

Evolução do arranjo espacial urbano e das terras agrícolas no entorno de Santarém (Pará) no período de 1990 a 2010: Uma análise integrada baseada em sensoriamento remoto e espaços celulares.

Ana Paula Dal'Asta
Maria Isabel Sobral Escada
Silvana Amaral
Antônio Miguel Vieira Monteiro

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{anapdalasta,isabel,silvana,miguel}@dpi.inpe.br

Abstract. This study aims to analyze the evolution of land cover patterns associated to urban dynamics and the organization of agricultural areas around Santarém urban nucleus from 1990 to 2010. Using an approach based on cellular space, we have analyzed the rural and urban environment and its articulations. For the urban area we identified six land cover patterns obtained from visual interpretation of Landsat TM5 images for 1991, 1999 and 2010. The evolution and replacement of these patterns along time revealed trajectories of expansion and densification of the urban occupation. For the rural area surrounding Santarém first, six classes of occupation pattern defined a typology for the land structure based on Landsat TM5 images for the same time period considered. Then, data mining techniques classified rural occupation patterns into cells of 3 X 3 km. As important results, expansion trajectories dominated the urban area from 1991 to 1999; while from 1999 to 2010 densification trajectories prevailed in areas already occupied. Concerning the land structure at rural analysis, we have observed important changes, with a significant increase in 2010 for the spatial patterns associated to the production of grains at large-scale. Remote sensing imagery and cellular space approaches have permitted representing and characterizing the dynamics and transformation of urban spatial patterns for an area that holds a new complex rural-urban arrangement.

Palavras-chave: urban patterns, cellular space, Santarém, padrões urbanos, espaço celular.

1. Introdução

Diversos são os fatores e agentes que atuam na Amazônia brasileira condicionando diferentes velocidades e padrões de ocupação do território e desmatamento da cobertura florestal original (Amaral et al., 2001). Por isso, estudos acerca das transformações e características do espaço amazônico são fundamentais para atividades de planejamento territorial. Escada et al. (2009) e Alves et al. (2010) atentam para importância de observar as diferentes escalas para interpretar as diferentes realidades Amazônicas. No contexto da floresta urbanizada (Becker, 1995), Monte-Mór (1994) ressalta que o fenômeno urbano na Amazônia não se restringe apenas às cidades e vilas amazônicas, mas espalha-se pelo território, integrando espaços rurais e urbanos de modo que as alterações em um refletem na estruturação do outro. A esse fenômeno o referido autor denominou urbanização extensiva.

Para analisar as relações entre a dinâmica da cobertura da terra e os estágios de ocupação na Amazônia, diversos estudos (Silva et al., 2008; Saito et al., 2011; Gavlak et al., 2011) utilizam a abordagem em células e dados de desmatamento do Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite – PRODES (INPEa, 2010). Atributos como forma, dinâmica e arranjo espacial do desmatamento podem ser associados a diferentes tipos, atores e estágios de ocupação possibilitando compreender os principais processos de mudança da cobertura da terra de uma região (Geist; Lambim, 2001). As abordagens desses estudos contemplam a construção de uma tipologia, utilização do espaço celular, técnicas de segmentação de imagens e mineração de dados, e classificação de padrões baseadas em métricas de paisagem, obtendo resultados bastante satisfatórios para a caracterização das dinâmicas regionais (Silva et al, 2008; Saito et al, 2011; Gavlak et al, 2011). Considerando que as diferentes formas de mudança de uso e cobertura da terra podem apresentar padrões espaciais característicos, detectar estes padrões pode auxiliar na compreensão das dinâmicas e processos de áreas distintas.

Este trabalho propõe a expansão da abordagem utilizada na classificação de padrões de desmatamento para avaliar as alterações no arranjo espacial urbano, estudando as terras ocupadas com culturas agrícolas e pastagens no entorno da cidade de Santarém e o espaço intraurbano no período entre 1990 e 2010.

Na década de 90 a atividade predominante em Santarém era a agricultura familiar de subsistência que aos poucos foi substituída pela agricultura em larga escala. Em 2010 predominam os grandes estabelecimentos agropecuários com uso intensivo da terra e baixa ocupação humana (D'Antona et al., 2011). Ao mesmo tempo, no período de 1991 a 2010 a taxa de urbanização passou de 67,9% para 73,7%, indicando uma dinâmica urbana intensa. A metodologia desenvolvida e aplicada neste trabalho estuda a evolução do arranjo espacial urbano e das terras agrícolas no entorno de Santarém baseando-se em duas suposições. A primeira, que a entrada do agronegócio no Planalto Santareno, no final da década de 1990, e a intensificação com a instalação do porto da Cargill¹ (2001-2002) (Escada et al., 2009) alterou o padrão espacial das terras de Santarém. E a segunda, que o aumento significativo da taxa de urbanização apresentou reflexos na estrutura espacial urbana o que pode ter refletido na dinâmica e estruturação destas áreas.

