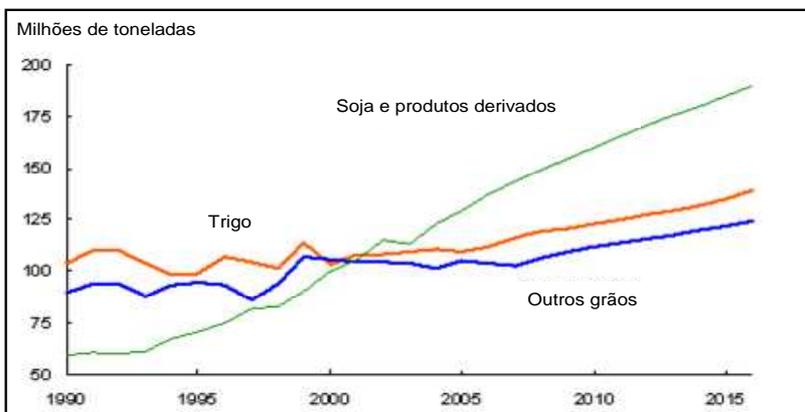


Figura 1: Mercado global de trigo, soja e derivados e outros grãos. Projeções até 2015.

Fonte: USDA Pesquisas Econômicas, 2007

Mais recentemente, a introdução dos biocombustíveis na agenda econômica dos produtos de exportação brasileiros tem preocupado a comunidade científica, sobretudo pelo risco que oferecem à conservação no cenário atual, marcado pela ineficiência ou mesmo ausência das agências de controle e fiscalização do meio ambiente. Somando-se a isso, as altas taxas de crescimento anual de mercados emergentes como China e Índia são indicadores de maiores demandas externas. Na China, a demanda por produtos agrícolas, especialmente soja, milho e arroz já superou o consumo, desde o início dos anos 2000 (Figura 2). Somente em 2005, cerca de 32% de toda produção agrícola de soja no Brasil foi destinada para aquele país (Brasil, 2008).

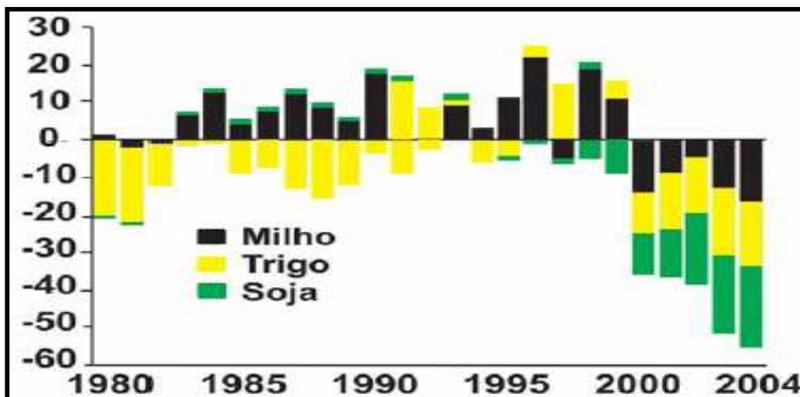


Figura 2: China: oferta e demanda de milho, soja e trigo.
Fonte: USDA, World Agricultural Outlook, 2007.

Inserida neste contexto, a atividade agrícola empresarial baseada em monoculturas no Estado do Pará pode ser considerado um exemplo destas forças externas. Os últimos censos agrícolas realizados na região norte (IBGE, 2007) mostram um crescimento superior a 30% de 2003 a 2004¹ no plantio de culturas temporárias (soja, arroz, milho etc.). As regiões de fronteira já consolidada, como é o caso das microrregiões de Paragominas e, principalmente, de Santarém, são as mais representativas deste crescimento.

Ainda que a preocupação ambiental na Amazônia faça parte da agenda das três esferas governamentais, Federal, Estadual e Municipal, os mais recentes modelos de mudanças na cobertura e uso das terras prevêem desmatamento de até 50% da área da floresta Amazônica até 2050 caso o cenário atual de ocupação e uso permaneça inalterado (Soares-Filho, 2006). Isso ocorre porque as atividades agropecuárias na Amazônia ainda são mais vantajosas, do ponto de vista econômico, que a conservação da floresta. As estratégias de conservação, portanto, precisam ser tão lucrativas quanto a atividade agropecuária. Infelizmente os serviços ambientais gerados pela floresta em pé ainda não são contemplados em acordos internacionais, mas muitos esforços estão sendo feitos atualmente para que as florestas inalteradas sejam incluídas como parte dos mecanismos de desenvolvimento limpo (MDLs) (Santilli

¹Segundo o IBGE, até o ano 2000 o Estado do Pará representava em torno de 3% do total da área plantada de soja entre os Estados da Amazônia Legal. Em 2003, chegou a 7% e, em 2004, 10%.

et al., 2005). Enquanto isso não acontece, mesmo havendo controle na distribuição de terras e fiscalização, se a atividade agropecuária se mantiver mais rentável que a floresta em pé, os desmatamentos persistirão.

A atividade agrícola empresarial baseada em monoculturas na região de Santarém foi indiretamente incentivada a partir de 1995 com o programa Avança Brasil do governo Federal, no qual estava prevista a pavimentação da rodovia BR 163. Na mesma época, o governo estadual contratou consultorias com a finalidade de estudar o potencial agrícola empresarial do Estado. Concluiu-se que áreas como as da região de Santarém eram propícias para a inserção da agricultura mecanizada de larga escala. Em 1997, o município de Santarém lançou um projeto piloto para viabilizar o repasse de verbas objetivando a criação da infra-estrutura necessária para implementação da atividade no município. Entre 1997 e 1998, a Embrapa, em conjunto com o governo municipal, deram início a ações que visavam atrair agricultores do Mato Grosso para região. No mesmo período a Cargill, uma das maiores multinacionais do setor de agronegócios, anunciou o projeto de construção do porto graneleiro para exportação de soja em Santarém. De 1998 a 2000, as propriedades agrícolas de cultivo de grãos surgiram a partir da compra de pequenas propriedades rurais familiares. Neste período, um hectare de terra valia menos de R\$ 1.000,00. Em 2000, a Cargill iniciou a construção do terminal graneleiro. Em 2003, quando o terminal graneleiro foi inaugurado, havia cerca de 200 propriedades de agricultura mecanizada estabelecidas na região; o preço do hectare de terra então dobrou. Devido principalmente à entrada da Cargill, considera-se que a consolidação da atividade agrícola mecanizada em Santarém foi regida por duas etapas: a primeira etapa com início em 1997, após incentivos locais e a segunda a partir de 2003 com a abertura do terminal graneleiro de exportação (Steward, 2004). Atualmente o município de Santarém ocupa a primeira posição entre os principais municípios produtores de soja no Pará (Figura 3).

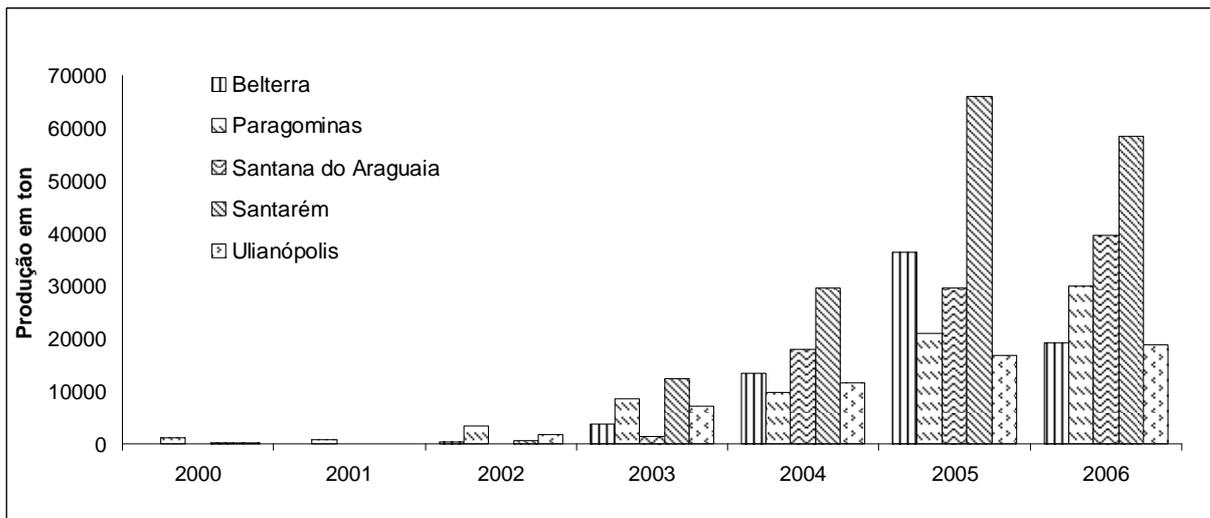


Figura 3: Evolução da produção de soja nos principais produtores do Pará.
Fonte: IBGE/PAM, 2007

Embora os municípios de Santarém e Belterra juntos respondam por mais da metade da produção de grãos do Pará, atualmente nota-se uma tendência de queda na produção destes municípios (tabela 1). A produção máxima obtida em Santarém ocorreu em 2004, um ano depois do início do funcionamento do terminal graneleiro. A queda na produção provavelmente ocorreu devido ao excesso de chuvas em 2006 e principalmente pela redução no valor do arroz e da soja ocorrida entre 2004 e 2006. A produção nos dois municípios neste período caiu cerca de 30%.

Tabela 1: Agricultura de grãos na microrregião de Santarém.

	1998	2000	2002	2003	2004	2005	2006
Área Colhida	32.670	45.440	73.257	129.430	140.035	130.835	110.540
Área Plantada	34.175	58.105	73.257	129.434	140.035	130.835	110.540
Quantidade Produzida	50.926	71.077	163.269	366.527	387.306	354.813	271.903

Obs: Área colhida e plantada em hectares; quantidade produzida em toneladas.
Fonte: PAM/IBGE, 2007

A partir da segunda etapa de introdução da agricultura de grãos, iniciada em 2003, as áreas preferidas para a agricultura mecanizada foram áreas devolutas situadas ao leste de Santarém, as glebas Pacoval e Corta-Corda e ao sul pelo projeto de assentamento do Mojú I e II. Nestas áreas ainda restava um remanescente de floresta primária e, contrariando a teoria de obstrução atribuída à floresta em relação a expansão do cultivo, segundo Puty (2007), os lotes lá estabelecidos atingiram os maiores valores médios (até R\$ 3.000,00 um hectare), também correspondendo aos maiores lotes demarcados na região (acima de 2.500 hectares). A especulação fundiária nessas áreas desencadeou o êxodo rural de dezenas de famílias para Santarém, ou mesmo a migração para outras frentes de ocupação de terras devolutas como as do projeto de assentamento Corta-Corda (Steward, 2004; Puty, 2007). A migração para outras áreas agravou a disputa por terras devolutas entre o contingente de famílias sem terras e sojicultores. De acordo com a Comissão Pastoral da Terra (CPT), os pequenos agricultores expropriados de suas terras tendem a migrar para os PAs de Corta-Corda, Moju I, II e III além de Ituqui, (figura 4).

A introdução de novos atores na região ligados à mecanização agrícola acarretou uma série de dinâmicas de movimentação populacional característica de uma nova fronteira. Essa dinâmica desencadeou a abertura de novas frentes de ocupação e apropriação de terras públicas, marcadas pela grilagem e pela violência com a qual se procederam (Puty, 2007).

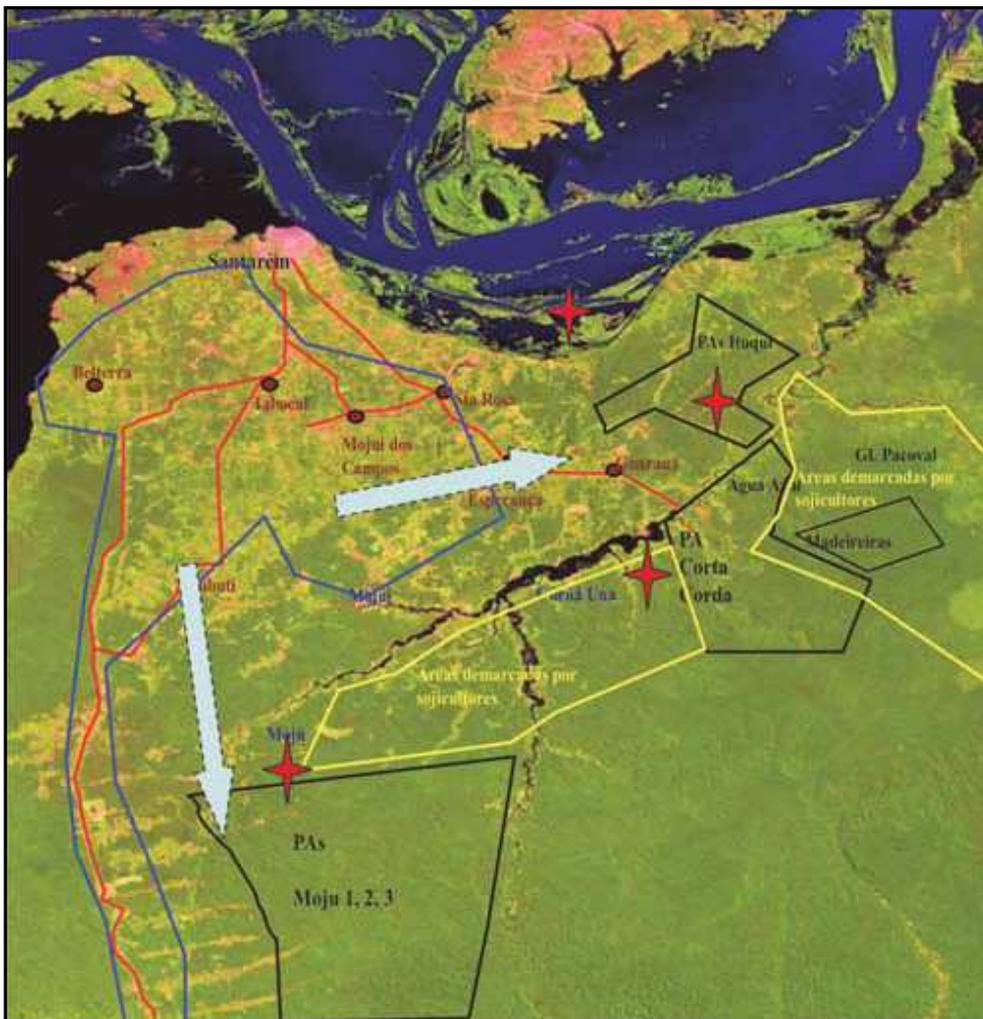


Figura 4: Foco de tensão entre pequenos agricultores e sojicultores.

Fonte: Comissão Pastoral da Terra (CPT), *apud* Puty, (2007).

Obs: As estrelas representam conflitos fundiários. As setas indicam a movimentação migratória de pequenos produtores expropriados.

1.3.3 Ecologia e Análise Espacial de Paisagens

As mudanças no uso e cobertura de terras na Amazônia tiveram sua relevância reconhecida e problematizada a partir do final da década de 1970, com o advento de novas metodologias de mensuração e da preocupação com as mudanças ambientais globais que já estavam em curso.

O advento dos sensores remotos orbitais, sub-orbitais e seus produtos, permitiu caracterizar e analisar paisagens em escala regional, também em biomas tropicais (Moran et al., 1994; Moran e Brondizio, 1998), tornando-se, dessa forma, uma importante ferramenta para documentar mudanças de uso e cobertura das terras nas paisagens amazônicas (Moran et al., 1994, Soares-Filho et al. 2004; Lu et al., 2004; Lu et al., 2005). VanWey et al. (2005) atribuem à cobertura da paisagem elementos naturais, como vegetação, e aglomerados urbanos com infra-estrutura como ruas, rede de distribuição de água etc. O uso implica relação entre elementos da cobertura e sua importância, sobretudo econômica, para as populações e instituições que nele exerçam atividades de geração de renda (Lambin et al., 2003).

Grande parte dos estudos desenvolvidos até o momento relacionados às mudanças de cobertura e uso da terra, é amplamente fundamentadas nos produtos de sensores ópticos como o sensor TM do satélite Landsat. Desde seu lançamento na década de 1970, o Landsat tem possibilitado tais estudos. No entanto, algumas limitações, como as relacionadas à resolução espacial e a aspectos inerentes à tecnologia dos sensores utilizados, como os comprimentos de onda específicos, ainda são algumas dificuldades a serem superadas. A resolução espacial de 30m x 30m é insuficiente para cobrir áreas onde as mudanças ocorrem numa superfície menor que 900m², área suficiente para desenvolvimento de pequenas roças e casas em sistemas produtivos familiares. Por outro lado, as seis distintas bandas usadas para diferenciar tipos de vegetação e usos da terra, com valores similares de reflectância para feições diferentes (por exemplo, distintas formações vegetais com altura e densidade similares), podem confundir a classificação dos *pixels* (D'Antona et al., 2006). Somam-se a estes fatores as dificuldades em classificar vários níveis temáticos em séries temporais, comuns em estudos de mudanças na paisagem. Em regiões de clima tropical como na Amazônia, muito raramente dispõem-se de imagens livres de cobertura de nuvens na data ideal para se fazer estudos de mudanças de grandes áreas (Moreira, 2005). Esta dificuldade é maximizada quando se trata de uma série temporal muito longa. Porém, ainda que a tecnologia dos satélites de média resolução seja um fator limitante no mapeamento das mudanças de cobertura e uso da terra na Amazônia, as maiores dificuldades residem na alta complexidade com que se apresentam. A geometria de

copa, os diversos estágios de sucessão secundária e similaridades na resposta espectral entre diferentes tipos de uso tornam-se o principal desafio para a utilização de produtos de sensoriamento remoto na Amazônia (McCracken et al., 2002; Moran et al., 2002)

A ecologia de paisagens é considerada uma ciência recente e desenvolveu suas bases teóricas sob a perspectiva da geografia e da ecologia. O termo ecologia de paisagens foi empregado pela primeira vez em 1939 pelo biogeógrafo alemão Carl Troll que, em conjunto com geógrafos da Europa Oriental, criaram a perspectiva geográfica da ecologia de paisagens (Metzger, 2001). A abordagem geográfica estuda a influência do homem sobre a paisagem, enfocando a gestão do território (planejamento e ocupação) em escalas de tempo e espaço. Por isso, as paisagens já modificadas pelo homem passam a ser sua principal fonte de estudo.

A perspectiva ecológica é mais recente, surgindo na década de 1980 num workshop realizado no Estado norte americano de Illinois. Foi fortemente influenciada por biogeógrafos e ecólogos que estudavam como aplicar a teoria de biogeografia de ilhas para planejamento de reservas naturais em continentes. Na perspectiva ecológica, a paisagem é definida como uma “área heterogênea composta por conjuntos de ecossistemas que interagem” (Forman e Godron, 1986; Urban et al. 1987; Turner, 1989). A escola americana também sofreu forte influência dos produtos de sensoriamento remoto por satélite que surgiram nas décadas de 1970-80 e, a partir de então, muitas metodologias de mensuração foram desenvolvidas para quantificar as implicações ecológicas decorrentes da estrutura da paisagem (Turner e Gardner, 1991; Riitters et al., 1995; McGarigal e Marks, 1995; Gustafson, 1998; Dauber et al., 2003; Yoshida & Tanaka, 2005).

A abordagem nas interações entre o homem e ambiente fizeram com que a ecologia de paisagem passasse a ser considerada uma vertente das ciências ecológicas humanas (Naveh, 1982), pois deixou de ser um ponto de vista na ecologia e se consolidou como ciência. Devido à versatilidade com que aborda o ambiente, as dimensões humanas e biológicas são temas essenciais no âmbito da ecologia de paisagens. Quantificar as mudanças provocadas pelo homem na estrutura da paisagem tornou-se importante objeto de estudo, indo além de uma visão exclusivamente

descritiva. A partir de então, a proposta fundamental da ecologia de paisagens é avaliar o espaço geográfico caracterizando de forma descritiva e quantitativa os padrões e processos que regem sua dinâmica ao longo do tempo. Além disso, a ecologia da paisagem envolve a aplicação destes princípios na formulação e na solução dos problemas associados à distribuição do espaço (Metzger, 2001; Turner, 2005; Turner, 2005).

Na perspectiva ecológica procura-se entender a função de grandes áreas para então inferir se o arranjo espacial dos ecossistemas, habitats, ou comunidades são ecologicamente sustentáveis (Turner & Gardner, 1991, Turner et al., 1995). É amplamente fundamentada no pressuposto de que a padronização de elementos da paisagem, como manchas ou fragmentos (*patches*), influencia fortemente os processos ecológicos. Para tanto, a ecologia da paisagem aborda o estudo do padrão da paisagem comparando a interação entre as unidades para então inferir como esses padrões mudam ao longo do tempo (McGarigal & Marks, 1995). Portanto, a ecologia de paisagens trata a paisagem incorporando a heterogeneidade espacial e considerando a interação dinâmica entre os ecossistemas que a compõem.

O caráter dual da ecologia de paisagens tem motivado muitos pesquisadores a integrar as perspectivas. Metzger (2001) formulou uma definição de paisagem na qual procura contemplar a ecologia e a geografia. Ele define paisagem como “um mosaico heterogêneo formado por unidades interativas, sendo esta heterogeneidade existente para pelo menos um fator, segundo um observador e numa determinada escala de observação”. Uma paisagem pode se apresentar ainda sob a forma de mosaico, contendo manchas, corredores e matriz, ou sob a forma de gradiente. Embora o conceito de paisagem derive muitas interpretações, todas sem exceção a consideram como um conjunto de elementos que interagem e são importantes para o entendimento de um determinado fenômeno (Forman & Godron, 1986).

A capacidade de quantificar a estrutura da paisagem é bastante conveniente quando se deseja estudar a função por ela desempenhada. Muita ênfase tem sido dada no desenvolvimento de métodos para quantificar a estrutura. Nesse sentido, o desenvolvimento de aplicativos que permitam análises cada vez mais específicas da heterogeneidade espacial tem sido de grande importância para a ecologia de

paisagens. Sua integração com outros programas como os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e modelos de simulação de dinâmica espacial, também está sendo cada vez mais exigida, tanto para a perspectiva ecológica quanto para a geográfica.

Nas duas perspectivas de paisagem, a análise espacial pode ser aplicada, porque em ambos os casos parte-se do princípio de que à paisagem são atribuídas uma estrutura, função e mudança que se associam às escalas de tempo e espaço (Pereira et al., 2001). Essas três características relacionadas possibilitam a análise espacial da paisagem (Forman & Godron 1986). Quantificar a estrutura de paisagens é um pré-requisito para elucidar sua função numa escala de tempo. Métodos para analisar e interpretar a heterogeneidade em grande escala são fundamentais no entendimento de processos ecológicos. Métricas de paisagem são exemplos destes métodos, podendo ser utilizados como indicadores quantitativos de processos como a fragmentação florestal. Os índices servem, portanto, para elucidar a estrutura, mas podem ainda ser usados para descrever a relação espacial entre os ecossistemas e estimar os elementos presentes, como a distribuição de energia, materiais e espécies em relação à área, forma, número, tipo e configuração dos mesmos. Por meio da função, as interações entre os elementos espaciais podem ser considerados de acordo com o nível de análise que se deseja para o estudo. A mudança refere-se à alteração na estrutura e função do mosaico ecológico em função do tempo.

A análise espacial inclui um conjunto de medidas estatísticas, que explicam o grau de complexidade ou heterogeneidade de uma paisagem por meio da caracterização da composição e do arranjo espacial (O'Neill et al., 1988; Turner & Gardner, 1991; Gustafson, 1998). A paisagem fragmentada pode ser analisada como um mosaico formado por uma matriz antropizada e por elementos de habitat, manchas e corredores, determinando um padrão espacial da paisagem para cada região (Forman, 1997). O emprego de métodos quantitativos para caracterização de paisagens tem sido amplamente difundido em estudos de mudanças de cobertura e uso da terra. Por isso, uma grande quantidade de métricas tem sido desenvolvida para quantificar padrões e classes num mosaico. Essas métricas se inserem em duas categorias gerais: aquelas que quantificam a composição do mosaico, relacionando a presença ou quantidade das manchas ou classes, não levando em conta características espaciais; e

aquelas que quantificam a configuração espacial do mosaico, que relacionam a distribuição física ou as características espaciais das manchas ou classes. Os dois casos podem ser mensurados em três níveis de análise: paisagem, classes e manchas (McGarigal & Marks, 1995).

As métricas em nível de paisagem integram no seu cálculo todos os tipos de manchas ou classes em relação à paisagem como um todo. Métricas em nível de classe integram no cálculo todas as manchas de um determinado tipo. Em uma abordagem ao nível de classe podem ser calculados parâmetros que consideram a área, a forma, a conectividade, o isolamento, entre outras características relativas ao conjunto de manchas de cada classe. Métricas em nível de mancha são calculadas para cada elemento individual da paisagem. De uma forma geral, este cálculo serve de base para cálculos de outras métricas da paisagem.

