

ANEXO P

Estudo Metodológico [1]

Padrões de evolução da estrutura fundiária e do arranjo espacial urbano em Santarém (Pará): Período de 1990 a 2010

Ana Paula Dal'Asta
Maria Isabel Sobral Escada

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

1. Objetivo do Estudo

Na Amazônia, diversos são os fatores e agentes que atuam na região e condicionam diferentes velocidades e padrões de ocupação. No aspecto metodológico isso exige *diferentes escalas para interpretar a realidade amazônica*, e dentro delas a observação dos padrões de uso e ocupação em diferentes resoluções espaciais. Para um estudo metodológico das possibilidades do uso de métricas da paisagem adaptadas para a observação da paisagem urbana, este estudo toma **Santarém**, considerado *como Centro regional de influência C na Rede Urbana Brasileira (REGIC – IBGE)* e mantida sua importância pelo modelo preliminar *CENTRALINA* e busca avaliar a *evolução da estrutura espacial urbana* e os *padrões de evolução* associados a *estrutura fundiária no entorno de Santarém*, no período de 1990 a 2010. Com isso testa as possibilidades do uso de certas métricas propostas na literatura e apresenta sugestões para o debate.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de estudo

O recorte espacial adotado corresponde a porção leste do município de Santarém (PA), no entorno da área urbana de Santarém e de Belterra, conforme ilustra a figura 1. Nesta região, inserida no Planalto Santareno, encontram-se as principais áreas agrícolas do município de Santarém (Escada et al., 2009).

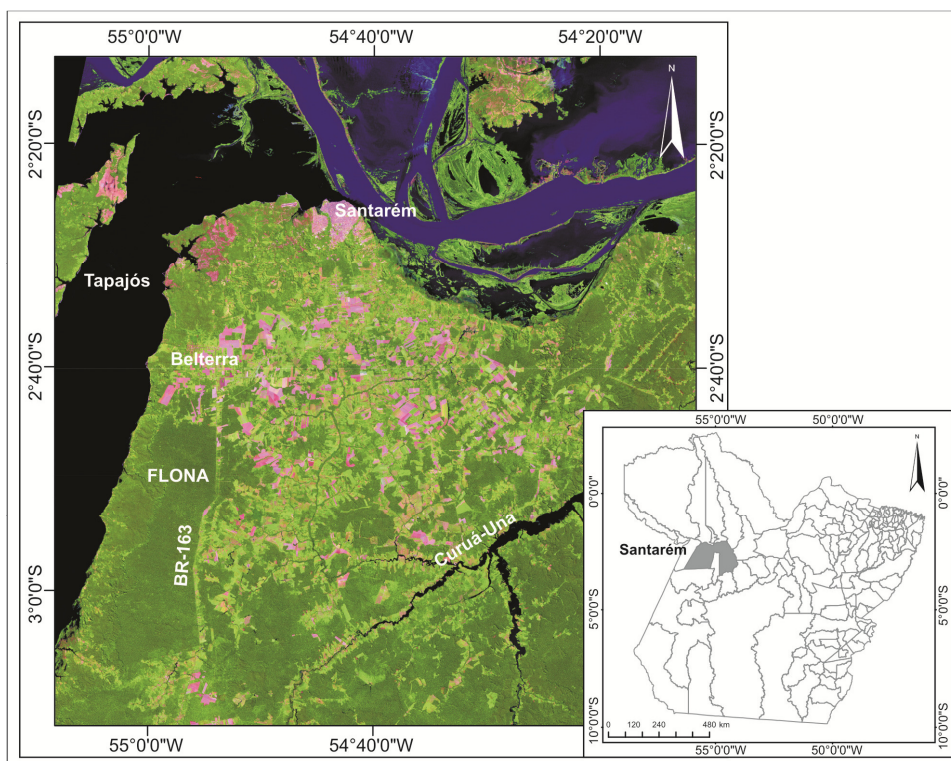


Figura 1. Localização da porção leste do município de Santarém (PA).