2. Materiais e métodos

2.1 Área de estudo

O recorte espacial adotado corresponde à porção leste do município de Santarém (PA), no entorno da área urbana de Santarém e de Belterra (Figura 1), no Planalto Santareno, onde encontram-se as principais áreas agrícolas do município (Escada et al., 2009). De acordo com os dados do censo agropecuário (IBGE, 1996; 2006), no período entre 1996 a 2006 a área plantada de soja passou de 0,27 ha para 6.863 ha, e as lavouras de mandioca e arroz apresentaram incremento de 12.214 ha e de 5.824 ha, respectivamente. Diferentemente da soja, essas culturas geralmente estão associadas a pequenas propriedades. Nesse mesmo período, o efetivo bovino diminuiu de 105.400 cabeças para 71.436 cabeças em 2010 (IBGE, 1996; 2006).

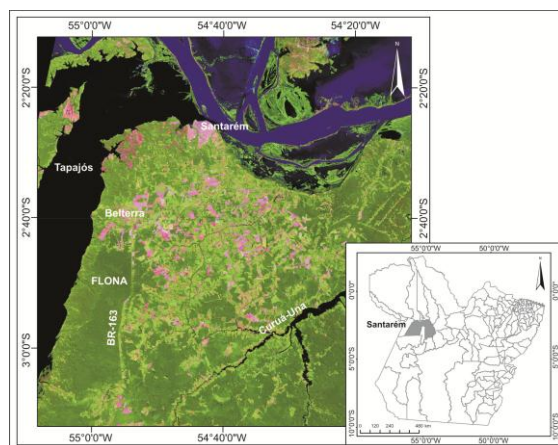


Figura 1. Área de estudo: porção leste do município de Santarém (PA).

Em termos populacionais, o município, nos últimos 20 anos, apresentou incremento de 29.518 habitantes, observado, sobretudo na área urbana, que passou de 180.018 habitantes, em 1991, para 215.947 habitantes, em 2010. Por sua influência regional, na rede urbana brasileira, Santarém é classificado como um centro regional de influência C (IBGE, 2008), sendo referido como destino preferencial por um grande número de municípios, para diferentes atividades. Além de exercer forte alcance, com relação ao comércio e serviços na região do baixo Tapajós, a presença da Cargill e do porto (de Santarém) conferem à cidade o

¹ Empresa multinacional cujas atividades incluem a compra, processamento e distribuição de grãos e outras commodities agrícolas.

papel de nó da rede fluvial para o escoamento da produção do Mato Grosso (Escada et al., 2009) associado à presença da BR-163 (Rodovia Cuiabá-Santarém).

2.2 Metodologia

Para a análise dos padrões espaciais urbanos e das terras ocupadas com culturas agrícolas e pastagens em Santarém, foram utilizadas imagens Landsat TM-5, para os anos de 1990, 1991, 1999 e 2010, obtidas da base de dados do Projeto PRODES (INPE, 2010a). A interpretação visual das imagens na composição 345-BGR foi utilizada para a identificação dos padrões urbanos. Trajetórias de expansão e adensamento definiram as dinâmicas da ocupação urbana no período. Para o entorno de Santarém o procedimento adotado consistiu na aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) no conjunto de imagens, construção de tipologia e uso de técnicas de mineração de dados para a classificação dos padrões da estrutura das terras agrícolas. As etapas metodológicas empregadas são detalhadas a seguir.

2.2.1 Área urbana de Santarém

O recorte urbano adotado neste trabalho baseia-se na classificação da área urbana proposta por Brigatti et al. (2011) adaptada aos limites dos setores censitários urbanos (IBGE, 2010). Foram definidos cinco padrões de ocupação baseados na estrutura espacial urbana (Tabela 1). Densidade de ocupação, presença de vegetação e traçado urbano foram os principais critérios utilizados nesta classificação, adaptados do sistema de classificação LCCS (Land Cover Classification System). O sistema Spring v 4.3.3 foi utilizado para processar as imagens e extrair as informações, adotando-se área de 3,5 ha como unidade mínima de mapeamento. Informações obtidas em campo (Dal'Asta et al., 2011) foram utilizadas como referência para a validação dos padrões de ocupação urbana obtidos.