No pacote estatístico Fragstats (McGarigal & Marks, 1995) são calculadas para os três níveis uma grande variedade de métricas como as de área, densidade e borda, de forma, de área central, isolamento e proximidade, de contágio, intercalação, conectividade e diversidade. A maioria das métricas depende das informações de área para sua aplicação; por este motivo, as métricas de área são possivelmente as operações mais comuns dentre todas as operações de análise espacial. O Fragstats foi desenvolvido para aplicações na área florestal, mas os padrões definidos para medidas nesta área podem ser utilizados em muitos outros domínios. As medidas de forma, por exemplo, são utilizadas num vasto conjunto de aplicações como em biogeografia, políticas públicas e arqueologia. Vários outros campos profissionais da biologia, economia, história, ciências sociais e, especialmente, a geografia procuram explicar a dimensão espacial do padrão de seus objetos de pesquisa. Embora os valores numéricos dos resultados sejam indicadores de complexos processos, eles refletem tão somente uma perspectiva estatística do objeto de estudo. Consideradas suas limitações, o Fragstats pode quantificar a fragmentação de uma paisagem por meio de uma grande variedade de métricas que devem ser criteriosamente escolhidas de acordo com o estudo que o usuário se propõe fazer.

Embora o uso de métricas de paisagem seja bastante apropriado para estudos em ecologia e vários outros campos profissionais, existem algumas limitações

intrínsecas ao método que devem ser discutidas. Da mesma forma como no uso, a literatura também é vasta para as limitações do método ou mesmo sobre resultados duvidosos decorrentes de equívocos no emprego das métricas. Uma das fontes de erros mais comuns entre as métricas de área está relacionada com a escala. As delimitações do tamanho da mancha ou da extensão da paisagem geram limites maiores ou menores para esta categoria específica de medida. O conhecimento destes limites é fundamental porque eles estabelecem os limiares mais baixos e mais altos da resolução para as análises de composição e configuração (McGarigal & Marks, 1995). Os problemas associados à escala podem acarretar também implicações para as medidas de forma, cujo cálculo se baseia na relação entre a área e o perímetro. Muitos resultados revelam padrões de paisagem que somente são explicados por meio de entendimento dos processos antrópicos que os determinaram (Li & Reynolds, 1994). Há muitas outras limitações relativas ao uso equivocado de métricas (Turner & Gardner, 1991; Gustafson, 1998; Li & Wu, 2004). Segundo Li & Wu (2004), são identificados três erros comuns em análises com métricas de paisagem: os erros conceituais em análises do padrão de paisagens; o uso inadequado e as limitações inerentes às medidas. Nos erros conceituais, são comuns relações desvinculadas entre padrão e processos; os processos ecológicos não somente afetam como também são afetados pelo padrão espacial da paisagem (Turner, 1989; Pickett & Cadenasso, 1995). No método, a relação das métricas com os princípios ecológicos é necessária para que não ocorram equívocos, comuns quando na aplicabilidade não são analisadas as evidências ecológicas.

Para entender como a paisagem afeta e como pode ser afetada por atividades biofísicas ou socioeconômicas, é imprescindível quantificar a heterogeneidade e sua escala de dependência, ou seja, como o padrão muda com a escala (Wu, 2004). Mas primeiramente é necessário distinguir escala de observação de escala de análise. Na escala de observação, os aspectos do mundo real são traduzidos em dados; tratam-se de mapas nos quais, além da paisagem, são inseridas informações da origem do dado como sensores remotos usados ou esquemas de amostragem no caso de questionários socioeconômicos. A escala de análise compreende a escala de observação associada aos métodos de tratamento como

agregação e ampliação (Wu, 2004; Li & Wu, 2004). A aplicabilidade das métricas de paisagem é fortemente dependente dessas ponderações, por isso nestes casos as abordagens multiescalares são recomendadas. Para o êxito no resultado de análises multiescalares primeiramente é necessário conhecer a escala espacial, na qual deve ser delineada a área de amplitude do processo ou fenômeno que se deseja estudar. Em seguida deve ser identificada a escala temporal ou período de análise. Por último, é necessário traçar microrregiões (*scaling down*) para que sejam maximizadas as oportunidades de constatação dos fatores que determinam o padrão do fenômeno observado (Turner, 1989; Batistella & Moran, 2007). Portanto, métodos de medidas espaciais devem ser testados em múltiplas escalas.

Uma das fontes de erros mais comuns associados à escala são as unidades modificáveis ou agregação (Wu, 2004; Batistella & Moran, 2007). A agregação de áreas é feita quando há uma ampliação da escala, um procedimento comum cuja vantagem está relacionada à facilidade de se delimitar os alvos contidos em uma cena, havendo conseqüentemente menor erro de área. Este procedimento é comum quando a diferenciação de unidades espaciais não é possível, por isso elas são agregadas em um número menor de unidades espaciais conhecidas, por exemplo, quando ocorrem diferentes tipos de uso no mesmo local ou próximos, formando um mosaico. Mas, dependendo de como foi definida a escala, diferem as mudanças qualitativas e quantitativas, comprometendo qualquer procedimento de comparação estatística (Batistella & Moran, 2007).

A delimitação da extensão da área de estudo também pode provocar erros que estão mais diretamente relacionados ao processo. É fundamental delimitar com exatidão as áreas que estejam inseridas na zona de influência do processo que se deseja estudar. Batistella & Moran (2007) afirmam que como processos e padrões similares de transformações da paisagem ocorrem em abrangência e formas geográficas diferentes, a utilização de sub-áreas com mesmo tamanho e forma torna-se inviável. De acordo com os autores, uma alternativa neste caso é delinear as sub-áreas de estudo baseando-se em limites geográficos que contemplem respostas para o fenômeno em questão. O resultado de métricas de paisagem é fortemente afetado, mas

podem ser minimizados quando ponderados pela extensão total de cada sub-área de análise.

CAPÍTULO 2

2.1 MATERIAL

2.1.1 Caracterização Geral da Área de Estudo

Este trabalho foi realizado na microrregião de Santarém, inserida na mesorregião do baixo Amazonas². As microrregiões constituem-se em agrupamentos de municípios limítrofes e são estabelecidas pelo IBGE com base em similaridades econômicas e sociais. Sua finalidade é integrar regiões similares para o planejamento e a execução de políticas de interesse coletivo. A microrregião de Santarém compreende vários outros municípios, entre os quais estão os municípios de Belterra, Prainha e Aveiro. Em uma área arbitrariamente delimitada dentro da microrregião de Santarém, foram definidos três níveis de delimitação da área de estudo. O primeiro nível abrange uma região arbitrariamente denominada sub-região de Santarém. O segundo nível, uma parte do primeiro, foi denominado de área de ocupação consolidada. O terceiro nível está inserido na área de ocupação consolidada e corresponde a um conjunto de sub-áreas divididas em porções norte e sul que se encontram sob influência de quatro eixos viários. Este último nível de análise abrange, portanto um total de oito sub-áreas do segundo nível de delimitação.

Embora o foco principal deste estudo esteja centrado nos municípios de Santarém e Belterra, a área total inclui parte das áreas dos municípios de Prainha e Uruará, pois o potencial agrícola da sub-região de Santarém abrange áreas inseridas nos limites destes dois municípios.

De acordo com o IBGE (2008), a população estimada em Santarém e Belterra juntas é de 286.992 habitantes. A área destinada a agropecuária, cultura de lavouras temporárias e cultura de lavouras permanentes corresponde a 16,15% da área total dos dois municípios.

² A mesorregião do Baixo Amazonas ou Calha do Amazonas é composta por três microrregiões: Óbidos (municípios de Faro, Juriti, Óbidos, Oriximiná e Terra Santa); Santarém (municípios de Alenquer, Belterra, Uruará, Monte Alegre, Placas, Prainha e Santarém) e Almeirim (municípios de Almeirim e Porto de Moz). (IBGE, 2007).

2.1.2 Contexto Histórico e Geográfico da Área de Estudo

Santarém

A região que compreende os municípios de Santarém e Belterra caracteriza-se por ser uma área de fronteira bastante antiga, cujos primeiros relatos de ocupação são do século XVII, quando os portugueses, motivados pela ameaça de invasão por espanhóis e holandeses, adentraram o rio Amazonas fundando aldeias e vilas que hoje se constituem nas principais cidades do interior da Amazônia (Reis, 1979; Leroy, 1991). Em Santarém, o primeiro relato oficial de que se tem notícia data de 1541, quando o explorador espanhol Francisco Orellana chegou à aldeia dos Tupaius ou Tapajós. Embora o primeiro contato com branco tenha ocorrido muito antes, se considera, no entanto, que a cidade foi fundada em 22 de Junho de 1661, quando o padre João Felipe Bettendorf instalou missão na aldeia dos Tapajós. O nome Santarém só surgiu em 1758 quando o então governador da província do Grão Pará, Francisco Xavier de Mendonça Furtado, elevou a aldeia à categoria de vila, denominando-a de Vila de Santarém e somente em 1848 a Vila de Santarém foi elevada à categoria de cidade (Fonseca, 1996). Da descoberta até meados do século XVII, Santarém tinha como principal atividade econômica a exportação das “drogas do sertão”, produtos como cacau, cravo, salsaparrilha, baunilha, manteiga de ovo de tartaruga, pimentas variadas, bálsamo de copaíba, puxuri, anil, guaraná. A mão-de-obra para coleta e produção das especiarias era composta principalmente por índios. A partir do século XVIII, o cacau passou a ser o principal produto comercializado (Amorim, 1999). No século XIX com a descoberta da vulcanização, o látex passou a ser o principal produto de exportação, sendo usado principalmente na fabricação da borracha na indústria automobilística. Durante este período, a exportação de látex gerou muitas divisas para as regiões exportadoras e foi responsável pela consolidação das principais cidades da Amazônia, como Belém, Manaus e Porto Velho (Amorim, 1995). A comercialização da borracha asiática no final do século XIX desencadeou o fim do ciclo econômico do produto no Brasil ainda na primeira década do século XX (Borreani, 1989). Desde os anos 1920, a cidade e a região vêm experimentando diversos ciclos econômicos como os da cultura

de juta, entre as décadas de 1930 a 1940; pimenta-do-reino na década de 1970; investimentos econômicos do Governo Federal na década de 1970 (Amorim, 1999; Homma, 1998). O último grande ciclo econômico recente se desenvolveu em função do ouro no alto e médio Tapajós, se estendendo por toda década de 1980. No início da década de 1990, com a queda da atividade mineradora, as demais atividades ligadas ao ouro, como comércio e serviços, entraram em crise, mas ainda hoje se constituem em importantes atividades econômicas na região. Recentemente, a introdução da agricultura mecanizada, tendo a soja como principal produto de mercado, tem representado uma importante atividade na região, sendo responsável em 2003 por aproximadamente 33% do PIB do município de Santarém, (Prefeitura de Santarém, 2004).

Belterra

A cidade de Belterra foi fundada na década 1930 por uma iniciativa da companhia Ford de automobilismo com sede nos Estados Unidos da América. Mas somente em 1995 pela Lei nº 5.928 de 28 de dezembro, o até então distrito de Santarém tornou-se município (Pará, 2007). Na época de sua construção, a proposta da companhia Ford era implantar um sistema de cultivo de látex baseado no plantio extensivo de seringueiras para o abastecimento da indústria automobilística da própria companhia (Amorim, 1995, 1999). A primeira fase do projeto foi desenvolvida na Vila de Fordlândia, mas como o relevo acidentado da cidade dificultava a realização total do projeto, técnicos holandeses e americanos localizaram uma planície elevada ainda na margem direita do Rio Tapajós que levou a denominação de Bela Terra (Prefeitura de Belterra, 2004). Posteriormente essa região foi chamada de Belterra. O terreno plano da cidade permitiu a mecanização do plantio e colheita da seringa. Os solos com uma subcamada bastante fértil de terra preta, decorrente do uso por populações indígenas pré-colombianas, também contribuiu para a implementação do projeto. A produção de látex obteve seu rendimento máximo entre 1938 e 1940. Neste período Belterra foi o maior exportador individual de borracha do mundo, propiciando à cidade o melhor período de desenvolvimento de sua história. Atualmente a cidade tem entre 10 e 20 km²

plantados de seringueiras, que em sua maioria são remanescentes da época em que a companhia Ford se instalou. Embora a produção de borracha ainda seja uma atividade bastante presente na cidade, ultimamente o agronegócio é a principal fonte de geração de divisas para o município, colocando-o na terceira posição entre os municípios produtores de soja do Estado do Pará (Prefeitura de Belterra, 2004).

2.1.3 Clima

O clima dominante na região é do tipo Am, segundo a classificação Koppen. Caracteriza-se por ser quente e úmido, característico de regiões tropicais. Não está sujeito a mudanças significativas de temperatura devido a sua proximidade da linha do equador, porém apresenta sazonalidade marcada por períodos chuvosos e secos com duração média de seis meses cada. A temperatura média anual varia de 25 a 28°C, com umidade relativa média do ar de 86% durante quase todos os meses do ano e amplitude térmica de 5°C (Nimmer, 1977; Salati & Marques, 1984). A precipitação total anual para o município de Belterra é de 1909 mm, a média mensal no período mais seco, entre julho e novembro, é de 62,4 mm (EMBRAPA, 2008). De acordo com o balanço hídrico local, ocorre maior excedente de água no solo nos meses de fevereiro a julho, com excedente de água alcançando 750 mm em março, mês com maior índice. Durante o período de seca, setembro é o mês com maior deficiência de água no solo, podendo ser menor que 90 mm. A sub-região de Santarém é fortemente afetada durante eventos de anomalias climáticas, como El Niño (Nepstad, 2002), cujo efeito climático é caracterizado pela seca prolongada.

2.1.4 Geologia e Relevo

De acordo com o projeto CPRM/PRIMAZ (1997), as principais unidades morfoestruturais identificadas na microrregião de Santarém são representadas pela Planície Amazônica, o Planalto Rebaixado da Amazônia e o Planalto Tapajós-Xingu. A Planície Amazônica ocupa a porção norte do município e constitui as áreas de várzea que são regidas pelos ciclos de cheias e vazantes do rio Amazonas. Representa uma planície fluvial, levemente elevada em relação à lâmina d'água, possuindo as menores altitudes regionais, geralmente próximas a 20 metros. É caracterizada por depósitos aluviais, atuais e sub-atuais, com predomínio de argilas e areias. O Planalto Rebaixado da Amazônia apresenta-se como uma superfície intermediária entre a planície amazônica e o Planalto Tapajós-Xingu. Está bem caracterizado na porção centro-norte do município de Santarém, ao sul da sede municipal e ao norte da serra do Piquiatuba, situado entre as altitudes de 50 a 100 metros. Apresenta uma superfície pediplanada, desenvolvida sobre as rochas da formação Alter do Chão. Nesse domínio morfológico, o CPRM/PRIMAZ (1997) caracterizou a presença de aquíferos livres, semi-confinados e confinados, com suas respectivas profundidades. O terceiro tipo de formação geológica corresponde ao Planalto Tapajós-Xingu, feição morfológica dominante na porção centro-sul do município, situada nas maiores altitudes regionais, entre 100 e 150 metros, em média. É caracterizado por elevações de topo plano, com encostas escarpadas e ravinadas, em forma de platôs, por onde se desenvolve uma drenagem espaçada, profunda, como ocorre com o rio Mojuí.

2.1.5 Hidrografia

A sub-região de Santarém é banhada pela bacia do rio Amazonas e engloba várias outras sub-bacias como a do rio Tapajós, rio Arapiuns e dos rios Moju, Mojuí e Curuá-Una. A região banhada pelo eixo hidrográfico do rio Amazonas abrange

aproximadamente 1/6 de toda extensão territorial do município de Santarém, faz o limite de Santarém ao norte com os municípios de Alenquer, Óbidos e Monte Alegre e em toda essa extensão apresenta-se como rio de planície. Entre as sub-bacias, a do rio Tapajós é a segunda mais importante para o município de Santarém e a primeira para o Município de Belterra. O rio Tapajós é formado na divisa dos Estados do Pará, Amazonas e Mato Grosso pela união dos rios Teles Pires e Juruena, tem aproximadamente 851 km da cabeceira à foz no rio Amazonas em frente à cidade de Santarém. Banha os municípios de Santarém e Belterra no sentido Sul-Norte, em seu baixo curso. O Tapajós recebe o rio Arapiuns como principal afluente pela margem esquerda, que por sua vez está ligado a vários outros afluentes: o rio Aruá, os igarapés Braço Grande do Arapiuns, Curí, Caranã entre outros. Juntos, estes eixos hidrográficos formam a sub-bacia do rio Arapiuns. Dentro do limite de Santarém a área irrigada pelo rio Arapiuns ocupa 28%, o que corresponde a 7.064 km². Pela margem direita, o rio Arapiuns apresenta apenas um afluente importante, o rio Mentaí. Na porção oriental da sede do município de Santarém, encontram-se os rios Curuá-Una, Mojuí e Mojú. Os rios Mojú e Mojuí são tributários do rio Curuá-Una e formam juntos toda a malha hídrica existente na chamada "Região do Planalto", que abrange toda extensão da área de ocupação consolidada deste estudo. As três sub-bacias juntas somam um total aproximado de 9.986 km², ou aproximadamente 37,6% de todo o município de Santarém ocupando a porção leste da região. Há cerca de 70 km a sudeste da sede do município de Santarém, encontra-se a hidrelétrica do rio Curuá-Una. Localizada na cachoeira do Palhão, tem capacidade operacional de 40MW.

2.1.6 Vegetação

O projeto RadamBrasil³ (BRASIL, 1976) realizado na década de 1970, elaborou entre outros produtos um levantamento fitogeográfico da vegetação para toda região Amazônica brasileira. Para a sub-região de Santarém foram encontrados diversos tipos de vegetação, parte de uma variedade de ecossistemas pioneiramente descritos por naturalistas como Ihering (1953), Ducke (1945) entre outros. Dentre os tipos de vegetação encontrados e descritos pelo projeto estão Savanas, Formações Pioneiras Aluviais, Floresta Tropical Densa e Floresta Tropical Aberta, resumidamente descritos a seguir.

Até o ano de 2006, de acordo com dados do INPE/Prodes (2008) o município de Santarém detinha 50% do total de sua área como cobertura florestal, o equivalente a uma área de 11.523,3 km². Para o município de Belterra, a área de cobertura vegetal estimada até 2006 é de 2.706,7 km² ou 61% da área municipal.

2.1.6.1 Savanas

Sob este tipo de vegetação predominam os solos litólicos com elevada deficiência nutricional, principal forma de restrição da diversidade de espécies. A baixa fertilidade do solo acarreta a formação de áreas onde ocorrem somente espécies arbustivas, tortuosas e de pequeno porte, além de gramíneas. As savanas classificadas como **Savanas Arbóreas Densas** correspondem a um estrato arbóreo esclerófilo de altura média entre cinco e dez metros, intercaladas com elementos arbustivos, algumas bromeliáceas e palmeiras anãs. Entre as espécies que compõem as savanas arbóreas

³Projeto RadamBrasil, foi criado em 1970 e concluído em 1976. Teve como principal objetivo fazer um levantamento dos recursos naturais da Amazônia e posteriormente do Brasil por meio de radar aerotransportado. Para Amazônia Legal foram geradas 275 cartas planimétricas para uma área de 4.300.210 km², além de 132 cartas-imagem de diversas regiões, todos na escala 1:250.000 (Brasil/RADAMBRASIL, Vol.8).

densas estão a *Cratella americana*, *Piptadenia peregrina*, *Roupala spp* etc. As **Savanas Arbóreas Abertas** apresentam vegetação xeromorfa com folhas coriáceas e árvores com altura entre quatro e sete metros. Encontram-se intercaladas por arbustos esclerófilos. **Savanas Parque** são características das planícies aluviais da Amazônia, cuja característica marcante é a ausência de estratos arbóreos. As extensões campestres dessa vegetação são dominadas por *Paspalum sp*, *Aristida sp*, *Andropogum sp* etc. Na área de estudo, em 2005, as formações compostas por Savanas compreendiam aproximadamente 314,25 km² do município de Santarém ou 1,3% de sua área total (Prefeitura de Santarém, 2004). Esta vegetação é encontrada na porção setentrional da área, próximo às desembocaduras dos rios Tapajós, região de Alter do Chão.

2.1.6.2 Formações Pioneiras Aluviais

Originam-se pela ocupação de formações edáficas resultantes da deposição de material aluvionar transportados pelo leito dos rios. À medida que a deposição de sedimento ocorre, espécies vegetais se instalam culminando em formações pioneiras arbóreas, formações pioneiras arbustivas e formações pioneiras lenhoso-graminóides. Estes tipos de vegetação são encontrados nas regiões de várzea que se localizam as margens do rio Amazonas. Nas **Formações Pioneiras Arbóreas e Arbustivas** encontram-se árvores medianas de 15 a 20 metros, normalmente encontradas em ilhas no rio Amazonas, podendo raramente ser encontradas nos igapós. As formações **Lenhoso-Graminóides** são baixas atingindo no máximo um metro de altura. Tratam-se de macrófitas aquáticas que durante o regime de cheias desprendem-se do solo de áreas periodicamente alagadas formando ilhas macrofíticas flutuantes.

Na área de estudo este tipo de formação vegetal predomina na região ao norte da sede municipal de Santarém, principalmente nas áreas onde ocorrem ciclos anuais de cheias e vazantes. Por estar localizada em sua maior parte nas áreas de

várzea, este tipo de vegetação mantém-se inalterado ante o uso pela agricultura intensiva.

2.1.6.3 Sistemas de Floresta Tropical Densa

A floresta tropical densa caracteriza-se por apresentar estratos arbóreos entre 30 e 40 metros acima do solo com fronde elevada e densa, geralmente com uma ou duas espécies que se sobressaem, podendo chegar a 50 metros de altura. No sub-bosque dessas florestas é desenvolvido um microclima que mantém a temperatura interna quente e estável, com temperaturas variando entre 25 °C e 30 °C. As chuvas freqüentes, com precipitações pluviométricas superiores a 1.800 mm/ano, são geradas em parte pela própria floresta e ajudam a manter a umidade elevada (Whitmore, 1999). Ocorrem principalmente, nas porções sul, sudeste da sub-região. Estas áreas de floresta são de grande interesse econômico para a economia do município, que ainda explora algumas espécies de madeira como: tauari (*Courati spp*), jarana (*Leeythis lucida*) e itaúba (*Mezilaurus itauba*), entre outras. Nestas florestas ocorrem dois tipos de fitofisionomias florestais: o de **Florestas de Baixa Altitude** e os de **Floresta Submontana**. As florestas densas de baixa altitude desenvolvem-se principalmente nos platôs do período Terciário e também em terraços do Quaternário. Elas apresentam dois estratos distintos, um emergente e outro uniforme, têm alto volume de madeira de grande valor comercial. As florestas densas submontanas ocupam áreas do Paleozóico e do Pré-Cambriano, têm sub-bosque com poucas lianas e menor altura das árvores, quando comparadas com as florestas de baixa altitude. Somente em Santarém as florestas densas ocupam a maior porção do elemento considerado vegetação nativa, cobrindo uma superfície de cerca de 25% da área do município (Prefeitura de Santarém, 1996).

2.1.6.4 Floresta Tropical Aberta

A floresta tropical aberta possui composição florística caracterizada pela presença abundante de cipós e palmeiras, originados por processos de degradação. É menos densa e apresenta grandes espaçamentos entre as árvores, não permitindo por isso, que as copas se toquem (Velooso et al., 1974). Apresenta poucas árvores, normalmente envolvidas por cipós, de baixa altura, raramente ultrapassando 20 metros. Dentro das florestas tropicais abertas pode ou não haver a ocorrência de palmeiras. Costumam ocorrer manchas de Floresta Densa. Na sub-região de Santarém as florestas abertas concentram-se na parte centro-sul do município, ao longo da rodovia BR-163 e sobre a área de ocupação consolidada. Na Floresta aberta com palmeiras encontra-se uma formação mista de palmeiras e de árvores latifoliadas bem espaçadas, de altura bastante irregular (entre 10 a 25 m), apresentando agrupamentos de palmeiras nos vales rasos e concentrações de leguminosas nas superfícies aplainadas. Maior concentração a nordeste e pequena porção no Centro do Município de Santarém.

Os dados do projeto Radam mostram que na sub-região de Santarém, todas as fitofisionomias vegetais supracitadas eram encontradas. A atividade agropecuária em 1976 já estava instalada na região, sobretudo onde hoje encontra-se a área ocupação consolidada. Estes sistemas produtivos baseados na pecuária e na agricultura itinerante intercalavam-se com vegetação secundária e floresta tropical. Ao sul da área de ocupação consolidada eram encontradas florestas tropicais densas em áreas sedimentares de baixo platô.

2.2 MÉTODOS

2.2.1 Delimitação das áreas e abordagem multiescalar

A delimitação da área de estudo, bem como a definição de limites internos no desenho espacial, devem ser uma das primeiras questões a serem ponderadas em

estudos comparativos sobre fragmentação de paisagens ou fragmentação social na Amazônia (Batistella & Moran, 2007). Para esse estudo no interior do Pará, foram definidas áreas e sub-áreas delimitadas por barreiras geográficas ou estradas.