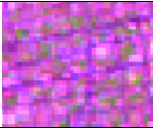





2.2 Metodologia

Para a análise da evolução dos padrões intra-urbanos de Santarém adotou-se como procedimento a interpretação visual da estrutura espacial urbana em imagens Landsat TM-5, para os anos de 1991, 1999 e 2010. Trajetórias de expansão e adensamento definiram a dinâmica da ocupação urbana no período. Para o entorno de Santarém foram utilizadas imagens Landsat TM-5, para os anos de 1990 e 2010. O procedimento adotado consistiu na aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) no conjunto de imagens, mineração dos dados e classificação dos padrões de estrutura fundiária. As etapas metodológicas empregadas em cada porção territorial são detalhadas a seguir.

2.2.1 Área urbana de Santarém

Para o mapeamento dos padrões intra-urbanos de Santarém, adotou-se o limite da mancha urbana (BRIGATTI et al, 2011) adaptado aos setores censitários urbanos (IBGE, 2010). Foram definidos cinco padrões de ocupação baseados na estrutura espacial urbana, conforme ilustra a tabela 1. Densidade de ocupação, presença de vegetação e traçado urbano foram os principais critérios utilizados na classificação. Esses critérios foram adaptados do sistema de classificação LCCS (*Land Cover Classification System*) para as características da área. O mapeamento foi realizado no sistema Spring 4.3.3.

Tabela 1. Tipologia associada aos 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

Após o mapeamento, os padrões intra-urbanos foram desagregados em células de 250m x 250m, no sistema TerraView 4.20, afim de caracterizar a dinâmica da ocupação urbana. Para cada célula foram definidas trajetórias de expansão e adensamento para dois períodos: 1991 a 1999 e 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, expansão, baixo e médio adensamento e adensadas). 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 da estrutura fundiária no entorno de Santarém baseia-se nos estudos desenvolvidos por Silva et al. (2008), Saito et al. (2009) e Gavlak et al. (2011) para a identificação dos padrões de desmatamento na região amazônica. A classificação dos padrões de estrutura fundiária, para os anos de 1990 e 2010, foi realizada segundo a tipologia apresentada na tabela 2, para células de tamanho de 3km x 3km. A escolha da resolução do plano celular foi baseada na análise do mapeamento das áreas indicativas da estrutura fundiária, mostrando ser a mais adequada para a representação dos padrões de interesse. Consideram-se as áreas de solo exposto, solo preparado e com cultivo, bem como as áreas com pastagens para a pecuária como indicativas da estrutura fundiária da região.

Tabela 2. Tipologia dos padrões de estrutura fundiária para o entorno de Santarém.

Padrão	Tipologia	Descrição	Padrão de ocupação
	<i>Contínuo</i>	Pode ser 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 as 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 fundiária, foi executado o algoritmo MLME (SHIMABUKURU, 1991) nas imagens de 1990 e 2010 gerando imagens sintéticas frações solo, sombra e vegetação. As imagens frações vegetação e sombra foram utilizadas para a classificação, através 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 (2010). Essas classes foram incorporadas como máscara na imagem fração solo, de modo que somente as áreas indicativas da estrutura fundiária fossem utilizadas para a segmentação. Os limiares utilizados para a segmentação das imagens fração solo mais as máscaras foram similaridade 19 e área 25, escolhidos após testes empíricos.

A classificação dos padrões de estrutura fundiária representados em células foi realizada através da extração de um conjunto de métricas de ecologia de paisagem implementadas no sistema de mineração de dados GeoDMA - *Geographic Data Mining Analyst* (KORTING, et al., 2008). Esse sistema utiliza as métricas de ecologia da paisagem que por meio de um algoritmo supervisionado de árvore de decisão C4.5 realiza a classificação de objetos ou células. O resultado é um mapa de padrões com as células classificadas.

Os resultados obtidos para a área urbana e para o entorno de Santarém são apresentados a seguir.

3. Resultados

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

3.1. Padrões de ocupação urbana em Santarém

A figura 2 ilustra o mapeamento dos padrões de ocupação urbanos de Santarém para os anos de 1991, 1999 e 2010. Observa-se que a área urbana se desenvolve em torno de três manchas obedecendo aos limitantes naturais. Os vetores de expansão, no período analisado, estão associados principalmente as manchas central e leste, orientados pelos eixos rodoviários, BR-163 e PA-370, respectivamente.