Tabela 1. Tipologias dos padrões de ocupação urbana de Santarém.

Padrão	Tipologia	Descrição
	<i>Ocupação adensada</i>	> 80% de espaço construído; asfalto; vegetação inferior a 15%; traçado urbano bem definido; ocupação vertical.
	<i>Mediamente adensada</i>	50 – 80% de espaço construído; vegetação 20 a 40%; traçado urbano definido.
	<i>Baixa densidade</i>	30 – 50% de espaço construído; vegetação entre 40 e 60%; traçado do arruamento definido.
	<i>Expansão</i>	Menos de 30% espaço construído; vegetação entre 40% e 80%; ruas; significativas áreas com movimentação de solo.
	<i>Empreendimentos e áreas institucionais</i>	Áreas com indústrias e institucionais.
	<i>Vegetação</i>	>80% de vegetação arbórea

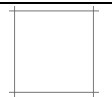
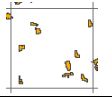
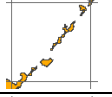
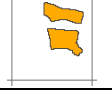
Para a análise da dinâmica da ocupação urbana utilizou-se a abordagem baseada em células. Os padrões de ocupação urbana foram desagregados em células de 250 x 250 m, com o uso do *plugin* preenchimento de células do sistema TerraView 4.20. Para cada célula foram definidas trajetórias de expansão e adensamento para dois períodos: de 1991 a 1999 e de 1999 a 2010. As trajetórias de expansão se caracterizam pela mudança no período de tempo analisado de um padrão com ausência de ocupação (vegetação) para padrões com ocupação humana (empreendimentos e áreas institucionais, expansão, baixa densidade, mediamente adensada e adensada). Por sua vez, as trajetórias de adensamento correspondem a células que

no período de tempo analisado passaram de um padrão de ocupação humana para algum padrão de maior densidade de ocupação.

2.2.2 Entorno de Santarém

A análise do arranjo das terras com uso agrícola no entorno de Santarém baseia-se nos estudos desenvolvidos por Silva et al. (2008), Gavlak et al. (2011) e Saito et al. (2011) para a identificação dos padrões de ocupação a partir de dados de desmatamento na região amazônica. A classificação dos padrões de ocupação, para os anos de 1990, 1999 e 2010, foi realizada segundo a tipologia apresentada na Tabela 2, para células de tamanho de 3 x 3 km. A resolução do espaço celular foi escolhida a partir da análise do mapeamento das áreas indicativas da organização das terras com uso agrícola e com pastagens, adequada para a representação dos padrões de interesse. Áreas de solo exposto, solo preparado e com cultivo, bem como as áreas com pastagens para a pecuária foram utilizadas como indicativas do padrão de ocupação da região.

Tabela 2. Tipologia dos padrões de terras agrícolas no entorno de Santarém.

Padrão	Tipologia	Descrição	Padrão de ocupação
	<i>Contínuo</i>	Representa classes de água, área urbana, floresta e/ou vegetação secundária.	Não agrícola
	<i>Difuso</i>	Pequenas manchas; Manchas isoladas; Baixa a média densidade.	Agricultura itinerante; pequena produção.
	<i>Linear</i>	Manchas alongadas e estreitas, intercalado com manchas pequenas, apresentando distribuição contínua em uma direção.	Agricultura associada às estradas (assentamentos em fase inicial) ou a ocupação ribeirinha.
	<i>Geométrico</i>	Forma geométrica regular; Tamanho médio a grande; Formas não contínuas; Densidade de manchas baixa a média.	Talhões de agricultura mecanizada ou pecuária de grande porte, associados a médios e grandes produtores.
	<i>Geométrico contínuo</i>	Formas geométricas regulares contínuas; Segmentos médios a grandes; Média a alta densidade.	Agricultura mecanizada com significativas áreas de produção concentradas ou pecuária de grande porte; médios e grandes produtores.
	<i>Misto</i>	Formas irregulares associadas com formas geométricas; Média a alta densidade.	Talhões grandes e médios com produção mecanizada ou pecuária de grande porte e pequenas áreas de produção agrícola.