Tendo em vista a problemática associada à escolha da delimitação da área de estudo, foi traçado arbitrariamente um polígono na microrregião de Santarém, denominado de sub-região de Santarém. Este polígono foi delimitado em uma região com potencial produtivo para a agricultura de grãos, de acordo com o ZEE da rodovia BR 163 (Venturieri et al, 2007). A figura 5 mostra o polígono ou sub-região, que inclui ainda parte dos municípios de Belterra, Prainha e Uruará. Este polígono é, portanto uma representação arbitrária, cuja principal finalidade é compará-lo com os demais níveis de análise e, dessa forma, permitir o teste de como a delimitação da área de estudo pode influenciar análises multiescalares de mudanças na cobertura e uso das terras. Ele representa o primeiro nível de delimitação da área de estudo. Visando confrontar os resultados associados à escala de trabalho do primeiro nível, foram definidos dois outros níveis de análise que se encontram inseridos no primeiro. O segundo nível foi delineado e estabelecido tendo por base uma grade de lotes e propriedades rurais, elaborada por um grupo de pesquisadores da Universidade de Indiana (USA) a partir de dados do INCRA e de verificações de campo (D'Antona et al. 2006). A delimitação dessa segunda área foi obtida por uma comparação entre as propriedades amostradas pelo estudo e aquelas que já haviam na base de dados do INCRA desde 1970. O segundo nível de análise refere-se a uma área de uso consolidado no contexto geográfico da região (figura 6). A infra-estrutura implantada desde a época dos assentamentos e ao longo dos anos, como vias de acesso e rede elétrica, possibilitaram a ocupação e consolidação do uso pelos assentados e mais recentemente viabilizou a implementação da atividade agrícola baseada no plantio intensivo de monoculturas. Esta área de uso consolidado apresenta rede viária composta por quatro rodovias paralelas e interconectadas. Elas serviram como base para a delimitação longitudinal dos eixos que exercem influência nas atividades de uso. Dessa forma, foram delimitadas oito sub-áreas dispostas em porções norte e sul. A divisão entre sub-áreas norte e sul teve como critério barreiras físicas como rios e também estradas transversais, ou travessões, como são coloquialmente chamadas na

região. As sub-áreas inseridas na área de ocupação consolidada formam, portanto o terceiro nível de análise. A tabela 2 relaciona as áreas de estudo e suas respectivas dimensões em hectares.

Tabela 2. Área total de cada nível de análise (ha)

Nível de análise	Subárea	Área
Sub-região de Santarém		999.951,53
Área de Ocupação Consolidada		204.311,43
Eixo BR163 (Santarém - Cuiabá)	Norte	15.854,51
	Sul	36.146,83
Eixo PA 433 (Comde. Morada Nova - Comde. Jaboti)	Norte	12.379,29
	Sul	34.991,18
Eixo PA 431 e 445 (Santarém - Mojuí dos Campos - Comde. Igarapé das Pedras)	Norte	12.294,46
	Sul	26.487,41
Eixo PA 370 (Santarém - Curuá-Una)	Norte	18.066,78
	Sul	37.441,00

Obs.: As sub-áreas norte e sul representam subdivisões feitas em cada eixo viário.

2.2.2 Sub-região de Santarém

É composta em sua maior parte pela área municipal de Santarém. A cidade de Santarém, situada dentro da microrregião de mesmo nome, é a mais importante área urbana da região oeste do Pará. Está estrategicamente localizada entre as capitais Belém e Manaus na confluência dos rios Tapajós e Amazonas. A conexão inter-regional entre os Estados do Mato Grosso e Pará via rodovia BR 163 torna esta cidade mais importante ainda do ponto de vista da geopolítica regional de integração da região Norte com a região Centro-Oeste.

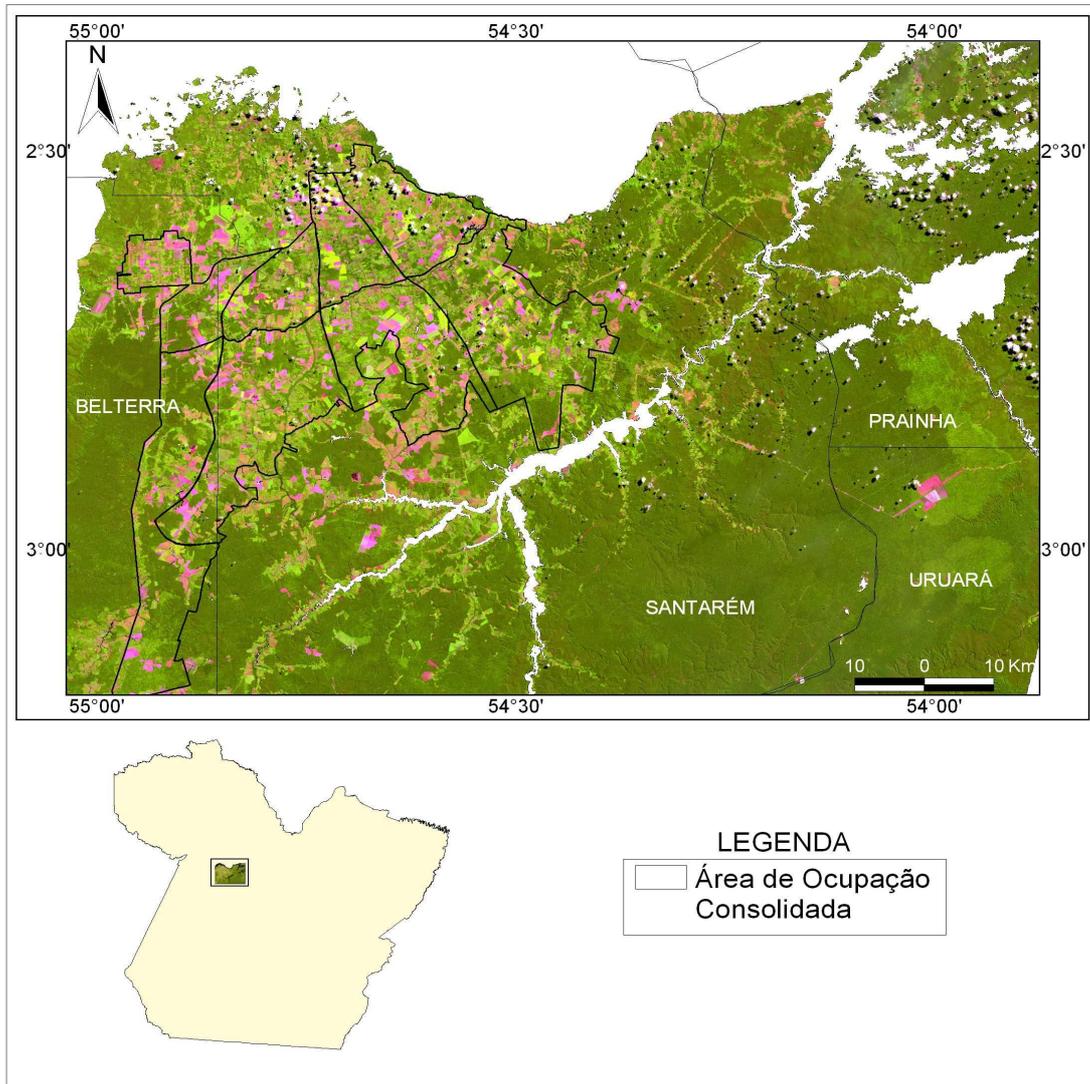


Figura 5. Sub-região de Santarém, com destaque para o limite municipal, área de ocupação consolidada e sub-áreas de estudo. Imagem de satélite Landsat TM, 2005.

A área total da sub-região de Santarém é de cerca de 10.000 km². Ao norte limita-se com os rios Tapajós e Amazonas, a leste com o município de Prainha e a oeste com o rio Tapajós. A região de estudo se caracteriza pela célere dinâmica de substituição das atividades de uso da terra, mais recentemente atribuída à nova fronteira de agricultura intensiva.

2.2.3 Área de Ocupação Consolidada

O segundo nível de análise (figura 6), parte do primeiro nível, corresponde à estrutura fundiária definida a partir do limite do entorno de lotes estabelecidos na década de 1970 pelo INCRA. A infra-estrutura alocada determinou a intensificação do uso da terra pela atividade agropecuária e recentemente pela agricultura intensiva.

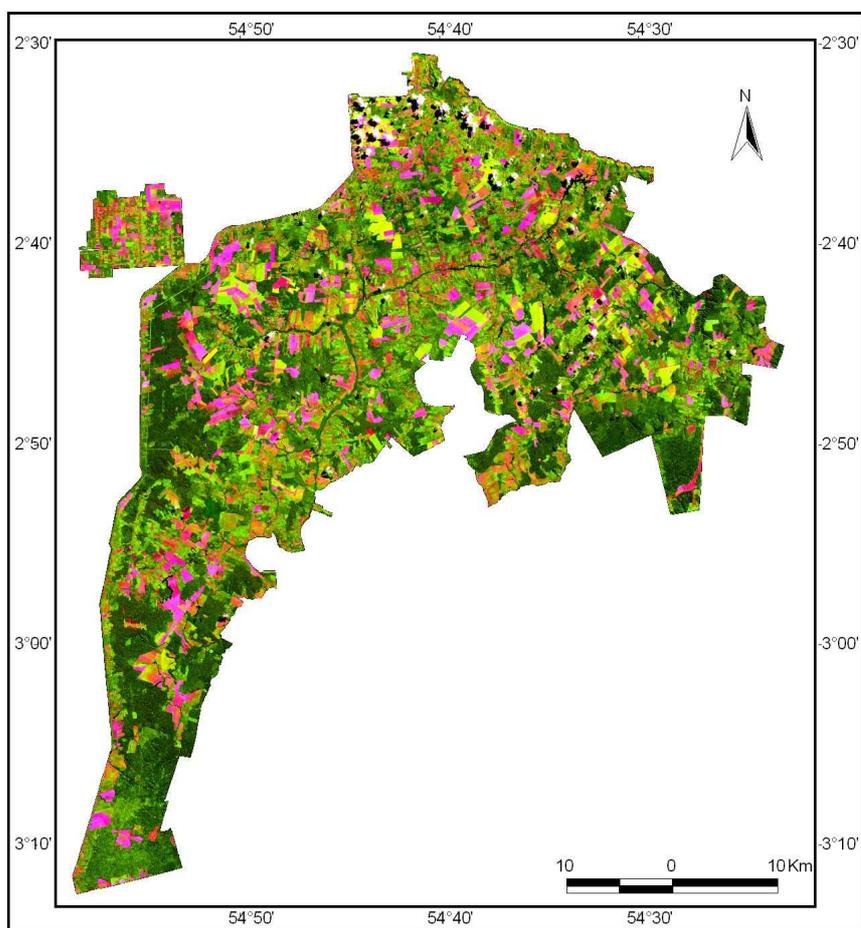


Figura 6. Área de Ocupação Consolidada. Imagem do satélite Landsat TM, 2005.

2.2.4 Sub-áreas sob Influência de Eixos Viários

Os quatro setores de influência das estradas foram definidos a partir das principais vias de acesso ao município de Santarém, as quais representam eixos diferentes de ocupação. O limite estabelecido pelo INCRA, estradas transversais e outras barreiras como rios, foram considerados na delimitação dos limites de cada sub-área norte ou sul sob influência dos eixos viários.

A primeira via de acesso corresponde à rodovia BR 163. Essa estrada foi construída na década de 1970 pelo governo federal como parte dos primeiros PINs (Planos de Integração Nacional). O limite da área de influência desta rodovia neste estudo é de aproximadamente 102 km ao sul da sede de Santarém. Na direção oeste, o limite é a Floresta Nacional do Tapajós. A leste, o limite é a estrada PA 433 (figura 7). As sub-áreas norte e sul foram divididas com base na presença de uma estrada vicinal transversal à BR 163, localizada próximo à Belterra.

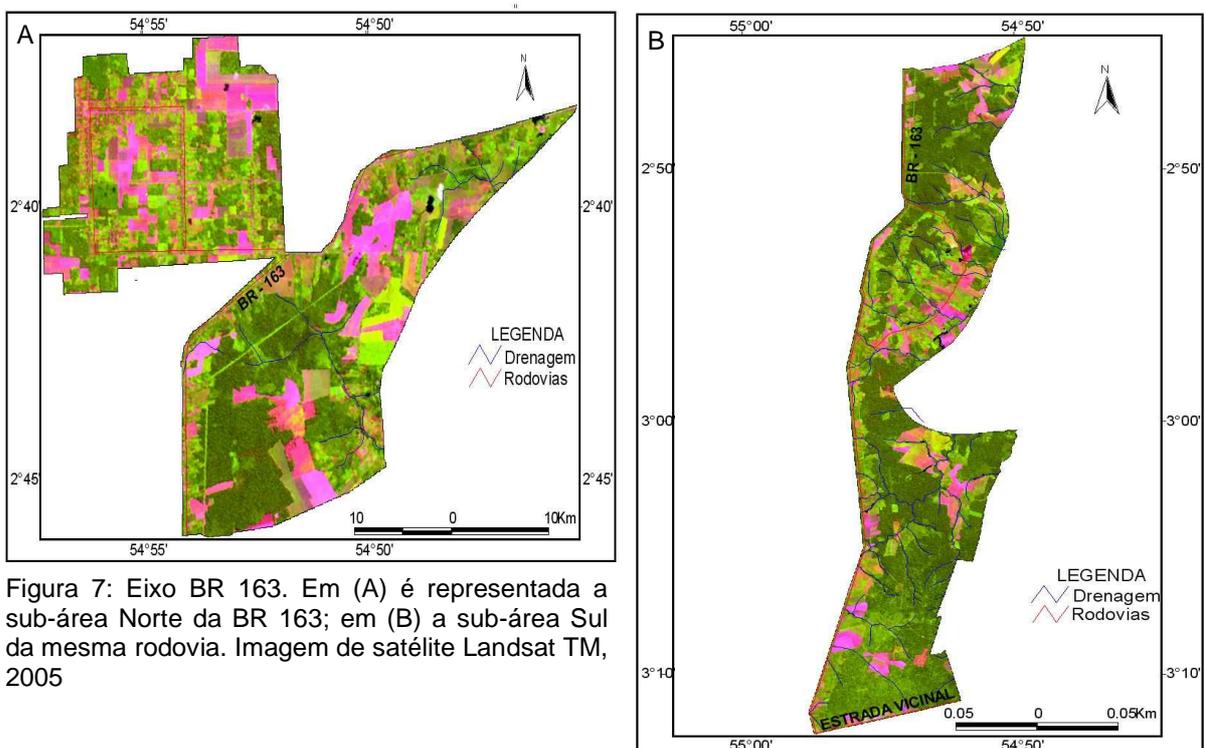


Figura 7: Eixo BR 163. Em (A) é representada a sub-área Norte da BR 163; em (B) a sub-área Sul da mesma rodovia. Imagem de satélite Landsat TM, 2005

O segundo eixo viário corresponde à estrada PA 433. Esta via tem aproximadamente 54 km e liga o assentamento Morado Nova localizado ao norte à comunidade Jaboti, ao sul. A área de influência deste eixo inclui toda sua extensão longitudinal, sendo limitada a leste pelas PAs 431 e 445. As sub-áreas norte e sul foram divididas transversalmente com base no rio Mojuí (figura 8).

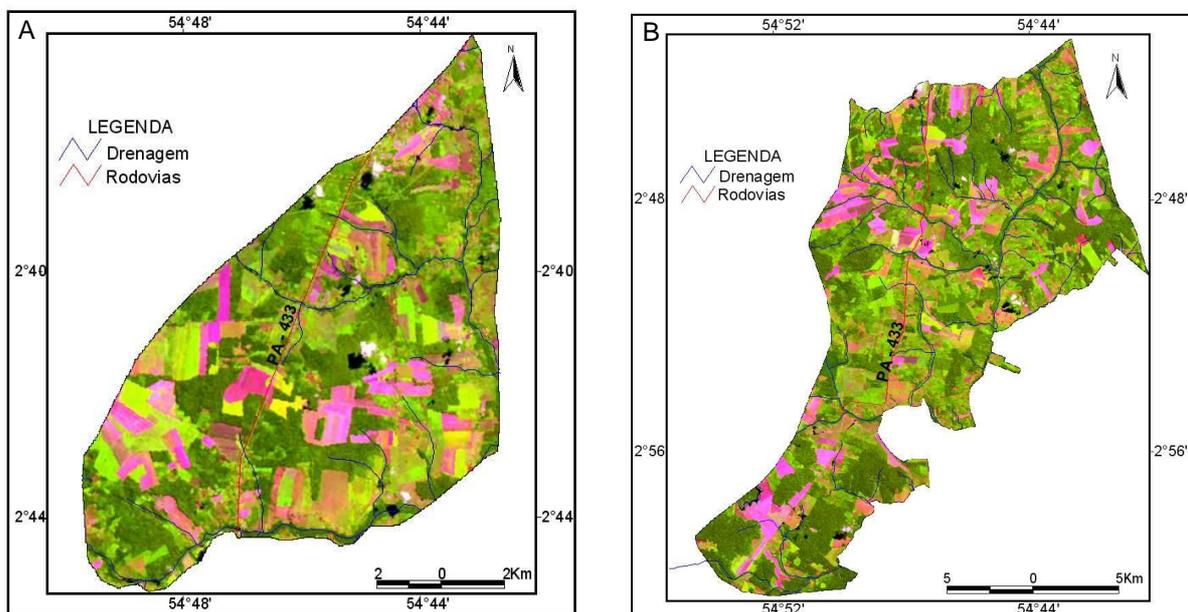


Figura 8: Eixo PA 433. Em (A) é representada a sub-área Norte da PA 433; em (B) a sub-área Sul da mesma rodovia. Imagem de satélite Landsat TM, 2005.

O terceiro eixo viário inclui as estradas PA 431 e PA 445. A PA 431 (Santarém - Mojuí dos Campos), criada em 1980, é paralela e tem início no km 8 da BR 163. O eixo de influência para estas duas rodovias abrange toda sua extensão, sendo limitado a leste pela PA 370. O primeiro trecho, de aproximadamente 14 km, se estende até a sede do distrito de Mojuí dos Campos e corresponde à sub-área norte deste estudo. A segunda estrada, PA 445, tem aproximadamente 30 km de extensão e liga a sede do distrito de Mojuí dos Campos à comunidade de Igarapé das Pedras. Esta segunda via corresponde à sub-área sul da zona de influência do eixo (figura 9).

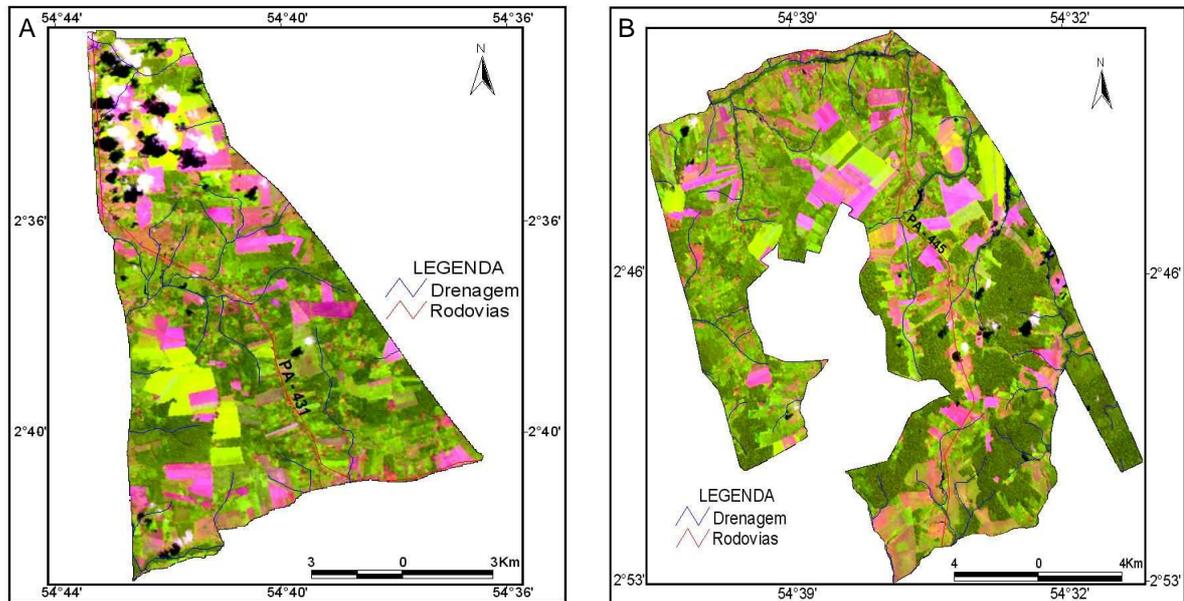


Figura 9: Eixo PA 431/445. Em (A) é representada a sub-área Norte da PA 431; em (B) a sub-área Sul da PA 445. Imagem de satélite Landsat TM, 2005.

O quarto e último eixo de influência na área de estudo é a rodovia estadual PA 370 que liga o município de Santarém à rodovia BR 230, Transamazônica. O trecho composto por pavimento asfáltico se estende da sede municipal de Santarém até a hidrelétrica do Rio Curuá - Una a 70 km de distância. Como a BR 163, a PA 370 também foi construída na década de 1970, porém pelo governo do Estado do Pará. Embora a rodovia tenha sido planejada originalmente para se estender até o encontro com a rodovia Transamazônica, considera-se a extensão oficial até a hidrelétrica de Curuá-Una devido o percurso à rodovia Transamazônica ser praticamente inacessível. A PA 370 tem início na sede municipal de Santarém, seu limite ao Sul é a usina hidrelétrica do rio Curuá-Una. O trecho compreendido entre a sede municipal e o limite da sub-área sul é de cerca de 53 km. As sub-áreas norte e sul foram delineadas com base na estrada transversal PA 431, localmente conhecida como travessão, com início na comunidade de Mojuí dos Campos. O limite a leste da primeira sub-área foi definido tendo por base uma estrada vicinal que acompanha paralelamente a PA 370. O limite a leste para a sub-área sul foi definido seguindo a característica acidentada do relevo da área, o qual inviabiliza a agricultura mecanizada intensiva (figura 10).

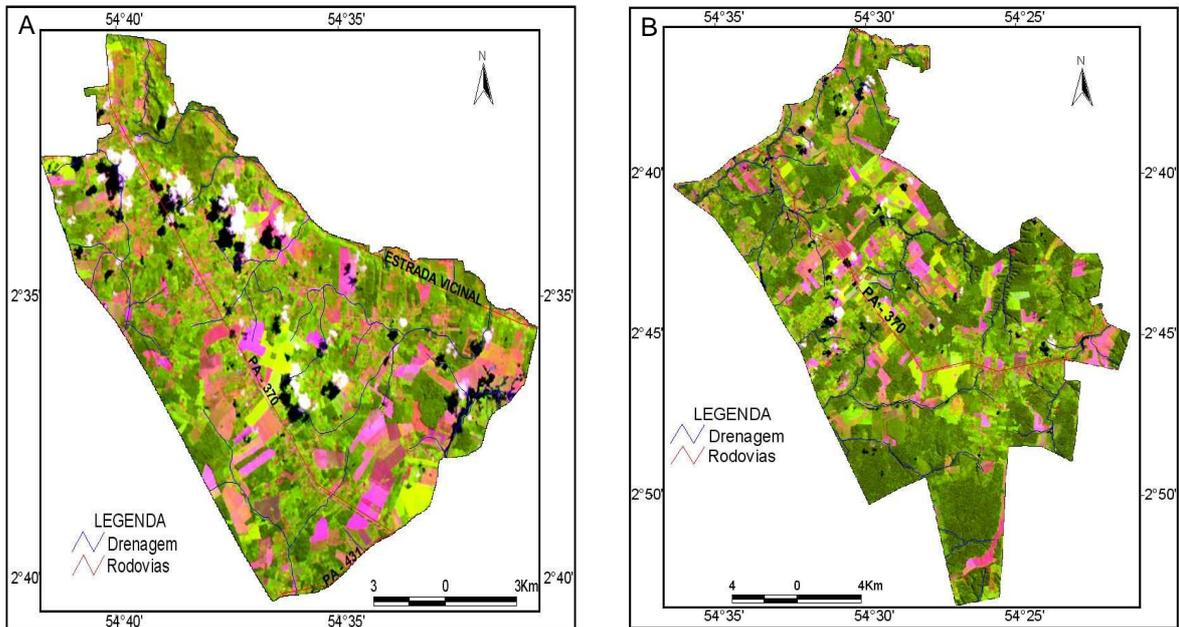


Figura 10: Eixo PA 370. Em (A) é representada a sub-área Norte da PA 370; em (B) a sub-área Sul da mesma rodovia. Imagem de satélite Landsat TM, 2005.

A área total de estudo compreende, portanto um conjunto de duas grandes áreas (Sub-Região de Santarém e Área de Ocupação Consolidada), além de oito sub-áreas menores, correspondentes às porções norte e sul das zonas de influência dos eixos viários.

As imagens classificadas da área de estudo foram cedidas pelo projeto de Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) da rodovia BR 163 (Venturieri, 2007). Trata-se, portanto, de um dado secundário subsidiado pelo projeto. O processamento das imagens brutas foi conduzido no Laboratório de Geoprocessamento da Embrapa Amazônia Oriental, localizado em Belém, PA. Em uma última etapa, as classificações das imagens correspondentes aos anos de 1986, 1997 e 2005 foram analisadas estatisticamente por meio de métricas de paisagem utilizando o programa estatístico FRAGSTATS (McGarigal e Marks, 1995).

2.2.5 Sistematização dos dados e procedimentos de análise utilizados no ZEE da BR 163

Para a caracterização da dinâmica espaço-temporal da cobertura e uso da terra, foram utilizadas imagens do sensor TM do satélite Landsat, referentes à área de estudo. Até a elaboração das imagens classificadas, foram empregados sistemas de informações geográficas (ESRI, 1992; Camara et al., 1996), incluindo vários planos de informação. A série temporal inicia-se a partir de 1986, com a finalidade de capturar os primeiros estágios dos processos de mudanças na paisagem. Os anos posteriores (1997 e 2005) foram escolhidos com intuito de se obter um intervalo de aproximadamente 10 anos entre cada data, além da disponibilidade e qualidade dos dados. A série temporal totaliza dezenove anos, nos quais é possível observar processos de conversão de florestas em diferentes tipos de uso, assim como a regeneração da vegetação. Todas as imagens foram adquiridas em períodos da estação seca na região, para melhor diferenciar áreas de floresta, áreas de sucessão secundária e uso da terra. As datas das imagens são 14 de agosto de 1986, 27 de julho de 1997 e 01 de julho de 2005.