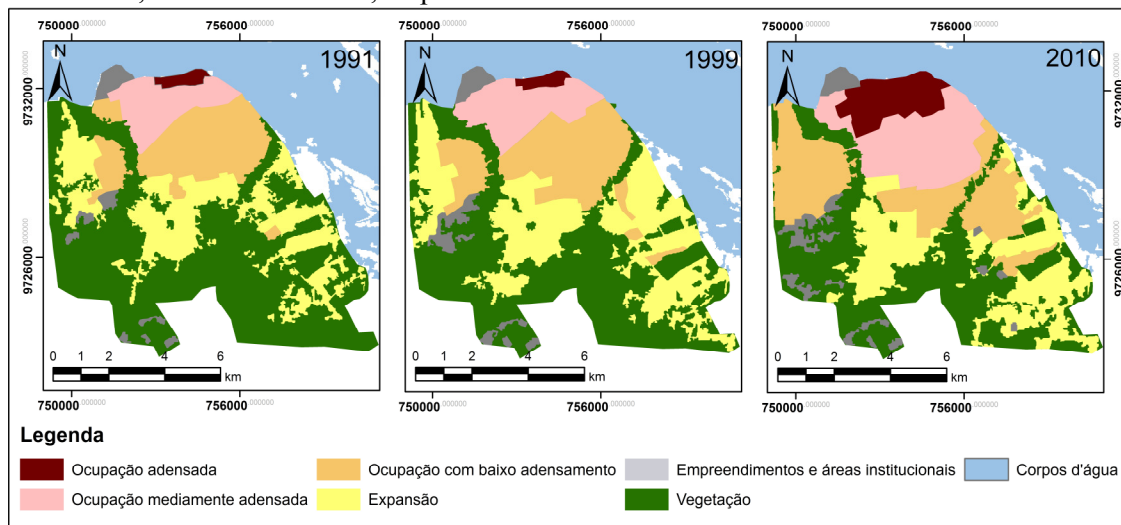


Figura 2. Mapeamento dos padrões de ocupação urbana em Santarém para 1991, 1999 e 2010.

Em termos de área, em 1991 e 1999 as classes com maior abrangência eram expansão e baixo adensamento, conforme ilustra a figura 3. Em 2010, a classe majoritária é baixo adensamento, com crescimento significativo nas tipologias adensada, que no período anterior manteve-se a mesma, e empreendimentos e áreas institucionais. A classe médio adensamento apresentou redução em 2010 em relação aos anos anteriores.

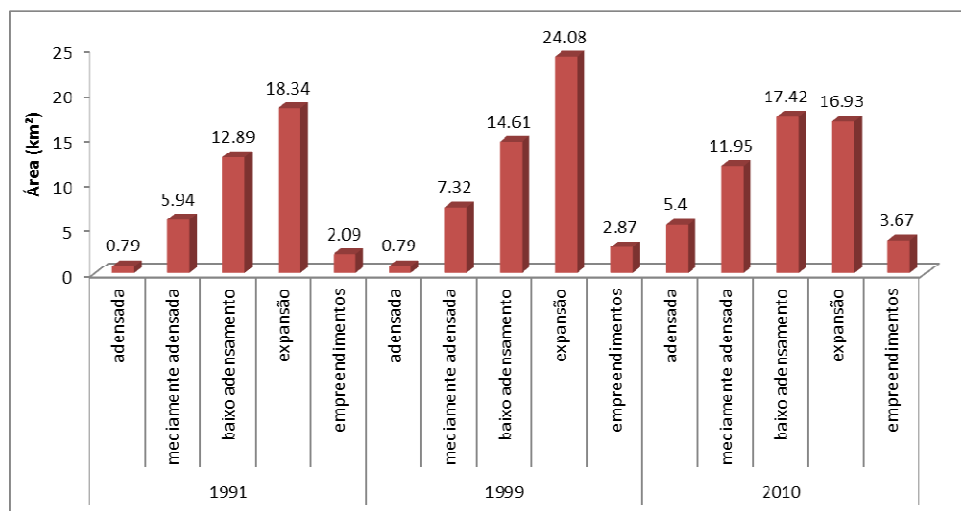


Figura 3. Área (km²) ocupada pelos padrões urbanos para 1991, 1999 e 2010.