Para a individualização das áreas indicativas da estrutura de terras agrícolas utilizou-se o algoritmo Modelo Mistura (Shimabukuro; Smith, 1991) no conjunto de imagens gerando imagens sintéticas frações solo, sombra e vegetação. As imagens frações vegetação e sombra foram utilizadas para a classificação por meio da interpretação visual, das áreas com floresta, vegetação secundária, água e núcleos urbanos. Para o mapeamento das áreas de florestas no ano de 2010 empregaram-se dados auxiliares do PRODES (INPE, 2010a). Essas classes foram incorporadas como máscara na imagem fração solo, de modo que somente as áreas indicativas da estrutura das terras agrícolas fossem utilizadas para a segmentação. Dados auxiliares do TerraClass (INPE, 2010b) do ano de 2008, foram utilizados para avaliar visualmente a classificação. Os limiares utilizados para a segmentação das imagens fração solo foram similaridade 19 e área 25, conforme resultados de testes empíricos.

A classificação dos padrões associados ao uso agrícola representados em células baseou-se em métricas de paisagem, no sistema de mineração de dados GeoDMA - *Geographic Data Mining Analyst* (Korting, et al., 2008). Esse sistema utiliza as métricas de paisagem em um algoritmo supervisionado de árvore de decisão C4.5 que classifica objetos ou células, cujo resultado é um mapa de padrões com as células classificadas de acordo com a tipologia predefinida.

3. Resultados

Os principais resultados obtidos foram a caracterização e mapeamento dos padrões espaciais de ocupação urbana de Santarém e a classificação dos padrões associados ao uso agrícola no entorno de Santarém, para o período de 1990 a 2010.

3.1. Padrões de ocupação urbana em Santarém

O mapeamento dos padrões de ocupação urbanos de Santarém para os anos de 1991, 1999 e 2010 é apresentado na Figura 2. Observa-se que a área urbana se desenvolve em torno de três manchas e que os vetores de expansão estão associados principalmente às manchas central e leste, orientados pelos eixos rodoviários da BR-163 e PA-370 (Rodovia Curuá-Una), respectivamente. Oliveira (2008) observa que o eixo associado a PA-370 constitui o vetor de expansão mais significativo, enquanto que na porção central o eixo da BR-163 encontra-se integrado à malha urbana que é mais contígua.

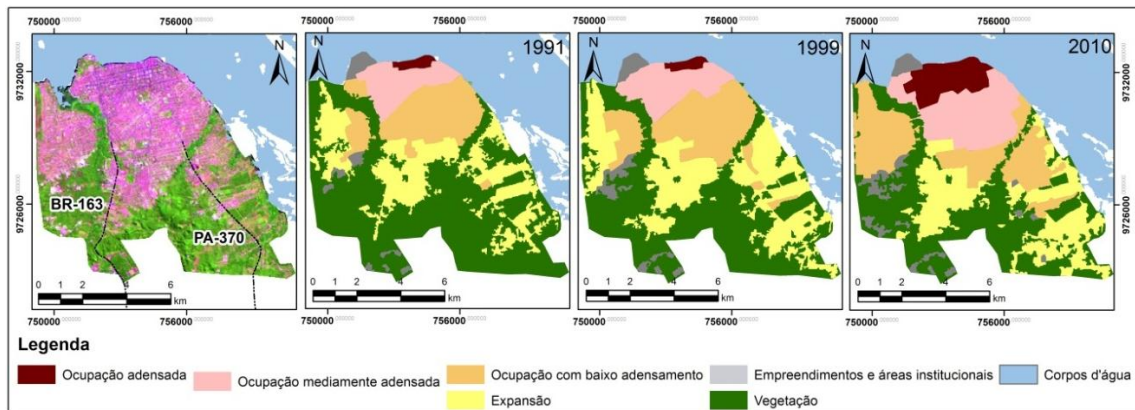


Figura 2. Mancha urbana (2010) e padrões de ocupação em Santarém para 1991, 1999 e 2010.

Em 1991 e 1999 as classes expansão e baixo adensamento foram as que apresentaram maior área (Figura 3). Em 2010, a classe baixo adensamento foi majoritária. A classe adensada apresentou crescimento significativo, apesar de ter se mantido constante no período anterior. A classe empreendimentos e áreas institucionais apresentou crescimento sutil. A classe médio adensamento apresentou redução em 2010 em relação aos anos anteriores. Ressalta-se que as áreas dotadas com melhor infraestrutura urbana estão associadas às classes adensada e medianamente adensada, que correspondem às áreas com ocupação mais antiga.