2.2.5.1 Segmentação

A segmentação é um método para identificar objetos ou classes de objetos discretos em uma imagem (Ryherd & Woodcock, 1996), cujo critério fundamental é individualizá-los e identificá-los em regiões com atributos similares (Pratt, 1991). Assume-se como região um conjunto de pixels contíguos com alguma similaridade que se espalham bidimensionalmente. Na imagem segmentada final as limitações intrínsecas aos métodos de classificação por pixel terão sido minimizadas. As imagens utilizadas neste estudo foram segmentadas utilizando-se os limiares de 5 para similaridade e de 10 para área. A similaridade 5 foi utilizada porque proporcionou

regiões com maior homogeneidade em termos espectrais. O limite de 10 para a área representou com mais fidelidade a realidade observada em campo. Ademais, com a redução do seu valor, poder-se-ia incorrer em erros de mapeamento, com a formação indesejável de regiões isoladas.

2.2.5.2 Classificação não Supervisionada por Regiões

A classificação é o processo pelo qual se atribui uma classe aos elementos das imagens (pixels). No método de classificação não supervisionada, as classes são regiões formadas por pixels que tenham características similares ou comuns dentro paisagem. A partir deste método de classificação por regiões, empregando o software Spring (Camara et al., 1996), foi utilizado o algoritmo Ioseg que, por ser um método não supervisionado, não necessita de conhecimento prévio do analista sobre as feições ocorrentes na área de estudo. Richards & Jia (2000) destacam que o método de classificação não supervisionado corresponde à técnica onde as imagens são divididas em classes não conhecidas, ou seja, o algoritmo define as classes com base em regras estatísticas. O algoritmo então utiliza a matriz de covariância e o vetor médio das regiões para estimar o centro das classes.

A validação das classes de uso e cobertura foi feita em campo pela equipe do ZEE BR 163, através do reconhecimento e correlações das feições presentes nas imagens processadas com padrões de cobertura vegetal e uso da terra observados no campo. Como complemento, paralelamente às pesquisas do ZEE da BR 163, foram ainda coletadas informações relativas ao histórico de uso da terra das propriedades nos anos anteriores à ocupação através de entrevistas com agricultores. Esta última pesquisa gerou dados com aplicabilidade específica para este estudo.

2.2.5.3 Definição da Legenda Temática

A definição das classes de cobertura e uso da terra, obtidas pelos produtos do sensor TM do satélite Landsat, foi conduzida na escala de 1:250.000 e seguiu o padrão proposto pelo manual técnico para uso da terra do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2006). A legenda final foi gerada a partir da resposta observada para os alvos de interesse obedecendo a atributos espectrais, como cor/tonalidade nas diferentes bandas; e espaciais, como forma, textura e padrão, em última etapa validados em campo. Quando não foi possível a delimitação de um tipo específico de uso, foram feitas associações entre eles, dando origem à classe agropecuária. Esse procedimento foi necessário quando diversos tipos de atividade de uso da terra ocorreram em consórcio no mesmo local, ou muito próximos, formando um mosaico de usos. As classes finais mapeadas foram: floresta, capoeira, pastagem, agropecuária e agricultura intensiva.

O produto temático final foi exportado, em formato raster para o pacote estatístico FRAGSTATS (McGarigal & Marks, 1995), a partir do qual se procederam as análises espaciais.

2.2.6 Análise Estatística com Métricas de Paisagem

As métricas de paisagem foram calculadas para todas as classes, sendo cada nível de análise considerado como uma paisagem diferente. As medidas para cada classe geram informação sobre o conjunto de manchas da mesma classe na paisagem. Em todas as áreas consideradas neste estudo, os índices calculados foram ponderados pela área que ocupam em cada paisagem particular.

Nas medidas de área são revelados indicadores de composição da paisagem, ou seja, o quanto vale em termos espaciais, a representatividade do conjunto de um tipo de mancha particular. A escolha ao nível de classe possibilita uma compreensão

plena da distribuição de um tipo específico de mancha, como manchas de agropecuária, por exemplo. As métricas de área utilizadas foram: Porcentagem da paisagem; Tamanho médio de manchas; Densidade de manchas; Índice de maior mancha (McGarigal & Marks, 1995).

2.2.6.1 Porcentagem de Paisagem (PP)

A porcentagem de paisagem é um índice muito usado para se comparar uma mesma classe dentro de paisagens com dimensões diferentes, pois quantifica a porção relativa que a classe em questão ocupa na paisagem. A porcentagem de paisagem é igual à soma das áreas de todas as manchas de um tipo específico, dividido pela área total da paisagem. Multiplica-se por 100 (cem) para obter o resultado em porcentagem. O resultado de PP, portanto, é um valor relativo em porcentagem da proporção que uma determinada classe ocupa na paisagem.

$$PP = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$$

PP: Porcentagem de Paisagem;

P_i : proporção espacial da classe i na paisagem.

a_{ij} : área da mancha ij ;

A: área total da paisagem

2.2.6.2 Densidade de Manchas (DM)

A densidade de manchas também é um índice relativo, e como PP, permite comparação entre paisagens diferentes. O índice de densidade quantifica a população de um determinado tipo de mancha ponderada pela área total da paisagem. A medida de densidade de manchas tem a mesma aplicabilidade ecológica do número de manchas, sendo indicador da heterogeneidade espacial de uma paisagem. DM é igual à

soma do número de manchas de um determinado tipo dividido pela área total em m². Multiplica-se por 10.000 para obter o resultado em hectares e por 100 para obtê-lo a cada 100 hectares.

$$DM = \frac{n_i}{A} (10,000) (100)$$

DM: Densidade de Manchas;

ni: número de manchas i na paisagem;

A: área total da paisagem (m²)

Quando PD>0, o resultado é limitado ao tamanho da célula ou grão da imagem raster. Valores acima de zero são alcançados quando cada célula é uma mancha separada. Nesse caso a escolha do parâmetro de conectividade entre os *pixels* de uma mesma mancha para delinear seu alcance influenciará o resultado da medida.

2.2.6.3 Índice de Maior Mancha (IMM)

Trata-se de uma métrica efetiva para se medir a fragmentação de uma classe (Batistella et al., 2003). Este índice mede a porcentagem do total da área da paisagem composta pela maior mancha. IMM é igual à área da maior mancha de uma classe, dividida pela área total da paisagem. Multiplica-se por 100 (cem) para converter o resultado em porcentagem. O resultado de IMM, portanto, é igual à porcentagem da paisagem composta pela maior mancha.

$$IMM = \frac{\max_{j=1}^n (a_{1j})}{A} (100)$$

IMM: Índice de Maior Mancha

a_{ij}: área em m² da mancha i;

A: área total da paisagem

2.2.6.4 Tamanho Médio de Manchas (TMM)

Também é uma medida de fragmentação, cujo cálculo baseia-se na dimensão da área da mancha. Basicamente o cálculo é feito pela média aritmética das áreas de um tipo específico de mancha ponderada pelo número de manchas da mesma classe.

A média é igual à soma das áreas, dividido pelo número total dessas manchas na paisagem.

$$\text{TMM} = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \left(\frac{1}{10,000} \right)$$

TMM: Tamanho Médio das Manchas

a_{ij} : área em m^2 da mancha ij ;

n_i : número de manchas da classe i na paisagem;

Os valores de TMM para uma determinada classe são inversamente proporcionais ao estado de fragmentação desta na paisagem. Menores valores de TMM indicam maior fragmentação, maiores valores médios são indicativos de menor fragmentação.

Um resumo das métricas utilizadas neste estudo é mostrado na tabela 3.

Tabela 3: Métricas de paisagem utilizadas para a análise comparativa entre os três níveis de análise.

Métrica	Fórmula	Definição	Variação
Porcentagem de Paisagem (%)	$PP = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$	Porcentagem de paisagem ocupada por uma mancha ou classe	$0 < P_{\text{land}} \leq 100$
Densidade de Manchas	$DM = \frac{n_i}{A} (10,000) (100)$	Densidade de Manchas	$DM > 0$, limitado pelo tamanho da célula
Tamanho Médio de Manchas (ha)	$TMM = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \left(\frac{1}{10,000} \right)$	Média aritmética da área das manchas em uma classe ou paisagem	$TMM > 0$, sem limite
Índice de Maior Mancha (%)	$IMM = \frac{\max_{j=1}^n (a_{ij})}{A} (100)$	Porcentagem da paisagem ocupada pela maior mancha	$0 < IMM \leq 100$

2.2.7 Aplicação de Questionários em Campo

Concomitantemente à análise dos dados via geoprocessamento e do uso de métricas de paisagem, foram feitas visitas a propriedades agrícolas em todas as áreas e sub-áreas de estudo, segundo uma amostragem estratificada aleatória, definida a partir do tamanho das manchas identificadas como propriedades de agricultura mecanizada. As manchas foram agrupadas e classificadas de acordo com seu tamanho. Foram definidas manchas agrícolas de pequeno, médio e grande porte. Após essa estratificação, aproximadamente 10% do número de manchas em cada classe de tamanho, presentes em cada nível de análise, foram definidas aleatoriamente para amostragem em campo. Definidas as amostras, foi aplicado um questionário em campo, cuja finalidade essencial foi a obtenção de dados de produção, renda, extensão da área e histórico de uso. No total foram feitas 16 visitas a propriedades agrícolas, com 24 questionários aplicados. Quando não foi possível a visita, o questionário foi aplicado na sede do sindicato dos produtores rurais em Santarém (SIRSAN).

Pretendeu-se com esse procedimento entender a variabilidade de tendências e padrões da dinâmica de uso da terra observados durante o tratamento das imagens. A abordagem exclusiva em função da dinâmica da agricultura mecanizada visou avaliar mudanças na estrutura espacial conseqüentes da dinâmica da fronteira agrícola em Santarém e Belterra, particularmente em relação ao avanço do cultivo de soja. Ao final, dúvidas ou questionamentos ocorridos durante a análise estatística sobre a dinâmica da expansão agrícola e sua associação com o desflorestamento e a nova organização espacial da região, terão sido respondidas com o suporte das entrevistas.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS

Os resultados foram obtidos tendo como base para diferenciação na análise a abordagem multitemporal para quatro classes de cobertura e uso da terra, as quais foram comparadas em diferentes níveis de paisagem. Nas seções a seguir são apresentados resultados para as métricas PP (porcentual de paisagem), IMM (índice de maior mancha), DM (densidade de manchas) e TMM (tamanho médio das manchas). Embora consideremos as quatro classes importantes indicadores da dinâmica de mudança na paisagem, os resultados referentes à classe floresta são destacados, julgando-se ser esta classe a mais importante para definir a estrutura e fragmentação da paisagem dentro das áreas de estudo.

3.1 SUB-REGIÃO DE SANTARÉM

3.1.1 Porcentagem de Paisagem e Índice de Maior Mancha

Para a sub-região de Santarém foi constatado um elevado percentual de área total ocupada pela classe floresta. O percentual dessa classe era de 76% em 1986 e de 58,4% em 2005, mostrando uma tendência de queda que também pode ser observada em outros níveis (figura 11A). Observa-se também que as classes capoeira e pastagem têm tendências contrárias. A agropecuária aumentou consideravelmente de 1,8 em 1986 a 17,5% em 1997 e manteve-se estável até 2005 (figura 11A). A agricultura intensiva ocupa 5,8% da paisagem em 2005.

Em 1986, a maior mancha na paisagem era de floresta e correspondia a 30,7% da área total. Em 2005 diminuiu a 29,2%, mas permanece como maior mancha na sub-região (figura 11B). A atividade agropecuária, assim como a pastagem, apresentam em 2005 manchas ocupando 4,6% e 0,5% da paisagem, respectivamente.

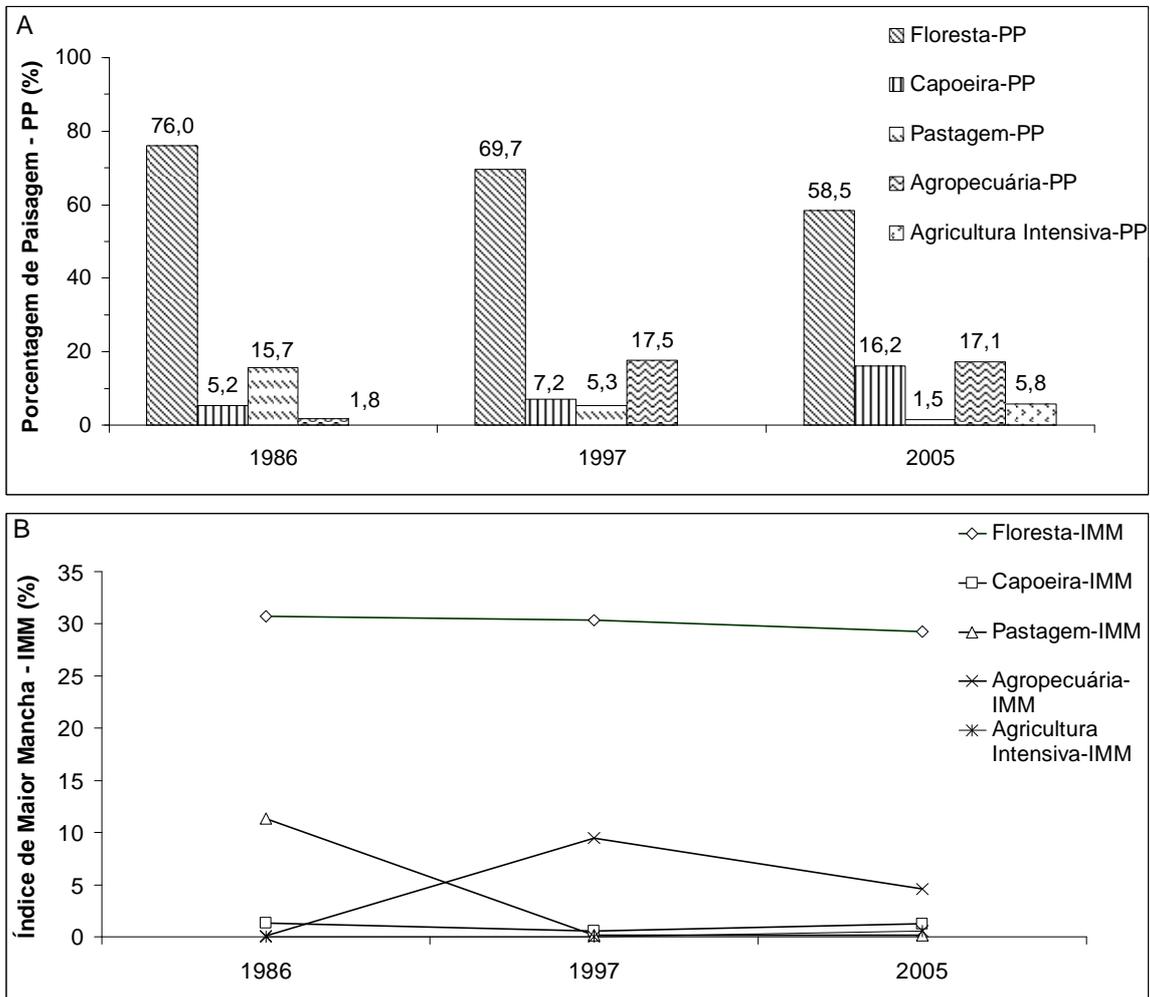


Figura 11. (A) Porcentagem de Paisagem (PP); (B) Índice de Maior Mancha (IMM) para a sub-região de Santarém.

3.1.2 Tamanho Médio e Densidade das Manchas

As medidas de densidade de manchas (DM) e tamanho médio de manchas (TMM), aplicadas para esta área mostram que para floresta o tamanho médio das áreas diminui enquanto a densidade de manchas aumenta. Em 1986 a área média das manchas de floresta correspondia a 553,7 ha e a densidade de manchas 0,14 (tabela 4). Em 2005 o TMM caiu para 195,6 ha e a densidade subiu para 0,3 fragmentos de floresta a cada cem hectares. Esta tendência ocorre somente com floresta; as demais classes mostram estabilidade ou tendência contrária. Para a capoeira, o TMM

permanece estável enquanto o DM aumenta. Com pastagem, há acentuada queda no TMM e DM sinalizando que áreas dessa classe estejam sendo convertidas em outro tipo de uso. Em 1986, o TMM de pastagem era de 142,2 ha e a DM de 0,1; em 2005 o TMM caiu para 48,2 ha e a DM para 0,03. Com agricultura intensiva, observamos o maior tamanho médio de manchas da sub-área em 2005, muito embora tenha uma das menores densidades de fragmentos.

Tabela 4: Tamanho Médio das Manchas (TMM) (ha) e Densidade de Manchas (DM) para a Sub-região de Santarém.

	Floresta		Capoeira		Pastagem		Agropecuária		Agricultura Intensiva	
	TMM	DM	TMM	DM	TMM	DM	TMM	DM	TMM	DM
1986	553,7	0,14	22,6	0,23	142,2	0,11	28,3	0,07	0,0	0,00
1997	319,0	0,22	16,8	0,43	28,0	0,19	84,6	0,21	0,0	0,00
2005	195,6	0,30	22,9	0,71	48,2	0,03	113,4	0,15	251,5	0,03

3.2 ÁREA DE OCUPAÇÃO CONSOLIDADA

3.2.1 Porcentagem de Paisagem e Índice de Maior Mancha

A área de ocupação consolidada abrange 204.311,43 ha do primeiro nível de análise. Nesta área os maiores percentuais de paisagem e índices de maior mancha são atribuídos à atividade agropecuária. Observa-se tendência de queda nos percentuais tanto de agropecuária quanto de floresta. Capoeira é a única classe em que se observa tendência de crescimento no período, de 12,4% da paisagem em 1986 para 28,9% em 2005 (figura 12A). Em 2005 as maiores manchas de floresta, capoeira, pastagem e agricultura intensiva, ocupam entre 5 e 8% da paisagem (figura 12B). A agricultura intensiva representa aproximadamente 19% da paisagem em 2005. Ao longo do período analisado observa-se uma expansão das áreas de vegetação secundária, ocupando cerca de 30% da paisagem em 2005.

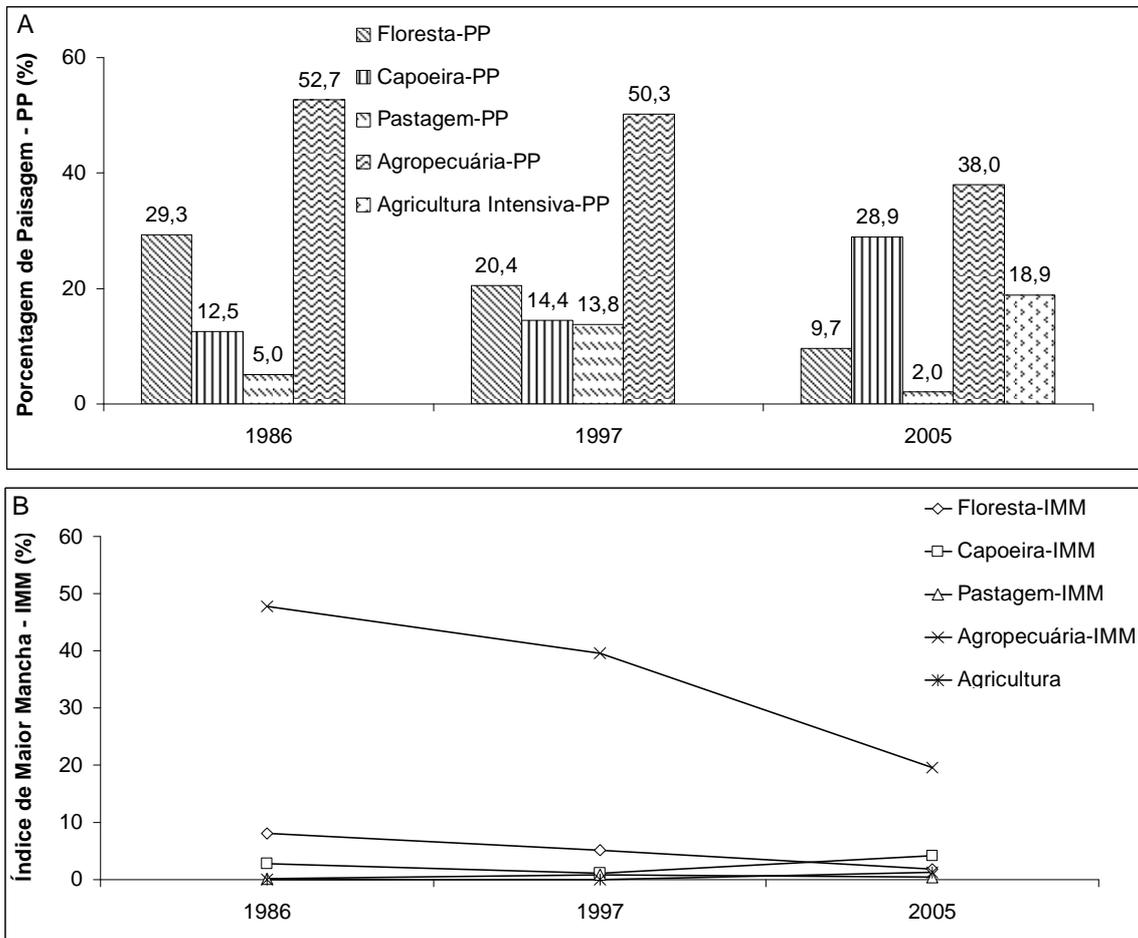


Figura 12. (A) Porcentagem de Paisagem (PP); (B) Índice de Maior Mancha (IMM) para a Área de Ocupação Consolidada

3.2.2 Tamanho Médio e Densidade das Manchas

Os resultados de métricas de densidade e de tamanho médio de manchas para a área de ocupação consolidada indicam uma aparente conversão de floresta em atividades de uso da terra. Isso pode ser observado quando analisamos os resultados de TMM e DM. Capoeira, pastagem e agricultura intensiva apresentam aumento no tamanho médio de suas manchas e queda na densidade na paisagem enquanto a floresta mostra tendência oposta. A agropecuária mostra crescimento na densidade de manchas de 1986 até 1997, ocorrendo um decréscimo a partir daí até 2005 (tabela 5).

O TMM desta classe cai de 303,5 ha em 1986 para 167,8 ha em 1997, crescendo para 196,5 ha em 2005. Em 2005, o tamanho médio das manchas de agricultura intensiva mantém-se entre os maiores, embora a densidade esteja entre as mais baixas.

Tabela 5. Tamanho Médio das Manchas (TMM) (ha) e Densidade de Manchas (DM) para a Área de Ocupação Consolidada.

	Floresta		Capoeira		Pastagem		Agropecuária		Agricultura Intensiva	
	TMM	DM	TMM	DM	TMM	DM	TMM	DM	TMM	DM
1986	83,2	0,4	17,9	0,7	30,8	0,2	303,5	0,2	0,0	0,0
1997	42,9	0,5	17,5	0,8	32,0	0,4	167,8	0,3	0,0	0,0
2005	39,7	0,2	48,1	0,6	48,5	0,0	196,5	0,2	192,2	0,1

3.3 SUB-ÁREAS SOB INFLUÊNCIA DE EIXOS VIÁRIOS

3.3.1 Rodovia BR 163 (Santarém-Cuiabá) – Sub-áreas de influência Norte e Sul

3.3.1.1 Porcentagem de Paisagem e Índice de Maior Mancha

A agropecuária ocupava 1% do total da paisagem na sub-área norte da rodovia BR 163, 57,9% em 1997 e 26,9% em 2005 (figura 13A). Em 1986, a pastagem ocupava 26% da paisagem, mas em 2005 desaparece completamente. De 1986 a 2005 ocorre queda nos percentuais de floresta e capoeira, acompanhada por queda também no IMM dessas classes. Em 2005 a maior mancha da paisagem é de agricultura intensiva, com aproximadamente 10% (figura 13B).