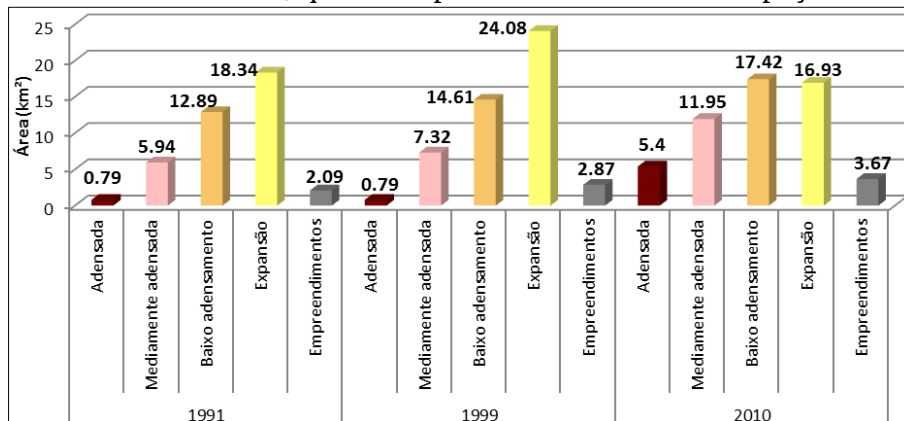
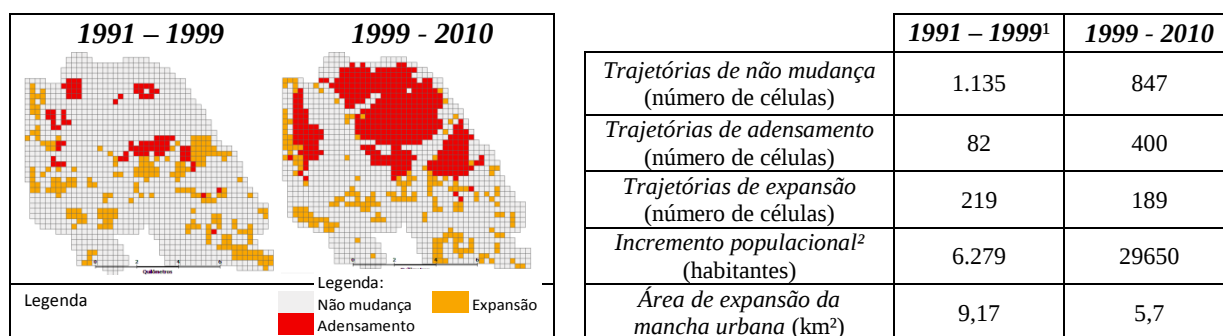


Figura 3. Área (km²) ocupada pelos padrões urbanos para 1991, 1999 e 2010 em Santarém.

As trajetórias obtidas (Figura 4) indicam dinâmicas de ocupação urbana diferenciadas entre os dois períodos. Para as trajetórias de mudanças no período de 1991 a 1999, as células com trajetórias de expansão predominam. Nesse período a área da mancha urbana passou de 40,5 km² em 1991, para 49,67 km² em 1999, com incremento populacional de pouco mais de 6.000 habitantes. A densidade de habitantes apresentou redução: de 4.500 hab/km² em 1991, para 3.750 hab/km² em 1999. Nas trajetórias de mudança para o período de 1999 a 2010 as

células com trajetórias de adensamento predominam, totalizando 400 células. A expansão em termos de área da mancha urbana nesse período foi de pouco mais de 5 km², enquanto que a população aumentou em quase 30 mil habitantes. Houve adensamento populacional em 2010, registrando-se 3.900 hab/km², mas ainda inferior ao obtido em 1991. Analisando o crescimento urbano em Santarém a partir de 1980, Oliveira (2008) sugere que a introdução da cultura da soja, especialmente no final da década de 1990, estimulou a expansão e o adensamento da ocupação. Ao incorporar grandes áreas agrícolas, o agronegócio provocou a desagregação na agricultura familiar, forçando a vinda de migrantes das áreas rurais para a cidade (Pereira, 2004). Processo este que pode ter contribuído com a periferização de Santarém: o censo de 2010 computou 43.197 habitantes residindo em 18 aglomerados subnormais (assentamentos irregulares) (IBGE, 2010).



¹ Dados populacionais referentes ao censo demográfico de 2000.

² Fonte: Censos demográficos (IBGE, 1991, 2000 e 2010).

Figura 4. Evolução da área urbana de Santarém para os períodos de 1991-1999 e 1999-2000.

3.2. Estrutura de terras agrícolas no entorno de Santarém

Para classificar os padrões da estrutura de terras agrícolas para os dois períodos de referência, na árvore de decisão obtida (Figura 5) utilizaram-se quatro métricas (percentual da paisagem, densidade de manchas e dois índices relacionados à forma) para discriminar os seis padrões definidos na tipologia. A árvore de decisão foi considerada adequada conforme o resultado da matriz de confusão de avaliação das amostras (Tabela 3), com coeficiente Kappa geral de 0.95.

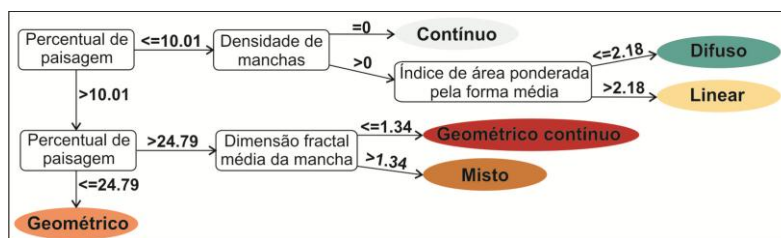


Figura 5. Árvore de decisão utilizada para a classificação dos padrões de estrutura de terras.

Tabela 3. Matriz de confusão das amostras de treinamento para os anos de 1990, 1999 e 2010.

	Contínuo	Difuso	Linear	Geométrico	Geométrico contínuo	Misto
Contínuo	11	0	0	0	0	0
Difuso	0	77	0	0	0	0
Linear	0	0	10	0	0	1
Geométrico	0	0	0	22	1	0
Geométrico contínuo	0	0	0	2	7	0
Misto	0	0	0	0	0	5

A Figura 6 apresenta os padrões de estrutura das terras agrícolas do entorno de Santarém para os anos de 1990, 1999 e 2010. De modo geral, observa-se o aumento significativo dos padrões associados à agricultura de grandes extensões destinada à produção mecanizada de grãos, especialmente a soja, e/ou pastagens para pecuária de grande porte. Os padrões associados à concentração de terras para agricultura e pecuária em larga escala (geométrico, geométrico contínuo e misto) representaram 124 células em 1990, 258 células em 1999 e 330 células em

2010. Esses padrões localizam-se especialmente na porção central da área de estudo, no Planalto Santareno cuja morfologia permite a mecanização. Para Escada et al. (2009) além do relevo e do asfaltamento da BR-163 próximo a Santarém, a localização das áreas agrícolas próximas às margens do Rio Amazonas e a existência do porto da Cargill (Santarém) possibilitam o comércio e o escoamento da produção para os mercados interno e externo.

O padrão difuso apresentou significativo aumento no número de células em 1999 (416) estando relacionado à conversão florestal para a expansão das áreas agrícolas, especialmente nas porções leste e sul. O padrão difuso, relacionado à ocupação de pequenos produtores rurais nas margens do rio Curuá-Una no ano de 1990, se expandiu na porção sul e passou a englobar talhões geométricos e extensos caracterizando o padrão geométrico nos anos seguintes. Este resultado se explica pela concentração de terras para a agricultura de larga escala. Na porção leste, o padrão linear se tornou bastante significativo e está associado às áreas de projetos de assentamento (PA) do INCRA com padrões indicativos de estágios iniciais de ocupação, como o PA Ituqui, implantado em 1987, PA Corta Corda, em 1997, e PA Tapera Velha, em 1998. Às margens do Rio Tapajós, o padrão linear foi expressivo em 2010 explicado pela estrada Trans-Tapajós.