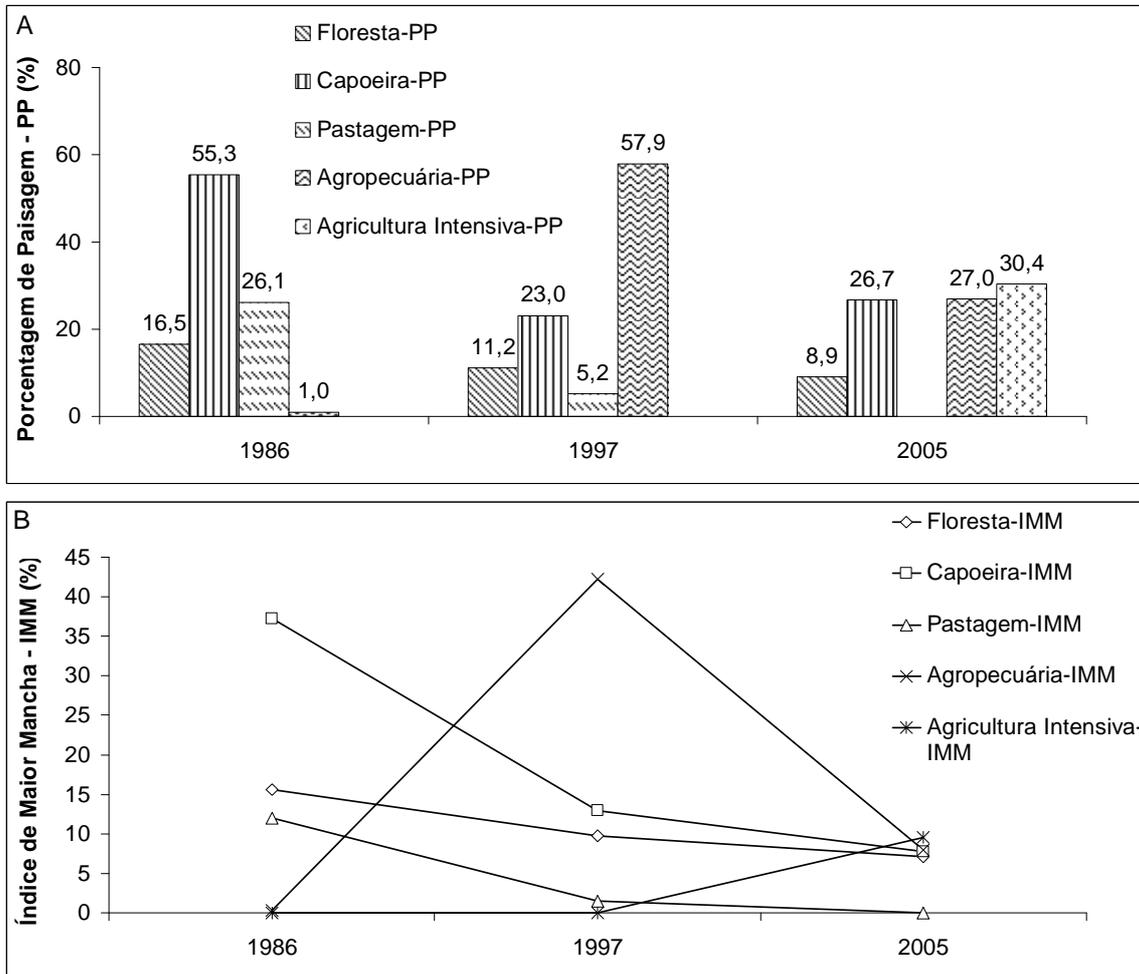


Figura 13. (A) Porcentagem de Paisagem (PP); (B) Índice de Maior Mancha (IMM) para a Sub-área Norte da BR 163.

Para a sub-área sul observa-se uma paisagem com maior diferenciação na representatividade entre as classes de uso e cobertura. Nessa área também foi observado o maior percentual de desflorestamento, cerca de 35,5% de floresta foram convertidos de 1986 a 2005 (figura 14A). Somente no período entre 1997 e 2005, foram convertidos aproximadamente 21% de floresta. Em 2005 o percentual da paisagem ocupado por esta classe é de cerca de 30%, incluindo a maior mancha contínua na paisagem com 15,3% (figura 14B).

De 1986 a 2005, verifica-se queda nas classes com maior porcentual e crescimento daquelas que detinham menores percentuais, como agropecuária e capoeira. Com capoeira, ocorre crescimento considerável ao longo dos anos, tendência

contrária ao observado ao norte. Em 2005, passa a ocupar a maior parte da paisagem com cerca de 32%. A presença de agricultura intensiva na sub-área sul é menor que ao norte, representando 15,3% da paisagem ao sul.

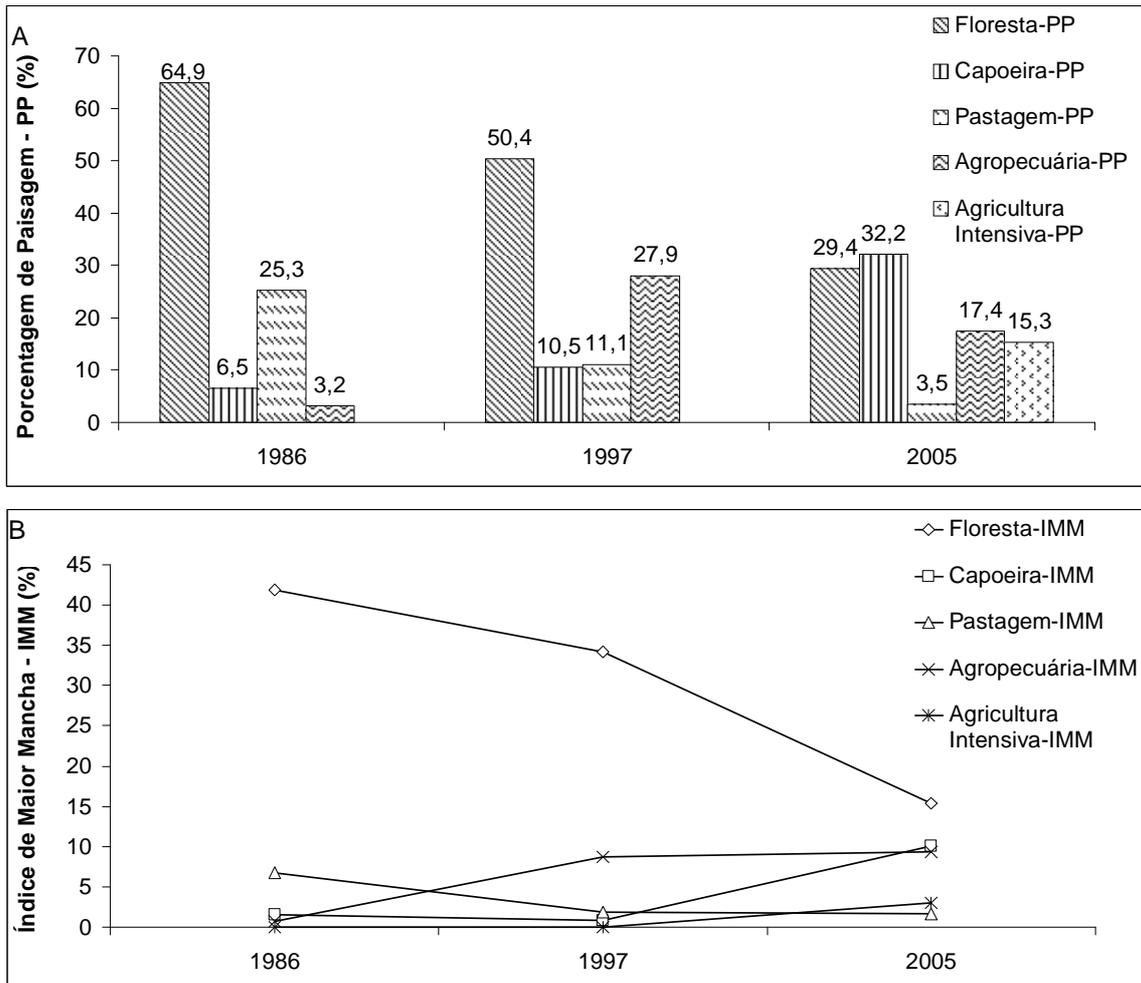


Figura 14. (A) Porcentagem de Paisagem (PP); (B) Índice de Maior Mancha (IMM) para a Sub-área Sul da BR 163.

Em geral, observa-se clara diferença entre as sub-áreas norte e sul com relação à porcentagem de paisagem ocupada, sobretudo por floresta. A região mais ao norte, próxima ao entorno das cidades de Santarém e Belterra, apresenta uma menor porcentagem para esta classe quando comparada à sub-área ao sul. Porém, a

porcentagem de floresta convertida no período analisado é maior na sub-área sul. Em ambas as sub-áreas deste eixo viário, a classe pastagem apresenta declínio em todos os anos.

3.3.1.2 Tamanho Médio e Densidade das Manchas

Na rodovia BR 163 o tamanho médio das manchas de floresta diminui em ambas as porções, mas principalmente ao sul, onde o TMM cai em 152,1 ha no período (tabela 6). A densidade de manchas para esta classe ao norte permanece estável de 1986 a 2005 e aumenta consideravelmente na sub-área sul (tabela 6). A DM de capoeira aumenta ao norte e ao sul e o TMM diminui significativamente ao norte e aumenta ao sul. Os valores de DM de pastagem e agropecuária são maiores em 1997 nos dois setores. O TMM de agropecuária apresenta crescimento no período de 1986 a 1997 ao norte e ao sul. De 1997 a 2005 diminui ao norte e incrementa ao sul. As manchas de agricultura intensiva em 2005 são maiores na parte sul (tabela 6), porém em maior número ao norte (tabela 7).

Tabela 6. Tamanho Médio das Manchas (ha) para a área de influência da BR 163 (Santarém-Cuiabá)

	Floresta		Capoeira		Pastagem		Agropecuária		Agricultura Intensiva	
	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul
1986	93,0	202,4	236,4	12,4	257,7	125,5	15,8	17,3	0,0	0,0
1997	161,1	107,2	63,9	11,0	30,3	25,6	161,0	72,1	0,0	0,0
2005	50,7	50,3	39,6	29,1	0,0	83,3	95,2	88,5	87,7	131,8

Em geral a densidade de manchas é maior na sub-área sul para capoeira e floresta. No setor sul da BR 163 o TMM de floresta cai de 202,4 ha (DM=0,3) em 1986 para 50,3 ha em 2005 (DM= 0,6), sinalizando claramente o processo de fragmentação florestal (tabelas 6 e 7).

Tabela 7. Densidade de Manchas para a área de influência da BR 163 (Santarém-Cuiabá)

	Floresta		Capoeira		Pastagem		Agropecuária		Agricultura Intensiva	
	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul
1986	0,2	0,3	0,2	0,5	0,1	0,2	0,1	0,2	0,0	0,0
1997	0,1	0,5	0,4	1,0	0,2	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0
2005	0,2	0,6	0,7	1,1	0,0	0,0	0,3	0,2	0,3	0,1

3.3.2 Estrada PA 433 (Comunidade Morada Nova-Comunidade Jaboti)

3.3.2.1 Porcentagem de Paisagem e Índice de Maior Mancha

Na área de influência da PA 433, a agropecuária detém os maiores percentuais de paisagem, com aproximadamente 71% ao norte e 63% ao sul em 1986 (figuras 15A e 16A). Os índices de maior mancha desta classe também são maiores em todos os anos de análise (figuras 15B e 16B).

A classe floresta é mais representativa na porção sul. Em 1986, essa classe representava aproximadamente 31,3% da paisagem ao sul contra 3,6% ao norte (figuras 15A e 16A). Em ambas as sub-áreas ocorrem reduções nos percentuais ao longo do período de estudo. A cobertura por floresta é mais pronunciada ao sul em termos absolutos. Entre 1997 e 2005 é erradicada na sub-área norte. Nos dois setores, não ocorrem áreas de pastagem em 2005. A agricultura intensiva é mais evidente ao norte com 33,8% em 2005, contra 18,6% ao sul no mesmo ano (figuras 15A e 16A). A maior mancha dessa classe encontra-se ao norte, ocupando uma área equivalente a 14% da sub-área (figuras 15B e 16B).

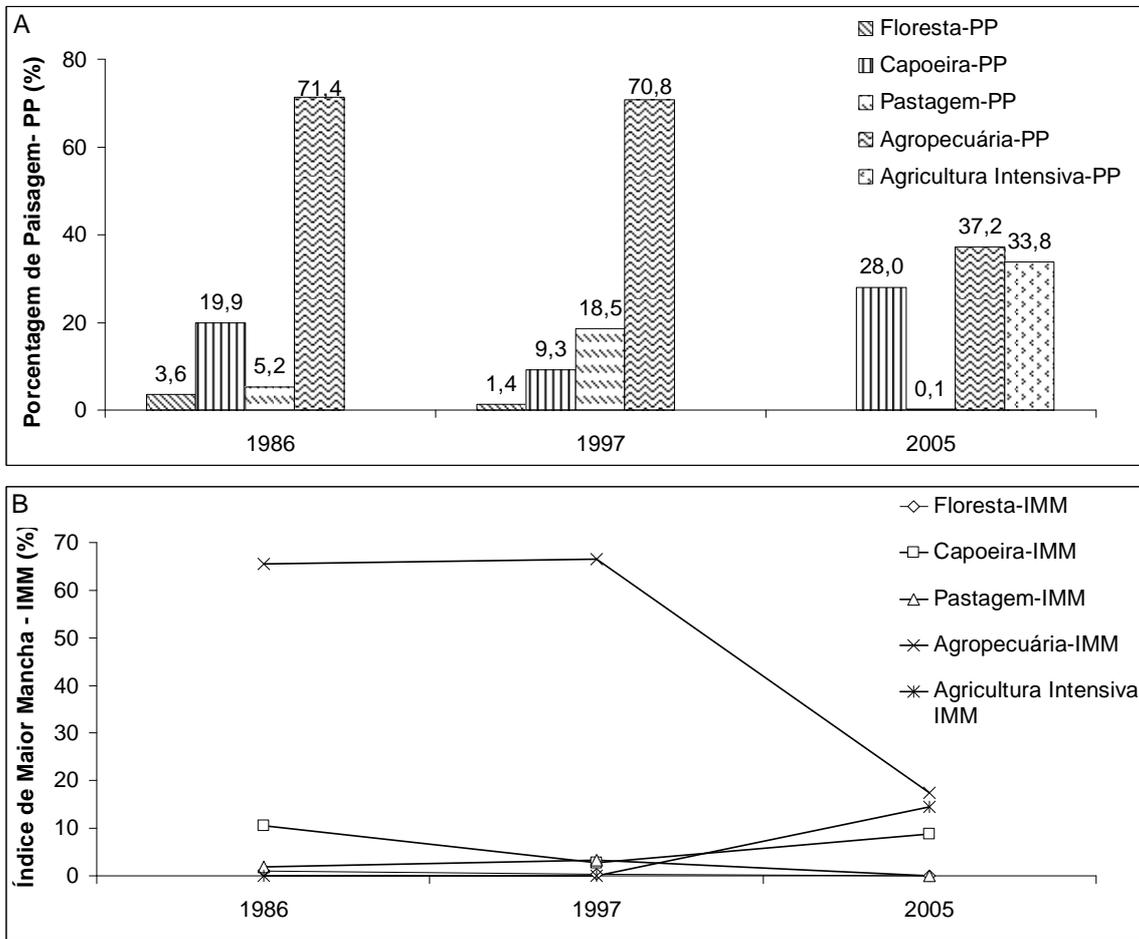


Figura 15: (A) Porcentagem de Paisagem (PP); (B) Índice de Maior Mancha (IMM) para a sub-área Norte da PA 433

As áreas de vegetação secundária se estendem pelos dois setores. No setor sul é observada a maior expansão dessa vegetação ao longo dos anos, com crescimento de 27,1% entre 1986 e 2005 (figura 16A). Ainda ao sul, as maiores manchas contínuas encontradas são de agropecuária e capoeira, ocupando cada 13% da sub-área (figura 16B).

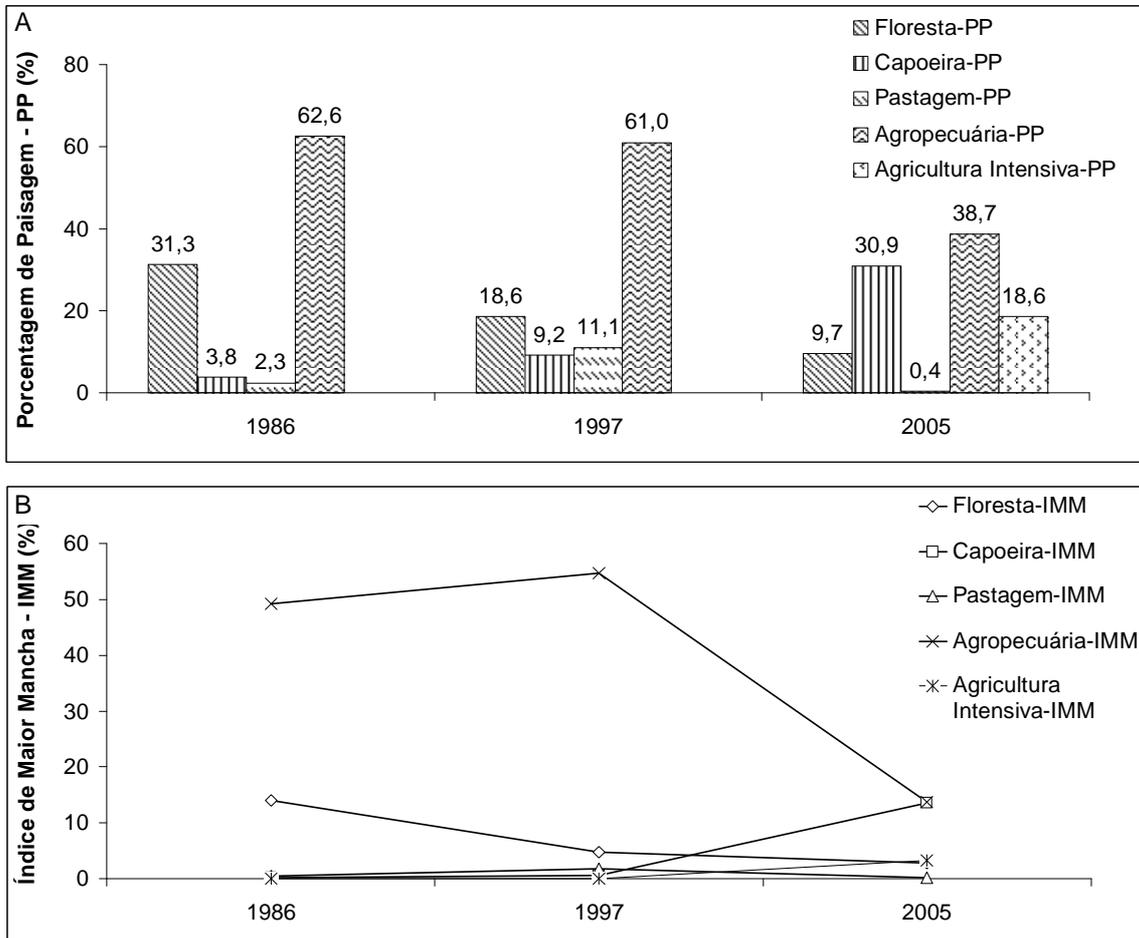


Figura 16: (A) Porcentagem de Paisagem (PP); (B) Índice de Maior Mancha (IMM) para a sub-área Sul da PA 433.

3.3.2.2 Tamanho Médio e Densidade das Manchas

Nas sub-áreas norte e sul observam-se reduções tanto no TMM quanto na DM de floresta no decorrer de todo período de análise (tabelas 8 e 9). Se a atual tendência se mantiver, em pouco tempo ocorrerá o desaparecimento por completo das áreas de floresta nas duas sub-áreas, sobretudo na parte norte.

Tabela 8. Densidade de Manchas para a área de influência da PA 433 (Cmde. Morada Nova-Cmde. Jaboti)

	Floresta		Capoeira		Pastagem		Agropecuária		Agricultura Intensiva	
	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul
1986	0,24	0,59	0,54	1,18	0,19	0,09	0,23	0,21	0,00	0,00
1997	0,16	0,61	0,41	0,88	0,69	0,36	0,25	0,29	0,00	0,00
2005	0,02	0,31	0,19	0,91	0,02	0,03	0,30	0,22	0,28	0,09

Na sub-área sul, que em 1986 detinha maiores médias para manchas de floresta com 52,6 ha, em 2005 apresenta TMM de 31,4 ha, diminuição média nos fragmentos de 21,2 ha (tabela 9). Por outro lado observamos que classes de uso como agropecuária, que detinha maiores valores de TMM em 1986, vem caindo ao longo dos anos enquanto sua DM manteve-se praticamente estável. O tamanho médio de manchas de agropecuária reduz de 315 ha em 1986 para 124,3 ha em 2005 ao norte (tabela 9). A agricultura intensiva apresenta maiores manchas ao sul, com TMM de 202,8 ha (tabela 9), sendo a DM maior ao norte (tabela 8). Com pastagem, ocorre diminuição do TMM e DM principalmente entre os anos de 1997 e 2005 nos dois setores.

Tabela 9. Tamanho Médio das Manchas (ha) para a área de influência da PA 433 (Cmde. Morada Nova- Cmde. Jaboti)

	Floresta		Capoeira		Pastagem		Agropecuária		Agricultura Intensiva	
	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul
1986	14,7	52,6	36,8	3,2	26,7	25,7	315,7	300,2	0,0	0,0
1997	8,6	30,6	22,5	10,5	27,0	31,1	282,8	213,5	0,0	0,0
2005	1,1	31,4	144,6	34,1	7,9	14,9	124,3	175,8	119,4	202,8

Na PA 433 (Cmde. Morada Nova - Cmde. Jaboti) as maiores manchas presentes são de agropecuária, tanto ao norte quanto ao sul, em toda a série temporal. O TMM de floresta no período diminuiu 13,6 ha ao norte e 21,2 ha ao sul no período de 1986 a 2005 (tabela 9), ao mesmo tempo em que ocorre diminuição de DM nas duas sub-áreas. Na sub-área norte do eixo viário a fração de floresta remanescente

praticamente desaparece. A tendência observada corrobora com a perspectiva de aumento de conversão da fração de floresta remanescente, que em geral, em todos os eixos viários, tem-se constatado estar mais concentrado nas áreas ao sul.

O tamanho médio das manchas de vegetação secundária cresce significativamente ao norte, com taxa de crescimento de 1997 a 2005 de 84,5%. Ao sul, a taxa para o mesmo período é de 69,3%. Verifica-se ao sul, sobretudo em 2005, que a densidade destas manchas é maior, sendo de 0,9 ao sul e 0,1 ao norte (tabela 8). Na porção sul, portanto predominam pequenas manchas de capoeira enquanto ao norte, manchas maiores e contíguas.

3.3.3 Estrada PA 431 (Santarém-Mojuí dos Campos) e estrada PA 445 (Distrito de Mojuí dos Campos-Comunidade de Igarapé das Pedras)

3.3.3.1 Porcentagem de Paisagem e Índice de Maior Mancha

Em geral, há predomínio do uso da terra por atividades agropecuárias na área de influência deste eixo viário. Isso é constatado nas duas sub-áreas em todos os anos. Os valores das maiores manchas acompanharam os altos percentuais de paisagem da classe e também são os maiores durante todos os anos de estudo. A sub-área ao norte apresenta padrão espacial menos complexo que a sub-área ao sul. Ao norte, no ano de 2005, verifica-se predomínio absoluto de uso por agropecuária, agricultura intensiva e pastagem. Juntas, essas classes somam quase 90% da paisagem (figura 17A). No setor sul, mesmo em 2005 a cobertura por floresta ainda representa 10,3% (figura 18A). Ao sul, a maior mancha presente de floresta, capoeira, pastagem e agricultura intensiva, praticamente equivalem-se. Elas ocupam cerca de 4% da paisagem em 2005 (figura 18B).

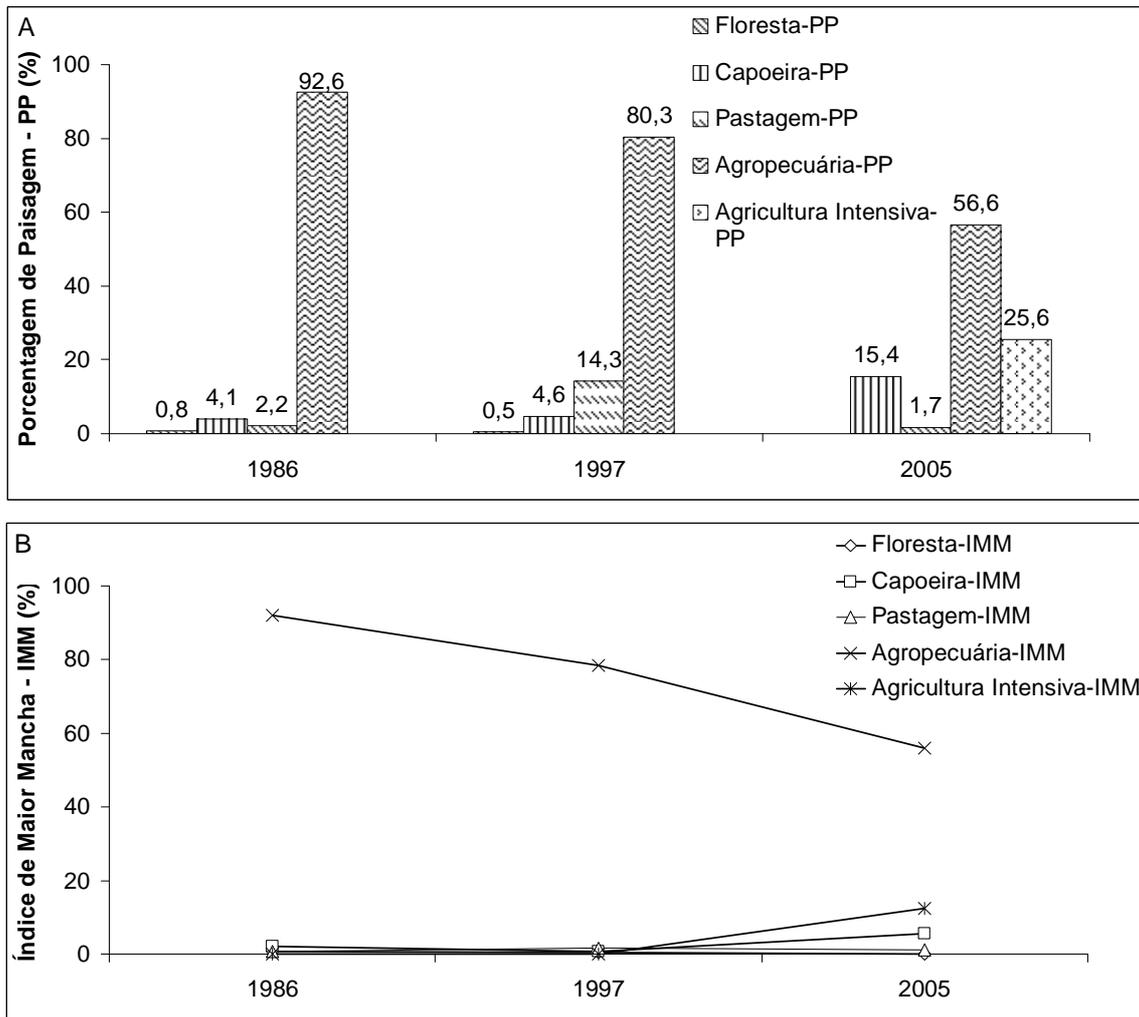


Figura 17: (A) Porcentagem de Paisagem (PP); (B) Índice de Maior Mancha (IMM) para a sub-área Norte da PA 431/445.

Como em outros eixos viários, a tendência na diminuição da cobertura vegetal é evidente, mesmo nas sub-áreas mais afastadas dos núcleos urbanos. A sub-área ao sul mostra-se mais heterogênea e em 2005 é composta por 41,3% de agropecuária, 20,9% de agricultura intensiva, 20,2% de capoeira, 10,3% floresta e 5% de pastagem (figura 18A). Nesta área, que inclui pequenas comunidades, foi identificada uma mancha de agropecuária cuja extensão compõe cerca de 30% da sub-área sul (figura, 18B). A maior mancha de agricultura intensiva é encontrada ao norte, e ocupa cerca de 15% do total da paisagem, (figura 17B).

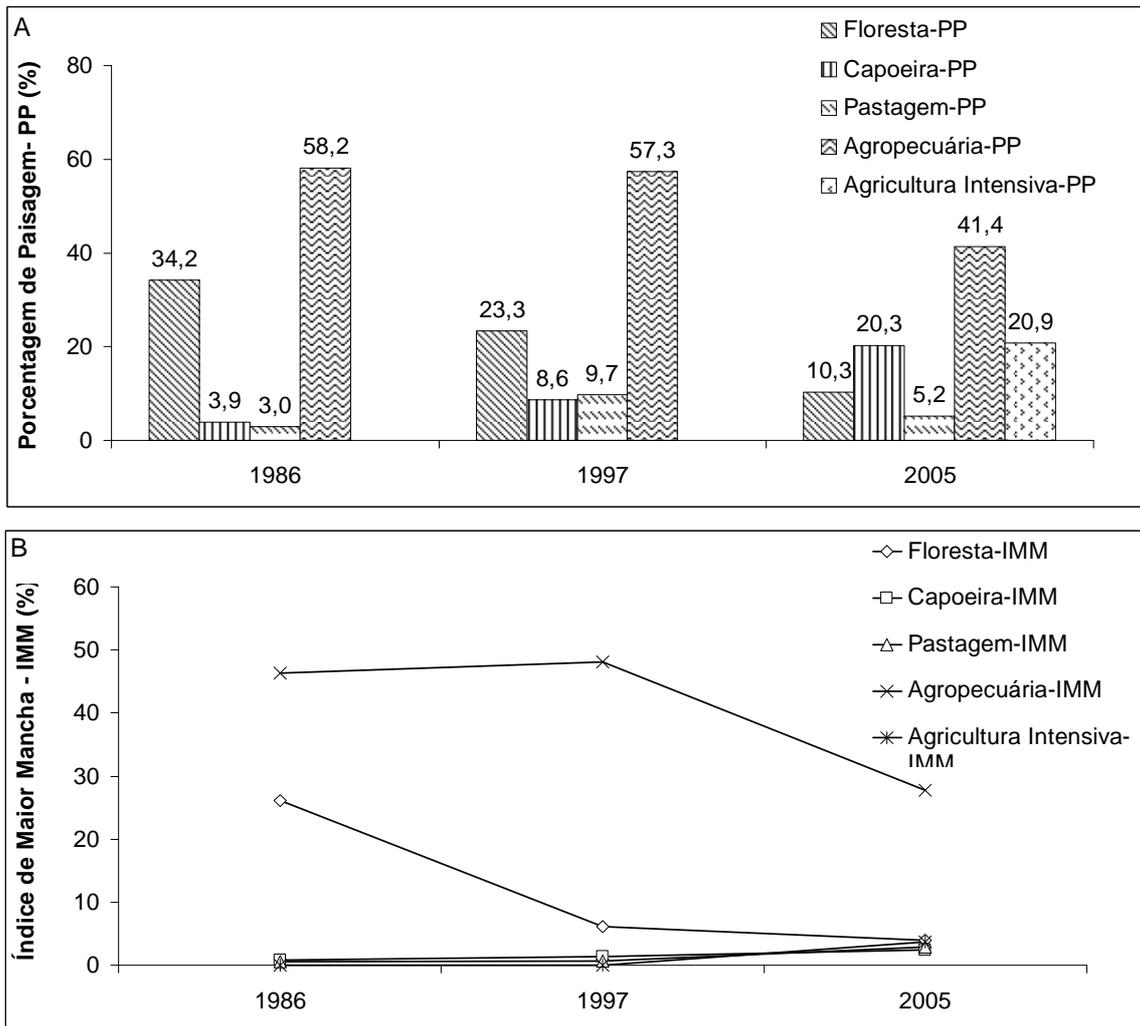


Figura 18: (A) Porcentagem de Paisagem (PP); (B) Índice de Maior Mancha (IMM) para a sub-área Sul da PA 431/445

3.3.3.2 Tamanho Médio e Densidade das Manchas

O TMM de floresta diminui nas duas sub-áreas, principalmente ao sul. Na sub-área norte reduz de 33,5 ha em 1986 para 0 (zero) em 2005 (tabela 10). Ao sul, para a mesma classe, o TMM cai de 105,3 ha em 1986 para 44,8 ha em 2005. As maiores densidades de manchas no ano de 2005 são encontradas ao sul e correspondem a manchas de vegetação secundária (tabela 11). A parte sul desta zona

de influência é mais distante do núcleo urbano de Mojuí dos Campos. Ao norte, onde se inclui a vila, o número de manchas é pequeno para todas as classes.

Tabela 10: Tamanho Médio das Manchas (ha) para a área de influência da PA 431 e 445 (Santarém-Mojuí dos Campos- Cmde. Igarapé das Pedras)

	Floresta		Capoeira		Pastagem		Agropecuária		Agricultura Intensiva	
	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul
1986	33,5	105,3	14,0	4,0	20,5	14,5	714,1	181,5	0,0	0,0
1997	20,1	38,8	10,9	8,5	24,5	21,0	330,0	159,8	0,0	0,0
2005	0,0	44,8	118,4	32,5	52,7	68,4	367,2	144,0	262,5	153,4

A vegetação secundária apresenta tendências diferenciadas nas duas sub-áreas. Ao norte esta classe diminui em número, pois a densidade de manchas que ocorrem a cada 100 ha diminui. Ao sul ocorre aumento no TMM e em DM. Nesta área, capoeira é a única classe com tendência de crescimento para todas as métricas calculadas. Houve aumento no TMM de pastagem nas duas sub-áreas e diminuição a praticamente zero em densidade também nos dois setores (tabela 11).

Ao norte e ao sul as maiores manchas presentes são de agropecuária. O TMM de agropecuária é 367,2 ha ao norte e 144 ha ao sul, em 2005 (tabela 10). O TMM de agricultura intensiva também é elevado tanto ao norte quanto ao sul. Ao norte a média no tamanho das manchas é de 262,5 ha e ao sul de 153,4 ha (tabela 10).

Tabela 11. Densidade de Manchas para a área de influência da PA 431 e 445 (Santarém-Mojuí dos Campos- Cmde Igarapé das Pedras).

	Floresta		Capoeira		Pastagem		Agropecuária		Agricultura Intensiva	
	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul
1986	0,0	0,3	0,3	1,0	0,1	0,2	0,1	0,3	0,0	0,0
1997	0,0	0,6	0,4	1,0	0,6	0,5	0,2	0,4	0,0	0,0
2005	0,0	0,2	0,1	0,6	0,0	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1

3.3.4 Rodovia PA 370 (Santarém – Hidrelétrica de Curuá-Una)

3.3.4.1 Porcentagem de Paisagem e Índice de Maior Mancha

Na área de influência da PA 370, rodovia que liga o município de Santarém à Usina Hidrelétrica de Curuá-Una, encontramos na sub-área ao norte os maiores percentuais de uso da terra. A exemplo da PA 431/445 há predomínio da atividade agropecuária. Os percentuais de paisagem dessa classe não sofrem redução significativa no período. Em 1986, a sub-área norte era composta em 75,3% por essa atividade (figura 19A). Ao longo de dezenove anos ocorreu uma diminuição de somente 7,4% na percentual relativo de sua abrangência no setor. A agropecuária é composta basicamente pelas pequenas propriedades rurais.

A atividade agrícola intensiva ao norte detém 17,5% da área total em 2005 (figura 19A). A maior mancha de agropecuária é encontrada ao norte, chegando a cerca de 70% da paisagem (figura 19B). Nesta sub-área são encontrados vários núcleos urbanos consolidados como as comunidades de Boa Esperança e Jacamim, podendo ter diretamente influenciado o resultado.

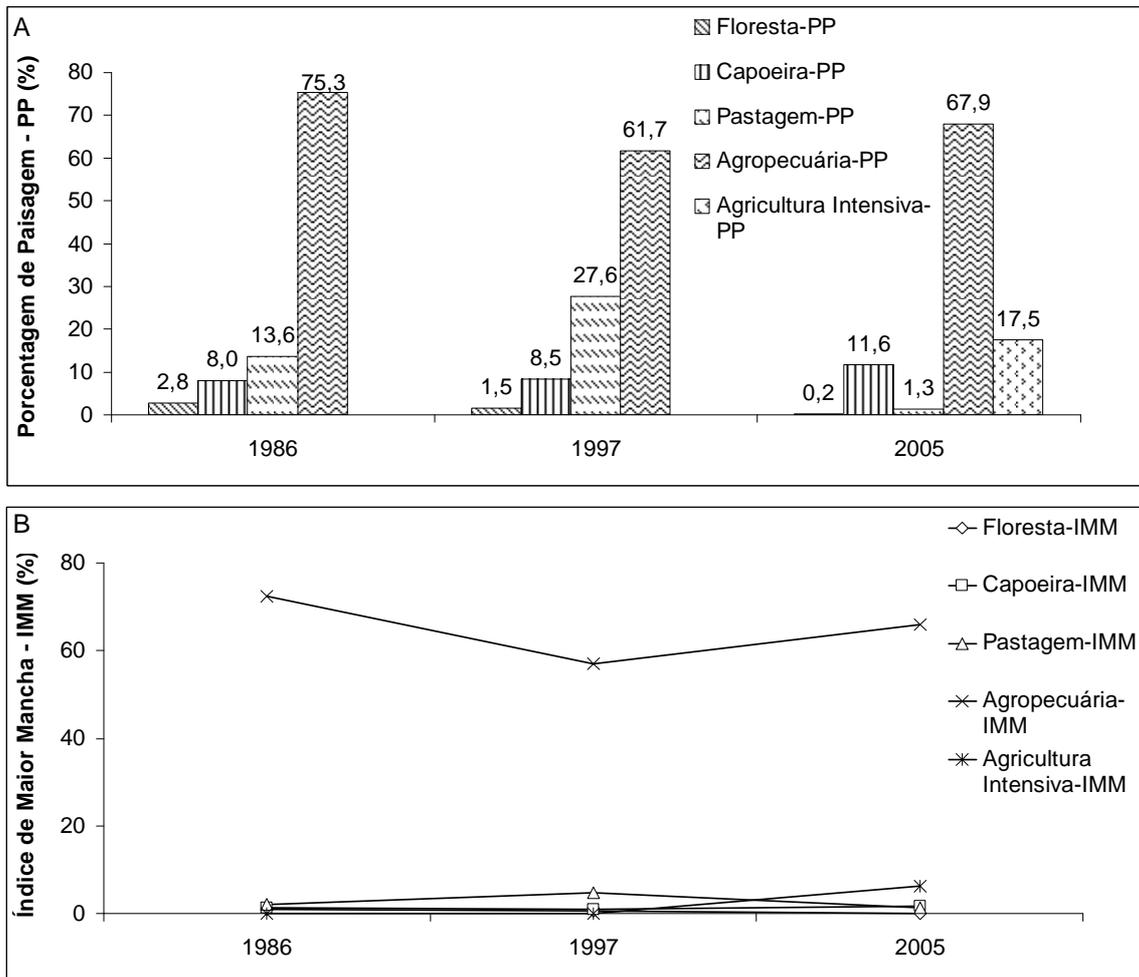


Figura 19: (A) Porcentagem de Paisagem (PP); (B) Índice de Maior Mancha (IMM) para a sub-área Norte da PA 370.

Na sub-área ao sul, mais próxima da hidrelétrica de Curuá-Una, observa-se uma paisagem mais heterogênea, com maior complexidade. Na zona de influência do eixo ao sul foram encontrados os maiores remanescentes de cobertura florestal presentes no eixo PA 370. Nesta sub-área houve também a maior redução desta classe, de 35,5% em 1986 a 9,8% em 2005 (figura 20A): uma redução de 25,7% em 19 anos. Neste setor a vegetação secundária representa 32% da paisagem. A cobertura vegetal total (floresta + capoeira) contabiliza cerca de 41%. A agropecuária sofre pouca redução, de 40,3% em 1986 para 36,7% em 2005 (figura 20A). Houve redução acentuada nas áreas de pastagem, de 12% em 1986 para 2,5% em 2005. A agricultura intensiva é maior, ocupando cerca de 17% da paisagem sul até 2005. Assim como ao

norte, a maior mancha identificada nesta área é de agropecuária, aproximadamente 15% (figura 20B).

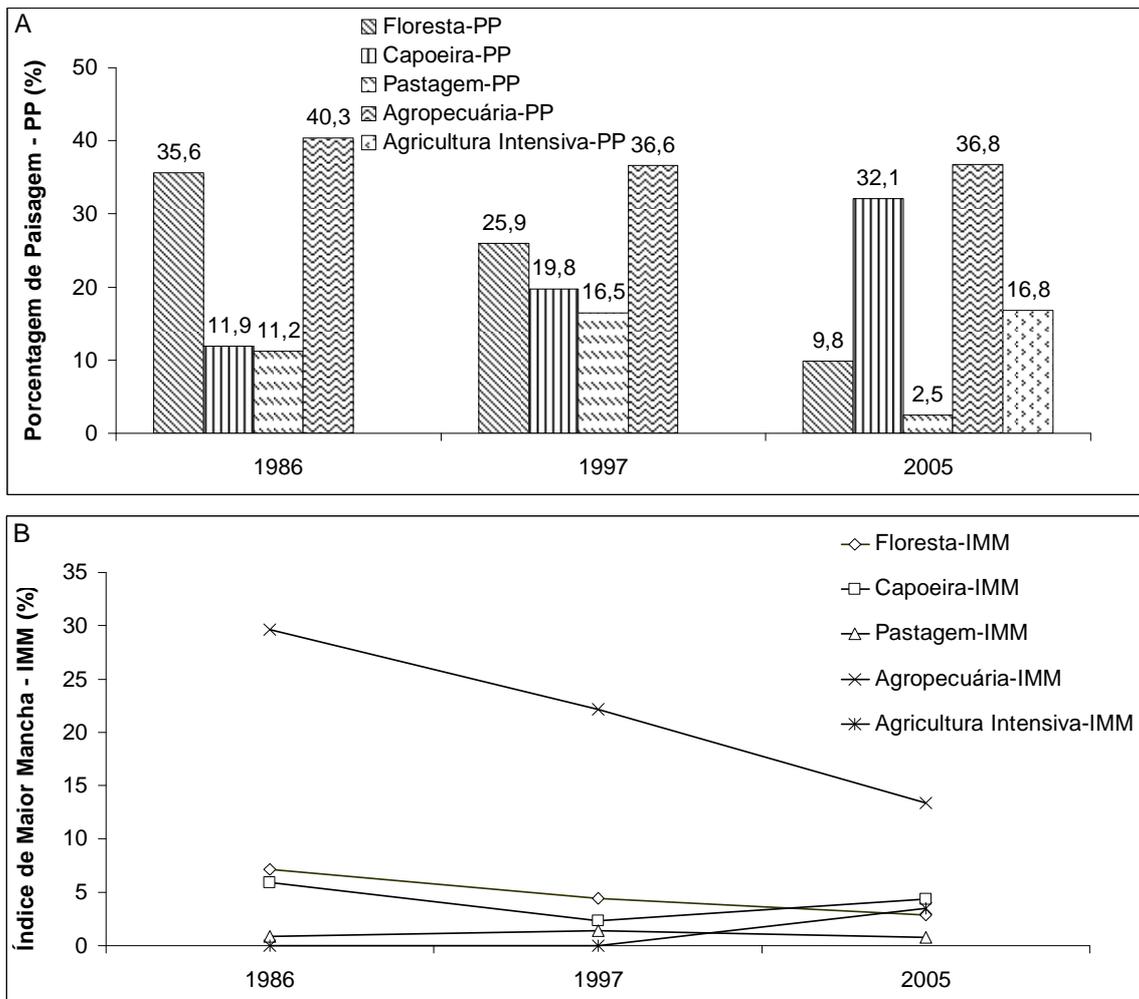


Figura 20: (A) Porcentagem de Paisagem (PP); (B) Índice de Maior Mancha (IMM) para a sub-área Sul da PA 370.

3.3.4.2 Tamanho Médio e Densidade das Manchas

Observa-se redução no TMM de floresta tanto na sub-área norte quanto na sub-área sul. A densidade de manchas para esta classe também diminui nas porções

norte e sul. Na porção sul a redução foi maior, de 0,6 em 1986 a 0,4 manchas por cem hectares em 2005 (tabela 12). Em 1997, as manchas de floresta ao sul atingem densidade máxima de uma a cada cem hectares.

Tabela 12. Densidade de Manchas para a área de influência da PA 370 (Santarém-Curuá-Una).

	Floresta		Capoeira		Pastagem		Agropecuária		Agricultura Intensiva	
	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul
1986	0,2	0,6	0,4	0,9	0,4	0,3	0,3	0,3	0,0	0,0
1997	0,2	1,0	0,6	1,5	0,8	0,5	0,3	0,5	0,0	0,0
2005	0,1	0,4	0,4	0,7	0,0	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1

Capoeira apresenta considerável quantidade de manchas por cem hectares em 1997 na sub-área sul. Os valores de densidade para esta classe diminuem ao longo dos anos, com 0,7 manchas ao sul e 0,4 ao norte em 2005 (tabela 12). As densidades de manchas de pastagem reduzem em ambas as sub-áreas, sobretudo na parte norte que em 1997 era de 0,8 e decaiu a 0 (zero) em 2005. A agropecuária e a agricultura intensiva praticamente se mantêm estáveis para a densidade de manchas no período em que se apresentam.

O tamanho médio de manchas (TMM) de floresta apresenta queda ao longo dos 19 anos tanto na porção norte quanto na porção sul. Na sub-área ao norte ocorre diminuição de 14,5 ha em 1986 para 3,0 ha em 2005 (tabela 13). Ao sul, a redução é de 57,0 ha em 1986 para 26,7 ha em 2005. Classes de uso como pastagem e agropecuária apresentam incremento no tamanho médio das manchas no período. A agricultura intensiva situada ao norte detém as maiores médias de tamanho das manchas.

Tabela 13. Tamanho Médio das Manchas (ha) para a área de influência da PA 370 (Santarém - Curuá-Una).

	Floresta		Capoeira		Pastagem		Agropecuária		Agricultura Intensiva	
	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul
1986	14,5	57,0	20,0	12,7	38,5	35,8	219,4	119,0	0,0	0,0
1997	8,2	26,7	13,3	13,0	35,1	35,9	199,1	80,7	0,0	0,0
2005	3,0	26,7	25,9	45,0	114,7	47,5	422,6	134,9	158,2	143,0

3.4 ANÁLISES MULTIESCALARES: DIVERGÊNCIAS QUANTITATIVAS E QUALITATIVAS

O uso de medidas capazes de quantificar a estrutura da paisagem tem sido uma importante ferramenta da ecologia de paisagens (Turner & Gardner, 1991; Wiens & Moss, 1999). Utilizar métricas com essa capacidade é bastante conveniente para entender o padrão, mas fortemente limitado quando não se detém um entendimento teórico apropriado da aplicabilidade e do comportamento da medida em relação à dinâmica espacial do processo. A tabela 14 mostra como os resultados para a classe floresta podem ser fortemente impactados quando são comparados com os demais níveis de análise. Nela é exemplificado como a abordagem de um processo de abrangência regional requer análise local para seu entendimento. Por exemplo, para a sub-região de Santarém, a conversão de floresta representa apenas 17,6%; porém ao analisá-la sob a ótica de uma escala mais detalhada, como ocorre na sub-área sul da BR 163, verifica-se que a conversão foi de 35,5%, muito maior e com implicações sobre a legislação florestal vigente.

Tabela 14. Conversão de Floresta (%) observada no período de 1986 a 2005.

Nível de Análise	Subárea	1986	2005	Tx. de Conversão	Área total (ha)	Área convertida (ha)
Sub-região de Santarém		76,0	58,5	17,6	999.951,5	175.521,5
Área de Ocupação Consolidada		29,3	9,7	19,6	204.311,4	40.095,3
BR 163	N	16,5	8,9	7,5	15.854,5	1.193,7
	S	64,9	29,4	35,5	36.146,8	12.835,3
PA 433	N	3,6	0,0	3,6	12.379,3	439,7
	S	31,3	9,7	21,6	34.991,2	7.548,0
PA 431 e 445	N	0,8	0,0	0,8	12.294,5	100,2
	S	34,2	10,3	23,8	26.487,4	6.312,5
PA 370	N	2,8	0,2	2,6	18.066,8	468,4
	S	35,6	9,8	25,8	37.441,0	9.645,6

Obs. Resultado baseado no cálculo de porcentagem de paisagem obtido nos dois anos de análise.

O mesmo pode ser observado com capoeira. O resultado para a grande área de estudo, a sub-região de Santarém, sugere que houve crescimento de vegetação secundária em 11%, em toda região (tabela 15). Este dado não corrobora o resultado obtido, por exemplo, na sub-área norte do eixo da BR 163, onde houve redução de 28,6% ou 4.540,7 ha. A análise conjunta das sub-áreas dos eixos permite inferir que a dinâmica do processo de mudança é diferente entre elas. A expansão da vegetação secundária é mais acentuada nas sub-áreas ao sul. Ao norte, quando não houve conversão, o incremento foi menor.

Tabela 15. Conversão para Capoeira (%) observada no período de 1986 a 2005.

Nível de Análise	Subárea	1986	2005	Conversão	Área total (ha)	Área Convertida (ha)
Sub-região de Santarém		5,2	16,2	11,0	999.951,5	109.804,7
Área de Ocupação Consolidada		12,5	28,9	16,4	204.311,4	33.592,7
BR 163	N	55,3	26,7	-28,6	15.854,5	-4.540,7
	S	6,5	32,2	25,6	36.146,8	9.271,4
PA 433	N	19,9	28,0	8,2	12.379,3	1.009,3
	S	3,8	30,9	27,2	34.991,2	9.506,1
PA 431 e 445	N	4,1	15,4	11,3	12.294,5	1.387,9
	S	3,9	20,3	16,4	26.487,4	4.343,8
PA 370	N	8,0	11,6	3,6	18.066,8	658,8
	S	11,9	32,1	20,2	37.441,0	7.545,2

Obs. Resultado baseado no cálculo de porcentagem de paisagem obtido nos dois anos de análise.

A conversão de pastagens é o único resultado comum para todos os níveis de análise (tabela 16). Para a grande área de estudo, o resultado indica a conversão de quase 100% da área inicial em 1986. O mesmo pode ser observado nos demais níveis, como na sub-área ao norte da BR 163, PA 433 e PA 370, onde a maior parte das áreas destinadas para pastagem foram convertidas em outro tipo de uso e cobertura da terra. Por estarem mais próximas aos centros urbanos, possivelmente as pastagens localizadas nas sub-áreas ao norte deram lugar à agricultura intensiva.

Tabela 16. Conversão de Pastagem (%) observada no período de 1986 a 2005.

Nível de Análise	Subárea	1986	2005	Conversão	Área total (ha)	Área Convertida (ha)
Sub-região de Santarém		15,7	1,5	-14,2	999.951,5	-142.060,1
Área de Ocupação Consolidada		5,0	2,0	-3,0	204.311,4	-6.163,1
BR 163	N	26,1	0,0	-26,1	15.854,5	-4.135,7
	S	25,3	3,5	-21,9	36.146,8	-7.903,7
PA 433	N	5,2	0,1	-5,0	12.379,3	-623,6
	S	2,3	0,4	-1,9	34.991,2	-671,6
PA 431 e 445	N	2,2	1,7	-0,5	12.294,5	-55,8
	S	3,0	5,2	2,2	26.487,4	571,8
PA 370	N	13,6	1,3	-12,4	18.066,8	-2.235,2
	S	11,2	2,5	-8,6	37.441,0	-3.237,4

Obs. Resultado baseado no cálculo de porcentagem de paisagem obtido nos dois anos de análise.

O resultado para a agropecuária na sub-região de Santarém indica crescimento de 15,3% de 1986 a 2005 (tabela 17). Entretanto, com exceção da BR 163, todos os eixos viários mostraram conversão desta classe. A mudança para outro tipo de uso ou cobertura é particularmente observada nas sub-áreas ao norte. Porém, tendo em vista o pequeno crescimento das áreas de vegetação secundária ocorrido nessas sub-áreas (tabela 15), é possível que as áreas de uso pela agropecuária ao norte tenham sido convertidas para agricultura intensiva.