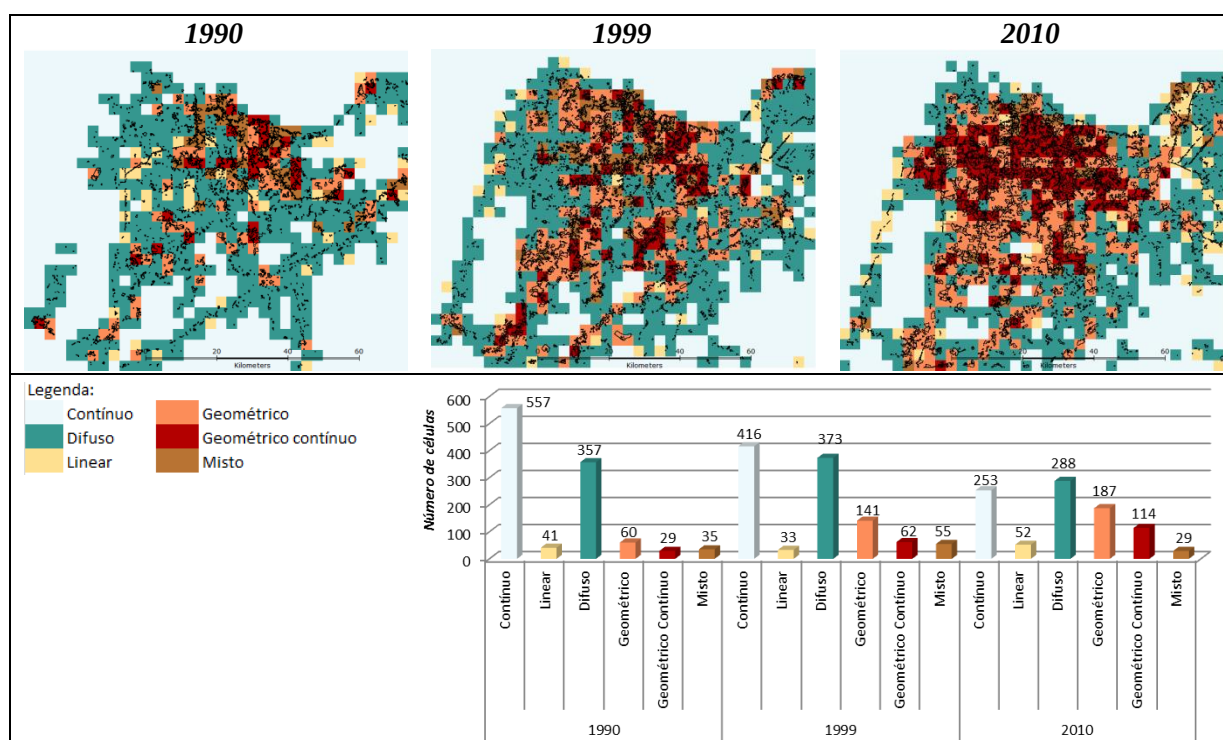


Figura 6. Padrões de estrutura das terras agrícolas em Santarém –1990, 1999 e 2010.

4. Conclusões

A classificação dos padrões espaciais urbanos e dos padrões associados a terras agrícolas do entorno foi útil para descrever a dinâmica da ocupação na região de Santarém. De modo geral, no período de 1990 a 2010 tanto a mancha urbana quanto o entorno de Santarém apresentaram mudanças nos padrões espaciais. Para o entorno de Santarém a entrada da produção de grãos, especialmente a soja, alterou a estrutura das terras agrícolas, corroborando com outros estudos desenvolvidos na região. Para a área urbana, de 1991 a 1999 ocorreu a expansão da ocupação, enquanto que entre 1999 a 2010 a dinâmica foi marcada pelo adensamento das áreas ocupadas. As alterações na estrutura de terras no entorno de Santarém podem ter influenciado a organização espacial da cidade, entretanto não foi possível avaliar a influência direta da entrada do agronegócio na estrutura espacial urbana. Ressalta-se que a urbanização de Santarém, no período analisado, acompanhou a tendência dos demais municípios da Amazônia, com significativo crescimento da população urbana.

A metodologia para analisar a estrutura de terras agrícolas evidenciou os padrões e sua evolução, indicando a validade da adaptação da tipologia de padrões de desmatamento para

estudar a dinâmica de conversão de diferentes usos da terra na região Amazônica. Contudo, para um estudo mais conclusivo sobre os efeitos da produção mecanizada de grãos na dinâmica do município e sua urbanização, seria necessário analisar dados populacionais não apenas da área adjacente; além da área urbana, deveriam ser incluídos os distritos de Santarém e Belterra, para avaliar a dinâmica populacional dos núcleos próximos a Santarém. Para a dinâmica da área urbana de Santarém, dados complementares de população e presença de equipamentos e infraestrutura urbana devem ser acrescentados, refinando a caracterização dos padrões intraurbanos.

Estudos como este que visam entender como o espaço rural se articula com o urbano são de grande importância na gestão pública da Amazônia. A compreensão dos processos históricos e das tendências de evolução fornecem embasamento para proposição de ações mais eficazes que levem em consideração os atores e processos de cada área, seja para fins de conservação ou desenvolvimento socioeconômico.