Tabela 17. Conversão de Agropecuária (%) observada no período de 1986 a 2005.

Nível de Análise	Subárea	1986	2005	Conversão	Área total (ha)	Área Convertida (ha)
Sub-região de Santarém		1,8	17,1	15,3	999.951,5	152.753,6
Área de Ocupação Consolidada		52,7	38,0	-14,7	204.311,4	-30.001,3
BR 163	N	1,0	27,0	26,0	15.854,5	4.121,5
	S	3,2	17,4	14,2	36.146,8	5.131,3
PA 433	N	71,4	37,2	-34,2	12.379,3	-4.233,4
	S	62,6	38,7	-23,9	34.991,2	-8.365,9
PA 431 e 445	N	92,6	56,6	-36,0	12.294,5	-4.429,0
	S	58,2	41,4	-16,8	26.487,4	-4.460,4
PA 370	N	75,3	67,9	-7,4	18.066,8	-1.336,6
	S	40,3	36,8	-3,6	37.441,0	-1.335,2

Obs. Resultado baseado no cálculo de porcentagem de paisagem obtido nos dois anos de análise.

A análise conjunta de todas as sub-áreas evidencia a proposição de que a atividade agrícola intensiva se concentra sobretudo na porção norte dos eixos viários, desenvolvendo-se principalmente em parcelas anteriormente ocupadas por agropecuária, vegetação secundária e pastagem. No setor sul dos eixos, embora a atividade agrícola intensiva em geral ocupe menor área, a agricultura mecanizada se desenvolve com a supressão de florestas remanescentes, cujo efeito de redução é mais evidente no período que compreende a introdução e a consolidação da atividade na região, entre 1997 e 2005. Isso é particularmente observado na sub-área sul dos eixos BR 163 e PA 370. Dessa forma, o cultivo de grãos intensifica o uso em áreas sub-utilizadas no setor norte dos eixos, porém em contrapartida potencializa o desmatamento de floresta e capoeira no setor sul.

CAPÍTULO 4

DISCUSSÃO

4.1 SUB-REGIÃO DE SANTARÉM

Os padrões de uso e cobertura da terra para esta sub-região mostraram-se divergentes dos demais níveis de análise, quando analisados pelas métricas de paisagem. A delimitação da área foi preponderante para a obtenção dos resultados apresentados. Os valores de IMM encontrados para a sub-região de Santarém pressupõem pouca fragmentação da paisagem ao longo dos anos. Isto ocorre porque o índice é orientado pelo contínuo florestal existente na fronteira do Município de Santarém com Uruará e Prainha. Mesmo na escala regional, a conversão de floresta é evidente, mas a cobertura florestal no período para toda a região apresenta queda de apenas 17,5%. Ainda que de forma discreta, é possível observar pela análise regional que está havendo diminuição da cobertura original e intensificação do uso da terra, o que de fato corrobora os resultados de todos os demais níveis de análise. Mas processos diretamente relacionados com a dimensão humana do uso da terra como regeneração de vegetação, desflorestamento e intensificação agropecuária requerem análises locais para o entendimento dos padrões em escala regional (Moran & Bondízio, 1998; Brondízio, 2005; Batistella & Moran, 2007). Os resultados encontrados com as métricas de paisagem para as classes de cobertura da terra para a sub-região de Santarém refletem como a agregação da informação em escala regional, oculta dinâmicas somente observadas em escalas mais detalhadas e, portanto, pouco permitem inferir sobre as trajetórias de mudança.

4.2 ÁREA DE OCUPAÇÃO CONSOLIDADA

Ao comparar a área de ocupação consolidada com a sub-região de Santarém, observam-se diferenças claras na estrutura da paisagem entre as classes de uso e cobertura. Como verificado em campo, na área de ocupação consolidada há predomínio de uso da terra pela agropecuária, em geral representada por pequenas propriedades rurais. Neste nível de análise a área mostra-se muito mais heterogênea, pois apresenta uma distribuição proporcional mais eqüitativa entre as classes, quando comparada à sub-região de Santarém. Na área de ocupação consolidada está concentrado o maior número de estabelecimentos rurais com agricultura mecanizada. Ela de fato representa a região pela qual a nova fronteira agrícola iniciou sua expansão na região (Steward, 2004, 2007; D'Antona et al., 2006; Brondízio & Moran, 2008).

A conversão de áreas de agropecuária em vegetação secundária ocorreu na área de uso consolidado, o que é possível ao longo de quase 20 anos (Nepstad et al., 2002; Moran & Brondízio, 1998) e considerando o caráter itinerante da agricultura familiar na região (Futema e Brondízio, 2006; Walker et al., 2000). O resultado com métricas mostrou diminuições consideráveis nos percentuais de paisagem para a agropecuária e a pastagem. Supõe-se que as áreas ocupadas pela agricultura intensiva até 2005 foram feitas sobre áreas de pastagem e agropecuária, principalmente.

A supressão de floresta para atividade agrícola foi pontual em algumas sub-áreas. O crescimento da agricultura intensiva sobre as pastagens e terras de uso familiar, como afirma D'Antona et al.(2006), corrobora os dados obtidos em campo pelas entrevistas com agricultores de grãos. Em todas as entrevistas, os agricultores afirmam que implantaram sua atividade agrícola sobre áreas de passivo ambiental já constituído. Dentre as propriedades amostradas, um grande número delas sequer tinha reserva legal. Muitos relatos também confirmam a prática de corte raso de capoeiras para o manejo da terra e posterior plantio de grãos. Isso ocorre devido a divergências no entendimento dos diversos estágios de sucessão ecológica da vegetação secundária. Para muitos autores, a vegetação da área de ocupação consolidada apresenta alterações antrópicas que datam da década de 1970 (Moran & Brondízio,

1998; Futema & Brondízio, 2006; D'Antona, 2006). Em muitas áreas de cobertura vegetal dentro das propriedades, embora o agricultor as considere como áreas de capoeira, o estágio de sucessão avançado no qual se encontram leva as agências ambientais de controle e fiscalização a denominá-las como sendo áreas de floresta. Esta problemática atinge invariavelmente todas as propriedades nas quais foi feita visitação.

O limite estabelecido na área de uso consolidado permite uma avaliação mais detalhada dos processos de mudanças na paisagem quando comparadas ao nível de análise da sub-região de Santarém. Mas trata-se ainda de um panorama agregado da dinâmica que ocorre nas sub-áreas, desvendada somente neste terceiro nível de análise. As mudanças nos diferentes setores da área de ocupação consolidada permite avaliar com mais clareza as consequências do uso da terra pelos atores locais e as alterações de cobertura nas paisagens delimitadas.

4.3 SUB-ÁREAS SOB INFLUÊNCIA DE EIXOS VIÁRIOS

4.3.1 Zona de influência da rodovia BR 163

Na porção norte da BR 163, as variações entre as porcentagens da paisagem ocupadas pelas diferentes classes de uso e cobertura indicam um processo de intensificação agropecuária. Em 1986, esse setor já representava uma fronteira de ocupação antiga, onde mais de 80% da paisagem era ocupada por capoeiras e pastagens. Em 1997, a atividade agropecuária já ocupava a maior parte da área, mas apenas em 2005 as manchas de agricultura intensiva começaram a dominar a paisagem. As áreas de capoeira foram reduzidas a menos da metade da área que ocupavam em 1986 e propriedades que praticavam atividade agropecuária de caráter extensivo intensificaram sua produção. Os núcleos urbanos consolidados dessa área, como a sede municipal de Belterra e comunidades ao longo da BR 163 no trecho entre Santarém e Belterra, catalisaram a intensificação do uso da terra.

De acordo com a verificação de campo, a queda acentuada nas áreas de floresta observadas na sub-área sul, sobretudo entre 1997 e 2005, pode ser atribuída a um pequeno número de propriedades de agricultura intensiva. A quantidade de manchas e de propriedades que produzem grãos nesta área é menor que ao norte, mas a taxa de conversão de vegetação original é muito maior, caracterizando um processo de expansão e também de intensificação da atividade agrícola. O TMM das manchas de florestas ao sul e ao norte são semelhantes em 2005. Porém, a evolução da fragmentação da cobertura florestal foi contínua ao sul durante todo o período analisado, enquanto ao norte houve um aumento do TMM de floresta de 1986 a 1997, seguido de drástica diminuição entre 1997 e 2005. Ainda assim, em 2005 a maior mancha contínua presente no eixo da BR 163 sul foi de floresta, mesmo sendo as áreas de vegetação secundária em maior porcentagem na paisagem.

A conversão de áreas com cobertura florestal ou de capoeira para a implementação da atividade agrícola intensiva é reflexo da ação de fatores exógenos condicionados pela macroeconomia externa (Wood & Porro, 2002; Fearnside, 2005). Áreas de reserva legal tendem a sucumbir ante a pressão de uso da terra. O arrendamento de terras e até mesmo de fazendas foi observado como opção para expansão, mas o alto custo do arrendamento, assim como a inconveniência do deslocamento, chegando a até 100 km de distância, inviabilizam a prática para agricultores menos capitalizados.

A queda em 20% dos percentuais de floresta no período entre 1997 e 2005, ocorre a partir da introdução da agricultura mecanizada, iniciada em 1998. A constatação deste primeiro momento da expansão agrícola intensiva pela conversão de áreas de floresta foi mais proeminente ao sul da BR provavelmente devido à fiscalização ser mais atuante ao norte, próximo das sedes urbanas. A facilidade de posse da terra por vias ilícitas como grilagem, uma prática comum na região, amplia as possibilidades de atividade predatória nas áreas mais afastadas dos centros urbanos, além do fato de que ao norte o processo mais antigo de ocupação já havia eliminado a maior parte da cobertura florestal original. Em ambos os casos, a pavimentação da estrada potencializou a redução significativa de vegetação nativa.

4.3.2 Zona de influência da Estrada PA 433

O eixo de influência desta rodovia em ambas as sub-áreas norte e sul, também já apresentava grandes extensões de áreas antropizadas em 1986. A parte norte da área de influência do eixo apresentou os maiores percentuais de paisagem ocupado pela agricultura de grãos. Em 2005, 33,8% da sub-área eram compostos por esta atividade. O eixo de influência da PA 433 apresentou uma área com maior mancha de agricultura intensiva em 2005, equivalendo a 14,5% da área total ou aproximadamente 1.795 ha. Nos demais eixos viários foram encontradas manchas de agricultura maiores em valores absolutos, porém, em termos relativos, ou seja, ponderados pela extensão da área da paisagem, o eixo PA 433 apresentou a maior mancha continua para esta classe. Isto ratifica a constatação de concentração fundiária imposta pela agricultura mecanizada proposta por Brondízio e Futema (2006) e D'Antona et al. (2006) na região. De acordo com estes autores, a concentração fundiária na área ocorreu sobretudo pela compra de pequenas propriedades familiares. É provável que áreas de agricultura familiar presentes nesta zona, pelo menos até 1998, tenham sofrido as maiores taxas de conversão para cultivo de grãos. As quedas de 34,1% ao norte e 23,9% ao sul, observadas principalmente no período de 1997 a 2005 nos percentuais de paisagem para a agropecuária, assim como queda na densidade e tamanho médio das manchas, são indicativos da influência da entrada da agricultura de grãos na região, iniciada em meados de 1998. Com base nas informações coletadas em campo, de fato houve conversão de pequenas propriedades rurais em sistemas produtivos mecanizados de grãos nesta área, sobretudo ao norte. Foi nesta área que se encontrou o maior número de propriedades mecanizadas antigas, ou seja, que iniciaram o plantio de grãos durante o primeiro estágio de introdução da soja na região. Como encontrado por Steward (2004), os sistemas produtivos baseados na mão-de-obra familiar foram os que mais sofreram conversão para a atividade agrícola intensiva. Um grande contingente populacional destas sub-áreas migraram para outras frentes de ocupação, sobretudo para os projetos de assentamento Mojú I e II.

4.3.3 Zona de influência das Estradas PA 431 e 445

As mudanças no uso e cobertura das terras no eixo de influência das rodovias PA 431 e 445, esta última ligando o distrito de Mojuí dos Campos à comunidade de Igarapé das Pedras, apresentam muitas semelhanças ao encontrado na PA 433. Na sub-área norte, a agricultura intensiva se desenvolveu a base de conversão de pastagem, agropecuária e capoeira, já que praticamente não havia remanescentes de floresta. Estes dois eixos viários apresentam as dinâmicas de uso mais semelhantes dentre os quatro eixos. Ambas as áreas apresentaram expansão e intensificação da atividade agrícola mecanizada no início do processo de estabelecimento da agricultura de grãos. Nestas áreas também foi identificado o maior número de fazendas mecanizadas pioneiras na região. Provavelmente o menor custo da terra, quando comparado ao da BR 163 e da PA 370, contribuiu para o estabelecimento das primeiras propriedades na zona de influência destes eixos viários. Fatores como gastos com a correção de solo e incertezas sobre a implantação do terminal de exportação de grãos da Cargill, que no futuro viabilizaria o retorno financeiro, contribuíram para esta postura cautelosa.

Na sub-área ao sul houve conversão direta de floresta e capoeira, particularmente observada no período que compreende a segunda etapa da entrada da agricultura de grãos, quando já se tinha certeza da implantação do terminal e, conseqüentemente, da comercialização do produto (arroz, soja etc.) no mercado. Como na PA 433, a incorporação de pequenas propriedades rurais foi maximizada neste período.

A agricultura de grãos na PA 431/445 não é tão expressiva como em outras áreas. Os grandes latifúndios identificados em campo encontram-se na BR 163 e PA 370. Ainda assim, observa-se redução na densidade e incremento no tamanho médio de manchas ao norte, sinalizando para um processo de concentração fundiária em curso. É provável que estes agricultores pioneiros na área estejam vendendo suas propriedades para produtores mais capitalizados e, por conseguinte, estes últimos estejam incorporando a estas áreas originais outras pequenas propriedades próximas.

Segundo Steward (2004) e Puty (2007), a dinâmica da agricultura mecanizada na região é caracterizada pela compra de pequenas propriedades familiares por sojicultores pioneiros, cuja finalidade é preparar a terra para posterior entrada de grandes produtores capitalizados. Isto foi comprovado em entrevistas com pequenos produtores de novas frentes de ocupação, como na sub-área ao sul. A grande maioria já possuiu algum tipo de propriedade em áreas hoje ocupadas por grandes latifúndios. O número maior de pequenas manchas de agricultura intensiva observado ao sul deste eixo de influência ratifica o deslocamento dos pequenos produtores do norte para essas novas áreas do sul. Portanto, ocorre um processo de concentração fundiária. Desta forma, a dinâmica de expansão da atividade agrícola intensiva credita a estes produtores pioneiros a responsabilidade direta pela maioria dos desmatamentos ocorridos na região.

4.3.4 Zona de influência da rodovia PA 370

O eixo PA 370 apresenta particularidades na dinâmica de expansão da agricultura intensiva. O conjunto de diferentes formas de uso por pequenas propriedades rurais, identificados como agropecuária neste estudo, permanece praticamente inalterado tanto ao norte quanto ao sul. Aglomerados de comunidades próximas à sede municipal de Santarém como Jacamim, Tipizal e Boa Esperança, em toda região foram as que mais resistiram à entrada da agricultura de grãos. Diferentemente do que foi encontrado nos dois outros níveis de análise, PA 433 e PA 431/445, os assentamentos ocorridos na PA 370 conduzidos na década de 1980, foram quase inteiramente de populações oriundas do sul do Brasil, portanto há um sistema de uso da terra diferenciado das demais populações locais situadas nos outros eixos. O sistema produtivo adotado por estas populações não permitiu a incorporação pela agricultura intensiva, contribuindo com isso para a continuidade da área originalmente destinada aos lotes. Provavelmente por este fator a expansão da agricultura de grãos tenha ocorrido prioritariamente pela conversão de áreas de pastagem e capoeira e, ao

sul, de florestas. Paralelo a isso, as propriedades e maiores manchas de agricultura intensiva são encontradas nas porções situadas ao sul, onde se observa menor porcentagem de pequenas propriedades rurais.

A conversão de floresta ao sul foi evidente em todos os anos de análise, caindo cerca de 26% de 1986 a 2005. Esta diminuição no percentual de floresta foi mais evidente entre 1997 e 2005, período que abrange as duas etapas da introdução da atividade agrícola intensiva. Nesse período foram convertidos mais de 10% ou aproximadamente 3.744 ha do remanescente de floresta presente na sub-área sul. Concomitantemente a isto ocorre queda nos tamanhos médios e na densidade de manchas de floresta. Ainda existem algumas poucas grandes propriedades com pecuária extensiva de corte nesta sub-área.

Por se tratar de uma via pavimentada, muito embora esteja em precário estado de conservação, a relativa facilidade de acesso potencializa o desflorestamento. Somente a BR 163 sul apresentou taxa de conversão superior à observada na PA 370, também ao sul. A agricultura de grãos nessa região é caracterizada pelas grandes propriedades de até 1.500 ha de área contínua.

4.4 MÉTRICAS DE PAISAGEM COMO INDICADORES DE PADRÕES E PROCESSOS ESPACIAIS

As métricas utilizadas neste estudo mostraram-se eficientes na descrição da estrutura da paisagem. Porém, a importância dos resultados é muito dependente da acurácia da classificação das imagens de satélite. Para este estudo, a base de dados do Zoneamento Ecológico-Econômico da BR 163 foi utilizada e suas possíveis limitações certamente repercutem nos resultados obtidos.

Os resultados também são afetados pela escala. Um tamanho mínimo de mancha assim como a extensão da paisagem, determina o menor e maior limite dessas métricas (McGarigal e Marks, 1995). Os limites das paisagens levaram em consideração feições físicas e geográficas, particularmente rios, estradas e os limites da

área de ocupação consolidada. Esses limites, relativamente arbitrários, podem ter ocultado padrões e processos de mudança da paisagem, mas, por outro lado, evidenciaram o caráter multiescalar das mudanças de cobertura e uso da terra verificados na área de estudo.

O resultado de algumas métricas é altamente dependente da parametrização feita pelo usuário nos aplicativos do Fragstats. A definição da regra de conexão entre áreas contíguas de uma mesma classe (regra do vizinho mais próximo), por exemplo, pode influenciar no resultado. Dependendo da abordagem ecológica, a escolha de conexão baseada na contiguidade de 4 (quatro) ou 8 (oito) células pode subestimar ou superestimar a abrangência de uma determinada mancha. Assumiu-se a conexão entre 4 (quatro) células ou vizinhos, devido terem representado com mais fidelidade o conjunto de *pixels* de uma classe observada na imagem e verificada em campo.

Nos estudos com métricas de paisagem, um dos equívocos mais comuns na aplicação em análises espaciais é quantificar o padrão sem considerar o processo (Turner & Gardner, 1991; Li & Wu, 2004; Gustafson, 1998). Os resultados das métricas são indicativos de mudanças estruturais. O conhecimento dos agentes que as determinam é fundamental para se elaborar políticas relacionadas ao uso da terra que incluam as perspectivas de mudanças futuras e suas conseqüências ecológicas. Procurou-se identificar os principais condicionantes para determinar o atual padrão na paisagem. Neste contexto, a agricultura intensiva é tida como o principal agente potencializador de mudanças nas paisagens estudadas e, de fato, os resultados mostram esta tendência nos últimos anos de análise. Porém, ao longo da série temporal, sobretudo entre a primeira e a segunda data analisadas, verifica-se que as mudanças mais drásticas ocorreram por ocasião do surgimento de atividades agropecuárias. A definição de uma classe genérica como a agropecuária diminuiu a precisão das análises multitemporais, mas esse é um ônus derivado da utilização de dados secundários. No caso da atividade agrícola mecanizada, a atual dinâmica de expansão promove a concentração fundiária e a pressão sobre os remanescentes de floresta ao redor das áreas em que se instala, fatos do presente com implicações para o futuro.

CAPÍTULO 5

5.1 CONCLUSÕES

Os resultados das análises das mudanças na cobertura e uso da terra na região de Santarém e Belterra no Estado do Pará são dependentes da escala e, particularmente, da delimitação da área de estudo. Entender as mudanças no padrão espacial de paisagens requer planos de informações em múltiplas escalas. O uso de métricas revelou particularidades presentes em cada nível de análise e permitiu identificar diferenças e similaridades na estrutura da paisagem que só poderiam ser observadas em uma perspectiva multiescalar. Nesse caso, a delimitação de sub-áreas de análise mostrou-se bastante eficaz, sobretudo porque relativiza a variabilidade dos processos de ocupação. Isso possibilita uma compreensão mais abrangente daquela obtida pelo estudo de um único nível.

Além da mudança estrutural da paisagem, há uma dinâmica dos agentes sociais, cujas relações afetam as mudanças na paisagem. Em todos os níveis de análise foi constatada a diminuição gradativa da cobertura florestal e de capoeiras. As sub-áreas ao norte apresentaram menores índices de desmatamento, justificados pela menor cobertura florestal constatada já no início do período de estudo. As áreas mais distantes das sedes urbanas mostraram os maiores índices de paisagem com cobertura vegetal e também os maiores índices de desflorestamento relativamente recente, de 1997 a 2005. As áreas com passivo ambiental gerado por outras atividades de uso como pastagem e agropecuária foram de fato as que mais sofreram incorporação pelo cultivo de grãos. Porém, a crescente introdução da atividade agrícola intensiva na região determinou uma redistribuição espacial das categorias de cobertura e uso da terra que compunham a paisagem regional. A crescente fragmentação da matriz florestal foi particularmente observada na região com maior atividade agrícola mecanizada.

Utilizando áreas e sub-áreas de estudo na região de Santarém, este trabalho ressaltou como o método de análise pode gerar resultados críticos ou indiferentes à

dinâmica de ocupação e suas conseqüências. A análise em diferentes níveis, mas seguindo uma mesma série temporal, tem potencial integrador para o entendimento de processos mesorregionais e, permite transitar no contexto da dimensão espacial e temporal. A análise multiescalar e multitemporal em estudos sobre mudanças de cobertura e uso da terra em paisagens amazônicas é, portanto, uma abordagem a ser explorada. Acompanhando essa tendência, a utilização de diferentes sensores remotos com características distintas de resolução espacial permitirá testar o efeito da escala não apenas em relação à extensão da área analisada, mas também em relação a seu grão.

A dinâmica de fronteira agrícola imposta na região de Santarém é amplamente dependente de fatores socioeconômicos condicionados por forças externas. A implantação do terminal de grãos em Santarém é sintomática nesse sentido, influenciando a consolidação de um sistema produtivo de larga escala, resultado de incentivos para a modernização da agricultura, em busca de eficiência e competitividade.

Desafortunadamente, o esforço para a modernização agrícola não foi acompanhado pelo ordenamento do espaço sobre o qual deve-se desenvolvê-la. Apesar das iniciativas de execução do Zoneamento Ecológico-Econômico da área de influência da BR 163, a ineficiência ou ausência do poder público, neste caso, implica ao Estado o papel de coadjuvante nos efeitos nocivos da ocupação desvinculada de orientação ambiental. O confronto de valores entre populações locais tradicionais e populações imigrantes é um exemplo de que os processos descritos nesta dissertação ultrapassam a esfera ambiental e entram no contexto da política pública.

5.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, Ane et al. **Desmatamento na Amazônia: Indo Além da “Emergência Crônica”**. Belém: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), 2004. 89p.

ALVES, Diógenes, S.; SKOLE, D. L. Characterizing land cover dynamics using multi-temporal imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.17, n.4, p. 835- 839, 1996.

ALVES, Diógenes, S. O processo de desmatamento na Amazônia. **Parcerias Estratégicas**. n. 12, Setembro, 2001.

ARIMA, Eugênio; BARRETO, Paulo; BRITO, Marky. **Pecuária na Amazônia: Tendências e Implicações para a Conservação Ambiental**. Belém: Instituto do Homem e do Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), 2005. 75p.

AMORIM, Antonia, T. S. **A Dominação Norte Americana no Tapajós: A Companhia Ford Industrial do Brasil**. Santarém: Gráfica e Editora Tiagão, 1995. 119p.

AMORIM, Antonia, T. S. **Santarém: Uma Síntese Histórica**. Santarém: Editora da Universidade Luterana do Brasil, 1999. 256p.

ARTAXO, Paulo et al. Large-scale aerosol source apportionment in Amazonia. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n.D24, p. 31837 - 31847. 1998.

ARTAXO, Paulo et al. Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry seasons in Rondônia, Amazonia. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n.D20, 8081p. 2002.

ASNER, Gregory. et al. Condition and fate of logged forests in the Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences (Pnas)**, v.103, n. 34, p. 12947-2950, 2006.

ASNER, Gregory et al. Remote sensing of selective logging in Amazonia: Assessing limitations based on detailed field observations, Landsat ETM+ and textural analysis. **Remote Sensing of Environment**, v.80, p.83 - 496, 2002.

BARRETO, Paulo et al. **Pressão Humana na Floresta Amazônica Brasileira**. Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), 2005. 84p.

BATISTELLA, Mateus; MORAN, Emílio. Dimensões humanas do uso e cobertura das terras na Amazônia: uma contribuição do LBA. **Acta Amazônica**. v.35, n.2, p. 239-247. 2005.

BATISTELLA, Mateus; MORAN, Emílio. A Heterogeneidade das Mudanças de Uso e Cobertura das Terras na Amazônia: Em busca de um Mapa da Estrada. In: BECKER, Bertha; ALVES, Diógenes; da COSTA, Wanderley. **Dimensões Humanas da Biosfera-Atmosfera na Amazônia**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo (EDUSP), 2007. p. 65-80.

BATISTELLA, Mateus; ROBESON, Scott; MORAN, Emílio. Settlement Design, Forest Fragmentation, and Landscape Change in Rondônia, Amazônia. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.69, n.7, p. 805-812, 2003.

BECKER, Bertha. Síntese do processo de ocupação da Amazônia. In: MMA (ORG.) **Causas e dinâmica do desmatamento na Amazônia**. Brasília: MMA, 2001. p. 5-28.

BECKER, Bertha. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, p. 71-86, 2005.

BORREANI, Oscar P. **Análise das causas que levaram a crise da borracha natural na Amazônia**. [S.l.:s.n], 1989. 30p.

BRANDÃO JÚNIOR de O. Amintas et al. **Desmatamento e estradas não-oficiais da Amazônia**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis. INPE, p. 2357-2364. Abril de 2007.

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL. Folha AS. 21-Santarém; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e Uso Potencial da Terra**. V.10. Rio de Janeiro: Divisão de publicação do Ministério das Minas e Energia, 1976.

BRASIL. Casa Civil da República-Grupo de Trabalho Interministerial. **Plano de Desenvolvimento Sustentável para Área de Influência da Rodovia BR-163 Cuiabá-Santarém**. Março de 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Agricultura Brasileira em Números Anuário 2005**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/>. Acesso em Maio de 2008.

BRONDÍZIO, Eduardo, S. Intraregional analysis of land use change in the Amazon. In: **Seeing the Forest and the Trees: Human-environment Interactions in Forest Ecosystems**. MORAN, E; OSTROM, E. (eds.). Cambridge: MIT Press, 2005. p. 223-252.

BRONDÍZIO, Eduardo, S. Intensificação agrícola, identidade econômica, e invisibilidade de pequenos produtores Amazônicos: Caboclos e Colonos em uma perspectiva comparada. In: ADAMS, C., MURRIETA, R. S. S.; NEVES, W. A. (eds.) **Sociedades Caboclas Amazônicas: Modernidade e Invisibilidade**. São Paulo: AnaBlume, 2006. p. 135-236.

BRONDÍZIO, Eduardo, S.; MORAN, Emílio, F. Human dimensions of climate change: the vulnerability of small farmers in the Amazon. **Philosophical Transactions of Royal Society B**. v. 363, p. 1803-1809. 2008.

BROWDER, J.O.; GODFREY, B.J. **Rainforest cities: Urbanization, development, and globalization of the Brazilian Amazon**. New York: Columbia University Press, 1997.

BURT, J.E.; BARBER, G.G. **Elementary Statistics for Geographers**. 2d ed. New York: Guilford Press, 1996. 640p.

CAMARA, G. et al. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling". **Computers & Graphics**, v.20, n.3, p. 395-403, May - Jun 1996.

CARVALHO, R. A Amazônia rumo ao "Ciclo da Soja". In: **Amazônia Papers**. Amigos da Terra, Programa Amazônia, v.1, n.2, 1999. Disponível em: <http://www.amazonia.org.br>. Acesso em outubro de 2007.

CASTRO, E. et al. **Atores e relações sociais em novas fronteiras na Amazônia**. Relatório de Pesquisa, Brasília, DF: Banco Mundial, 2003.

CASTRO, Therezinha. **História da civilização brasileira**. Rio de Janeiro: CAPEMI Editora, 1982. 498p.

CEPEA: Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Universidade de São Paulo (USP). Disponível em: http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/files/2007/08jan_dez.pdf. Acesso em Maio de 2008.

COSTA, Francisco de A. **Ecologismo e questão agrária na Amazônia**. Belém: Editora da Universidade Federal do Pará, 1992. 87p.

COSTA, Francisco de A. Questão agrária e macropolíticas para a Amazônia. **Estudos Avançados**. v. 53, n. 19, p. 131-56. 2005.

COSTA, Francisco de A. A Questão Agrária na Amazônia e os Desafios Estratégicos de um Novo Desenvolvimento. In: BECKER, Bertha; ALVES, Diógenes; da COSTA, Wanderley. **Dimensões Humanas da Biosfera-Atmosfera na Amazônia**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo (EDUSP), 2007. p. 129-166.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil (CPRM). **Programa de Interação em Municípios da Amazônia (PRIMAZ)**. 1997. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/gate/amazonia/p0009.htm#produtos>. Acesso em Agosto de 2007.

D'ANTONA, A.; VANWEY, K. Leah; HAYASHI, M. Corey. Property Size and Land Cover Change in the Brazilian Amazon. **Population and Environment**. v. 27, n. 5-6, p. 373 - 396 (24). 2006.

D'ANTONA, A., CAK, A. D., NASCIMENTO, T. T. **Uso e cobertura da terra na Amazônia: o conhecimento "Técnico-Científico" versus o "Conhecimento Empírico" dos moradores de lotes rurais na rodovia Transamazônica, Pará**. III Encontro da ANPPAS, Brasília-DF 23 a 26 de maio de 2006.

DAUBER, Jens et al. Landscape structure as an indicator of biodiversity: matrix effects on species richness. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 98, p.321- 329. 2003.

DUCKE, Adolfo. New Forest trees and climbers of the Brazilian Amazon: fifth series (1). **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte**. Belém: [s.n]. 1945.

EMBRAPA/CNPM - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, divisão de Monitoramento por Satélite (CNPM). Disponível em: <http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/balanco.php?UF=pa&COD=121>. Acesso Junho de 2008.

ESRI. **Understanding GIS, Redlands, CA**: Environmental System Research Institute, 1992. 598p.

FAMINOW, M.D. Spatial economics of local demand for cattle products in Amazon development. **Agriculture, Agrosystems and Environmental**, v.62, p.1-11. 1997.

FEARNSIDE, Philip. Deforestation in Brazilian Amazonia: the effect of population and land tenure. **Ambio**, n. 22, p. 537-545. 1993.

FEARNSIDE, Philip. Quem está desmatando a Amazônia: os ricos ou os pobres? **Ciência Hoje**, v.10, n. 113, p. 27-33. 1995.

FEARNSIDE, Philip. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. **Forest Ecology and Management**. v. 80, p.21- 34. 1996.

FEARNSIDE, Philip. **A Floresta Amazônica nas Mudanças Globais**. Manaus: Editora INPA, 2003. 134p.

FEARNSIDE, Philip. Soybean Cultivation as a Threat to the Environment in Brazil. **Environmental Conservation**, v. 28, n.1, p. 23-38. 2000.

FONSECA, Wilde. **Santarém: Momentos Históricos**. Santarém, [s.n], 1996.

FOODY, Giles M. Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of Environment**. v. 80, p.185 - 201. 2002.

FORMAN, R.T.T.; GODRON, M. **Landscape Ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1986, 619p.

FORMAN, R.T.T. **Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions**. Cambridge: Cambridge University Press, United Kingdom, 1997. 632p.

FROHN, R.C. et al. Using Satellite Remote Sensing Analysis to Evaluate a Socio-Economic and Ecological Model of Deforestation in Rondônia, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**. v. 17, p. 3233 - 3255. 1996.

FUTEMA, Célia; BRONDÍZIO, Eduardo. Land Reform and Land Use Changes in the Lower Amazon. Implications for Agricultural Intensification. **Human Ecology**, v.31, n.3, p. 369-402. 2006.

GOULDING, Michael; BARTHEM, Ronaldo; FERREIRA, Efrem. **The Smithsonian Atlas of the Amazon**. Washington DC: Smithsonian Books, 2003. 254p.

GUSTAFSON, E.J. Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art? **Ecosystems** v.1, p. 143-156. 1998.

HOMMA, A.K.O. **AMAZÔNIA: meio ambiente e desenvolvimento agrícola**. Brasília: Editora EMBRAPA-SPI; EMBRAPA-CPATU, 1998.

HOUGHTON, R.; SKOLE, D.; NOBRE, C. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature**, n.403, p. 301-304. 2000.

HURTIENNE, P.T.; da SILVA, M.N.R. Agricultura Familiar na Área de Abrangência do ZEE – BR-163. Diagnóstico do Meio Socioeconômico, Jurídico e Arqueologia In: VENTURIERI, Adriano (Org.). **Zoneamento Ecológico-Econômico da Área de Influência da Rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém)**. Volume I. Belém: Editora Embrapa, 2007.

IHERING, Rodolfo. **Da vida dos nossos animais: fauna do Brasil**. 3.ed. São Leopoldo: Rotermond, 1953. 320p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 1996**. Disponível em IBGE/SIDRA (<http://www.sidra.ibge.gov.br/>). Acesso em Outubro de 2007.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal (PAM)**. Disponível em IBGE/SIDRA: (<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp?o=20&i=P>). Acesso em Outubro de 2007.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006 Resultados preliminares**. Disponível em IBGE/SIDRA (<http://www.sidra.ibge.gov.br/>). Acesso em Maio de 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Segunda edição. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <ftp://geofpt.ibge.gov.br/documentos/recursosnaturais/usodaterra/manualusodaterra.pdf>. Acesso em novembro de 2007.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas Temáticos da Amazônia**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=799. Acesso em Maio de 2008.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite - Projeto PRODES**. Disponível em: http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2007.htm. Acesso em Janeiro 2008.

IPAM - Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. **Clima e desmatamento da Amazônia**. Disponível em: <http://www.climaedesmatamento.org.br/clima>. Acesso em Novembro de 2007.

KINTISCH, Eli. Improved Monitoring of Rainforests Helps Pierce Haze of deforestation. **Science**, v. 316, p. 536-537. 2007.

LAMBIN, Eric. et al. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. **Global Environmental Change**, v.11, n.4, p. 261-269. 2001.

LAMBIN, E.F; GEIST, H.J; LEPERS, E. Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical regions. **Annual Review of Environment and Resources**. v. 28. p. 205-241. 2003.

LAURANCE, William et al. The Future of the Brazilian Amazon. **Science** v.291, n.5503, p. 438-439. 2001.

LEROY, J.P. **Uma chama na Amazônia**. Rio de Janeiro: Vozes e Fase, 1991. 213p.

LI, H.; REYNOLDS, J.F. A simulation experiment to quantify spatial heterogeneity in categorical maps. **Ecology**, v.75, p. 2446-2455. 1994.

LI, Harbin & WU, Jianguo. Use and misuse of landscape indices. **Landscape Ecology**, v.19, p. 389- 399. 2004.

LU, D. et al. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**. v. 25, n. 12, p.2365- 2407. 2004.

LU, D.; BATISTELLA, M.; MORAN, E. Satellite estimation of aboveground biomass and impacts of forest stand structure. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 71, n. 8, p. 967- 974. 2005.

MALINGREAU, J.; TUCKER, C.J. Large-scale deforestation in the Southeastern Amazon Basin of Brazil. **Ambio**, v.17, p. 49- 55. 1988.

MARENGO, José. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. **Theoretical and Applied Climatology**. v. 78, p. 79- 96. 2004.

MARGULIS, Sérgio. **Causas do Desmatamento da Amazônia Brasileira**. 1ª Ed. Brasília: Banco Mundial, 2003. 100p.

MCCRACKEN, D.S. et al. Remote Sensing and GIS ant farm property level: demography and deforestation in the Brazilian Amazon. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.65, n.11, p. 1311-1320, 1999.

MCCRACKEN, S.D. et al. Deforestation trajectories in a frontier region of the Brazilian Amazon. In: WALSH, S.J.; CREWS-MEYER, K. (Eds.). **Linking people, place, and policy: a GIScience Approach**. Boston: Kluwer Academic Publishers, p. 215- 234. 2002.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B.J. FRAGSTATS: **Spatial Pattern Analysis Program for quantifying landscape pattern**. Forest Science Dept, Oregon State University, Corvallis. Oregon, 1995.

METZGER, J. P. O que é ecologia paisagens? **Biota Neotropica**. v.1, n.1 e 2, São Paulo, 2001. Disponível em: <http://www.biotaneotropica.org.br/v1n12/pt/fullpaper?bn00701122001+pt>. Acesso em outubro de 2007.

MORAN, Emílio; BRONDIZIO, Eduardo. Land Use Change After Deforestation in Amazonia. In: MORAN, Emílio; RINDFUSS, Ronald; STERN, Paul. **People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science**. Washington, D.C. National Academy Press, 1998. p. 94 -120.

MORAN, Emílio. People and Nature: **An Introduction to Human Ecological Relations**. Blackwell Publishing, [S.I.], 2006. 232p.

MORAN, Emílio et al. Integrating Amazonian vegetation, land use, and satellite data. **BioScience**. v. 44, p. 329- 338. 1994.

MORAN, Emílio. Deforestation and land use in the Brazilian Amazon. **Human Ecology**. v. 21, n.1. 1993.

MORAN, Emílio et al. Trajectories of land use: soils, succession, and crop choice. In: WOOD, C.H.; PORRO, R. (Eds.). **Land use and deforestation in the Amazon**. Gainesville: University of Florida Press, p.193- 217. 2002.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3ª Ed. Ampliada, Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 2005.

MORTON, Douglas et al. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)**. v. 103, n. 39. 2006.

NAVEH, Z. Landscape ecology as an emerging branch of human ecosystem science. **Advances in Ecological Research**, v.12, p. 189- 237, 1982.

NEPSTAD, Daniel et al. Globalization of the Amazon Soy and Beef Industries: Opportunities for Conservation. **Conservation Biology**, v.20, n. 6, p. 1595- 1603. 2006.

NEPSTAD, Daniel et al. The costs and benefits of reducing carbon emissions from deforestation and forest degradation in the Brazilian Amazon Basin. **United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Conference of the Parties (COP)**, Thirteenth session. December, 3-14, 2007. Bali, Indonesia.

NEPSTAD, Daniel et al. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature**, n. 398, p. 505- 508. 1999.

NEPSTAD, Daniel et al. The effects of partial through fall exclusion on canopy process, above ground production, and biogeochemistry of an Amazon forest. **Journal of Geophysical Research**, v.107, n. D20, p. LBA 53: 1-18. 2002.

NIMER, E. Clima. In: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (ed). **Geografia do Brasil - Região Norte**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977, Cap. 5. p. 39 - 58.
NOBRE, Carlos; SAMPAIO, Gilvan; SALAZAR, Luis. Mudanças Climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, v.59, n.3, p. 22-27, 2007.

NOBRE, Carlos; NOBRE, Antonio. O balanço de carbono da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**. v. 45, n. 16. 2002.

NOBRE et al. **The Amazon Basin and Land-Cover Change: A Future in the Balance?** In: Challenges of a Changing Earth. Proceedings of the Global Change Open Science Conference. Editors: STEFFEN, Will; JAGER, Jill; CARSON, David; BRADSHAW, Calre. Amsterdam, The Netherlands, 10-13 July 2001.

O'NEILL, R.V. et al. Indices of landscape pattern. **Landscape Ecology** v.1, p. 153 -162, 1988.

OYAMA, Marcos; NOBRE, Carlos. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. **Geophysical Research Letters**. v. 30, n. 23. 2003.

PARÁ. Secretaria Executiva de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças. **Estatística Municipal** 2007. Disponível em: <http://iah.iec.pa.gov.br/iah/fulltext/georeferenciamento/belterra.pdf>. Acesso em Outubro de 2007.

PEREIRA, G.J. Luis et al. Métricas da Paisagem na Caracterização da Evolução da Ocupação da Amazônia. In: CORRÊA, J. M.; CORRÊA, W. K.; GERARDI, L. H. de O. **Geografia**. v. 26, p. 59 -90. 2001.

PHILLIPS, O.L., et al. Changes in the carbon balance of tropical forest: evidence from long-term plots. **Science**. v. 282. p. 439 -442. 1998.

PICKETT, S.T.A; CADENASSO, M.L. Landscape ecology: spatial heterogeneity in ecological systems. **Science**. v. 269, p. 331 -334. 1995

POWELL, R.L. et al. Sources of error in accuracy assessment of thematic land-cover maps in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**. v. 90, p. 221 -234. 2004.

Prefeitura Municipal de Santarém. **Aspectos Geográficos: Vegetação**. Santarém, 2004 Disponível em: <http://www.santarem.pa.gov.br/conteudo/?item=117&fa=62&PHPSESSID=kikm4hicqnnqpd566ea5vnui07>. Acesso em Novembro de 2007.

Prefeitura Municipal de Belterra. **Histórico**. Belterra, 2004 Disponível em: <http://www.pmbelterra.com.br/index.php?exibir=secoes&ID=39>. Acesso em Novembro de 2007.

PRATT, W.K. **Digital image processing**. California: John Wiley & Sons, 1991.

PUTY, Cláudio, A.C.B. Agricultura Empresarial Mecanizada na Área de Abrangência do ZEE – BR-163. Diagnóstico do Meio Socioeconômico, Jurídico e Arqueologia In: VENTURIERI, Adriano (Org.) **Zoneamento Ecológico-Econômico da Área de Influência da Rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém)**. Volume I, Belém: Editora Embrapa, 2007.

REIS, Arthur, C. F. Santarém: seu desenvolvimento histórico. **Civilização Brasileira**. 2ª ed., Rio de Janeiro, 1979. 198p.

RICHARDS, J.A.; Jia, X. **Remote sensing digital image analysis – an introduction**. Germany, Springer, 2000. 363p.

RIITTERS, K.H. et al. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. **Landscape Ecology**. v.10, p. 23 -39. 1995.

ROS-TONEN, Mirjam. Novas Perspectivas para Gestão Sustentável da Floresta Amazônica: Explorando Novos Caminhos. **Ambiente & Sociedade**. v.10, n.1, p. 11 - 25. 2007.

ROS-TONEN, Mirjam et al. Forest-related partnerships in Brazilian Amazonia: There is more to sustainable forest management than reduced impact logging. **Forest Ecology and Management**. In Press, doi:10.1016/j.foreco. 2008.

RYHERD, S.; WOODCOCK, C. Combining spectral and texture data in segmentation of remotely sensed images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 62, n.2, p. 181 -194. 1996.

SALATI, E.; MARQUES, J. Climatology of the Amazon region. In: **The Amazon - Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin**. SIOLI, H. (ed.). Dr. W. Junk Publishers, 1984. 763p.

SANTILLI, Márcio et al. Tropical Deforestation and the Kyoto Protocol. **Climatic Change**. v. 71, n. 3, p. 267 -276. 2005.

SCATENA, Frederick N. Cropping and fallowing sequences of small farms in the "terra firme" landscape of the Brazilian Amazon: a case study from Santarem, Para. **Ecological Economics**. v.18, p. 29-40. 1996.

SERRÃO, E.A.S. Desenvolvimento agropecuário e florestal na Amazônia. In: COSTA, J.M.M. da (Org.). **Amazônia: desenvolvimento econômico, desenvolvimento sustentável e sustentabilidade de recursos naturais**. Belém: Cejup, p. 57 -104. 1995.

SILVA DIAS, Maria A. F.; COHEN, Julia C., P.; GANDU, Adilson W. Interações entre nuvens, chuvas e a biosfera na Amazônia. **Acta Amazônica**. v. 35, n.2, p. 215 -222. 2005.

SKOLE, D.; C.J. TUCKER. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988. **Science**. n. 260, p.1905- 1910. 1993.

SOARES-FILHO, Britaldo et al. Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém–Cuiabá corridor. **Global Change Biology**. v. 10, p. 745 - 764. 2004.

SOARES-FILHO, Britaldo et al. **Cenários** de desmatamento para a Amazônia. **Estudos Avançados**. v. 19, n.54. 2005.

SOARES-FILHO, Britaldo et al. Modeling conservation in the Amazon basin. **Nature**. n. 440, p. 520- 523. 2006.

SOUZA Jr., C.M.; ROBERTS, D. Mapping forest degradation in the Amazon region with Ikonos images. **International Journal of Remote Sensing of Environment**. v. 26, p. 425- 429. 2003.

SOUZA Jr., C.; Firestone, L.; Silva, M.L.; Roberts, D.A. Mapping Forest degradation in the Eastern Amazon from SPOT 4 through spectral mixture models. **Remote Sensing of Environment**. v. 87, p. 494 -506. 2003.

STEWART, Corrina. **The Santarém agricultural landscape, Pará, Brazil: a working paper on agro-industrial and smallholder agriculture in Santarém**. (Thesis in partial fulfillment of Master's of Environmental Science). Yale: Yale School of Forestry and Environmental Studies, 2004.

STEWART, Corrina. From colonization to “environmental soy”: A case study of environmental and socio-economic valuation in the Amazon soy frontier. **Agriculture and Human Values**. v. 24, n. 1, p. 107- 122. 2007.

SWAFFIELD, Simon; PRIMDAHL, Jorgen. Spatial Concepts in Landscape Analysis and Policy: Some Implications of Globalization. **Landscape Ecology**. v. 21, n. 3, p. 315 - 331. 2006.

TUCKER, C.J.; TOWNSHEND, J.R.G. Strategies for monitoring tropical deforestation using satellite data. **International Journal of Remote Sensing**. v. 21, n. 6 & 7, p. 1461- 1471. 2000.

TURNER, M.G. Landscape ecology: the effect of pattern on process. **Annual Review of Ecology and Systematic**. v. 20, p. 171 -197. 1989.

TURNER, M.G.; GARDNER R.H. **Quantitative Methods in Landscape Ecology: The Analysis and Interpretation of Landscape Heterogeneity**. New York (NY): Springer-Verlag, 1991.

TURNER, M.G.; GARDNER, R.H.; O'NEILL, R.V. Ecological dynamics at broad scales: Ecosystems and Landscapes. **Bio-Science Special Supplement**. v. 45, n.6, p. 29-33. 1995.

TURNER, G. Monica. Landscape Ecology: What Is the State of the Science? **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**. v. 36, p. 319 -344. 2005.

TURNER, J. Sandra. Landscape Ecology Concepts, Methods and Applications. **Landscape Ecology**. v. 20, n. 8, p. 1031 -1033. 2005.

UHL, C. Factors controlling succession following slashand-burn agriculture in Amazonia. **Journal of Ecology**. v.75, n.2, p. 371 - 437. 1987.

USDA - United States Department of Agriculture. Economic Research Service (ERS). **Agricultural Baseline Projections: Baseline Presentation, 2006-2015**. Disponível em: <http://www.ers.usda.gov/briefing/Baseline/present2006.htm>. Acesso em Dezembro de 2007.

URBAN, D., O'NEIL, R.V; SHUGART, H. Jr. Landscape ecology: a hierarchical perspective can help scientists understand spatial patterns. **Bioscience**. v.37, p. 119 - 127. 1987.

VANWEY, L.K; OSTROM, E; MERETSKY, V. Theories Underlying the Study of Human-Environment Interactions. In: MORAN, E. F; OSTROM, E. (ed). **Seeing the Forest and the Trees: Human-Environment Interactions in Forest Ecosystems**. Cambridge, MA: The MIT Press, 2005. p. 23-56.

VELOSO, H.P. et al. **As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos; estudo fitogeográfico da área abrangida pelas folhas SB.22-Araguaia e SC.22- Tocantins**. In: Projeto RADAMBRASIL; levantamento de recursos naturais, Folha SA. 21-Z-B Mapa fisionômico-ecológico Santarém Pará. Rio de Janeiro, v. 8, 1974.

VEIGA, J.E. **O Desenvolvimento Agrícola: Uma Visão Histórica**. São Paulo: Edusp/Hucitec, 1991. 240p.

VENTURIERI, Adriano. et al. Análise da expansão da agricultura de grãos na região de Santarém e Belterra, Oeste do estado do Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13^a, Florianópolis, 21-26 abril, 2007. **Livro de Resumos**. Florianópolis, [s.n] 2007, p. 7003 -7010.

VENTURIERI, Adriano. (Org.). **Resumo dos Diagnósticos Temáticos do Zoneamento Ecológico-Econômico da área de Influência da Rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém)**. 1^a ed. Belém do Pará, PA. EMBRAPA Amazônia Oriental, 2006. v. 1.265p.

WALKER, et al. **Farming systems and economic performance in the Brazilian Amazon**. In: Anais do Congresso Brasileiro sobre Sistemas Agroflorestais. EMBRAPA, Colombo, p. 415 - 429. 1994.

WALKER, R.; HOMMA, A.K. Land use and land cover dynamics in the Brazilian Amazon: an overview. **Ecological Economics**. v.18, p. 67- 80. 1996.

WALKER, R.T.; SMITH, T.E. Tropical deforestation and forest management under the system of concession logging: A decision-theoretic analysis. **Journal of Regional Science**. v.33, n.3, p. 387- 419. 1993.

WALKER, R.; MORAN, E.; ANSELIN, L. Deforestation and Cattle Ranching in the Brazilian Amazon: External Capital and Household Processes. **World Development**. v.28, n.4, p. 683 -699. 2000.

WALKER, Robert et al. Land Use and Land Cover Change in Forest Frontiers: The Role of Household Life Cycles. **International Regional Science Review**. v. 25, n.2, p. 169-199. 2002

WHITMORE, T.C. **An Introduction to Tropical Rain Forest**. 2^a ed. New York: Oxford University Press, 1999. 282p.

WIENS, J.A.; M.R. MOSS (eds.). **Issues in Landscape Ecology, International Association of Landscape Ecology**. Ontario, Canada: Guelph, 1999. 151p.

WOOD, C.H.; PORRO, R. (eds.). **Deforestation and Land Use in the Amazon**. Gainesville: University Press of Florida, 2002. 400p.

WU, Jianguo. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations. **Landscape Ecology**. v.19, p. 125 -138. 2004.

YOSHIDA, Tsuyoshi and TANAKA, Kazuhiro. Land-use diversity index: a new means of detecting diversity at landscape level. **Landascape and Ecological Engineering**. v.1, n. 2, p. 201 -206. 2005.