5. Referências bibliográficas

- Alves, P. A.; Amaral, S.; Escada, M. I. S.; Monteiro, A. M. V. **Explorando as relações entre a dinâmica demográfica, estrutura econômica e no uso e cobertura da terra no sul do Pará: lições para o Distrito Florestal Sustentável da BR-163.** Geografia, v. 35, n. 1, p. 165 - 182, 2010.
- Amaral, S.; Camara, G.; Monteiro, A.M.V. **Configurações Espaciais do Processo de Desflorestamento da Amazônia;** INPE: São José dos Campos, Brasil, 2001.
- Becker, B. K. Undoing Myths: The Amazon - An Urbanized forest. In: Clüsener, G. M.; Sachs, I. (Ed.). **Brazilian Perspectives on sustainable development of the Amazon region** - Man and Biosphere Series. v. 15. Paris: UNESCO and Parthenon Publish Group Limited, 1995, p. 53-89.
- Brigatti, N.; Dal'Asta, A. P.; Amaral, S.; Escada, M. I. S.; Gavlak, A. A. Identificação de áreas edificadas e núcleos urbanos na região Amazônica utilizando dados do sensor Landsat -TM5. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. **Anais...** Curitiba, Paraná, 2011.
- D'Antona, A.; Vanwey, L.; Ludewigs, T. Polarização da estrutura fundiária e mudanças no uso e na cobertura da terra na Amazônia. **Acta Amazonica**, v.41, n.2, p. 223-232, 2011.
- Dal'Asta, A. P.; Gavlak, A. A.; Escada, M. I. S.; Brigatti, N.; Amaral, S. **Núcleos de ocupação humana e usos da terra entre Santarém e Novo Progresso, ao longo da BR-163 (PA).** Relatório técnico de atividade de campo. INPE, São José dos Campos, 64 p. 2011. (Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/39DRJ9B>).
- Escada, M. I. S.; Amaral, S.; Rennó, C. D.; Pinheiro, T. **Levantamento do Uso e Cobertura da Terra e da rede de infraestrutura no Distrito Florestal da BR-163.** São José dos Campos: INPE, 2009. 52 p. (INPE-15739-RPQ/824)
- Gavlak, A. A.; Escada, M. I. S.; Monteiro, A. M. V. Dinâmica de padrões de mudança de uso e cobertura da terra na região do Distrito Florestal Sustentável da BR-163. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. **Anais...** Curitiba, Paraná, 2011.
- Geist, J.G.; Lambin, E. F. **What drives tropical deforestation?** A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. LUCC Report series, No. 4, 2001, 116 p.
- IBGE. **Censos Demográficos**, 1991, 2000 e 2010. **Censos Agropecuários**, 1996 e 2006.
- IBGE. **Regiões de Influência das Cidades**, 2008. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento da floresta amazônica por satélite**, Projeto PRODES, 2010a. Disponível em: < <http://www.obt.inpe.br/prodes/r2007.htm> >.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Projeto TerraClass – Mapeamento da vegetação secundária para a Amazônia Legal**, 2010b. Disponível em: < <http://www.inpe.br/cra/terraClass.php#> >.
- Korting, T. S.; Fonseca, L. M.; Escada, M. I. S.; Silva, F. C.; Silva, M. P. S. GeoDMA: a novel system for spatial data mining. **IEEE International Conference on Data Mining Workshops, Pisa, Italia**, 2008. **Anais...** Pisa, Italia, 2008.
- Saito, E. A.; Escada, M. I. S.; Fonseca, L. M. G.; Korting, T. S. Análise de padrões de desmatamento e trajetórias de ocupação humana na Amazônia usando técnicas de mineração de dados. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. **Anais...** Curitiba, Paraná, 2011.
- Monte-Mór, R. L. D. M. Urbanização Extensiva e Lógicas de Povoamento: Um Olhar Ambiental. In: Santos, M.; Souza, M. A. A. d.; Silveira, M. L. (Ed.). **Território, Globalização e Fragmentação.** São Paulo: HUCITEC-ANPUR, 1994, p. 169-181.
- Oliveira, J. Expansão urbana e periferização de Santarém-PA, Brasil: questões para o planejamento urbano. X Colóquio Internacional de Geocrítica. **Anais...** Barcelona, 2008.
- Pereira, J. C. M. **Importância e significado das cidades médias na Amazônia: uma abordagem a partir de Santarém (PA).** 2004. Dissertação (Mestrado em Planejamento do Desenvolvimento). UFPA, Belém, 2004.
- Saito, E. A. **Mineração de padrões de desmatamento e ocupação humana na Amazônia Legal em diferentes escalas.** Proposta de Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, 2009.
- Shimabukuro, Y. E.; Smith, J. A. The Least-Squares Mixing Models to Generate Fraction Images Derived From Remote Sensing Multispectral Data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16-20, 1991.
- Silva, M.P.S.; Câmara, G.; Escada, M. I. S.; De Souza, R. C. M. Remote-sensing image mining: detecting agents of land-use change in tropical forest areas. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, p. 4803-4822, 2008.