Analisando as trajetórias ilustradas na figura 4, observa-se que os dois períodos analisados apresentam dinâmicas de ocupação urbana diferenciadas. Para as trajetórias de mudanças, no período de 1991 a 1999, predominam as células com trajetórias de expansão (219 células), enquanto que as células de adensamento somam 82. As trajetórias de não mudança correspondem a 1.135 células. Nesse período a área da mancha urbana apresentou um incremento de quase 10km², passando de 40,5km² em 1991 para 49,67km² em 1999, e incremento populacional de pouco mais de 6 mil habitantes. A densidade de habitantes apresentou redução, passando de 4.500hab/km², em 1991, para 3.750hab/km², 1999. No período de 1999 a 2010 as trajetórias de expansão correspondem a 189 células, as trajetórias de adensamento 400 células e as trajetórias de não mudança 847 células. A expansão em termos de área da mancha urbana, nesse período foi de pouco mais de 5km², enquanto que a população aumento em quase 30 mil habitantes. A densidade de habitantes aumentou em relação a 1999, passando para 3900 hab/km², mas ainda inferior com relação a 1991.

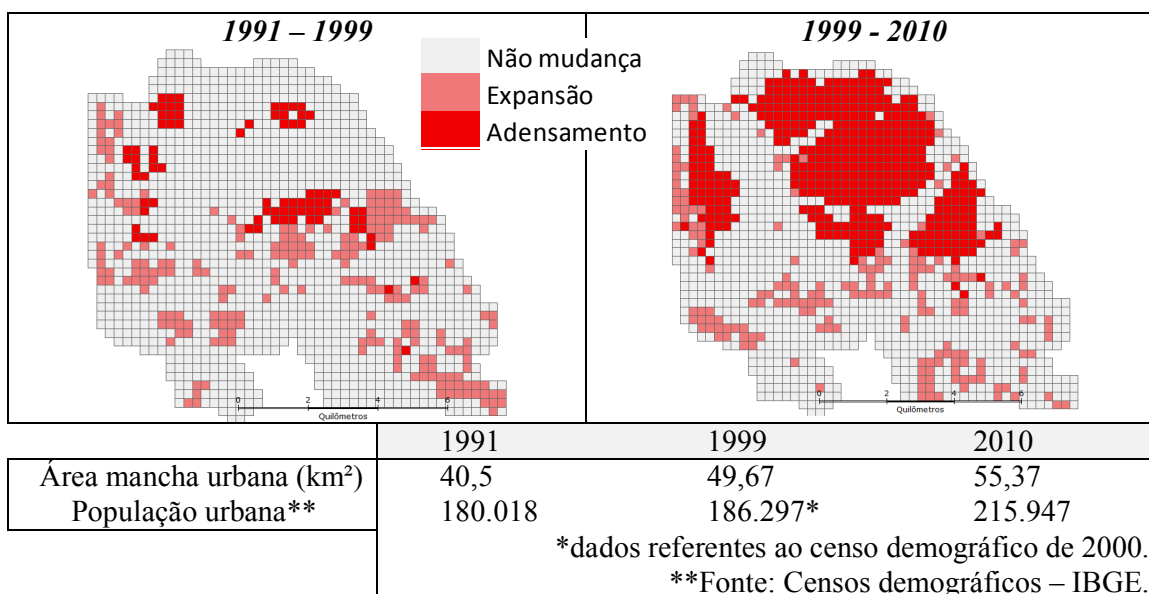


Figura 4. Trajetórias da área urbana de Santarém.

3.2. Estrutura fundiária no entorno de Santarém

A figura 5 ilustra a árvore de decisão gerada para a classificação dos padrões de estrutura fundiária dos dois períodos de referência. Foram utilizadas quatro métricas (percentual de paisagem, densidade de manchas e dois índices relacionados à forma) para discriminar os seis padrões definidos na tipologia. A avaliação das amostras utilizadas para a geração da árvore de decisão é apresentada na tabela 3 que ilustra a matriz de confusão para cada ano. Os coeficientes Kappa foram de 0.9, para 1990, e 0.88, para 2010.

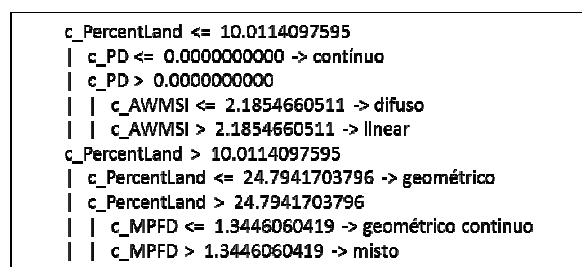


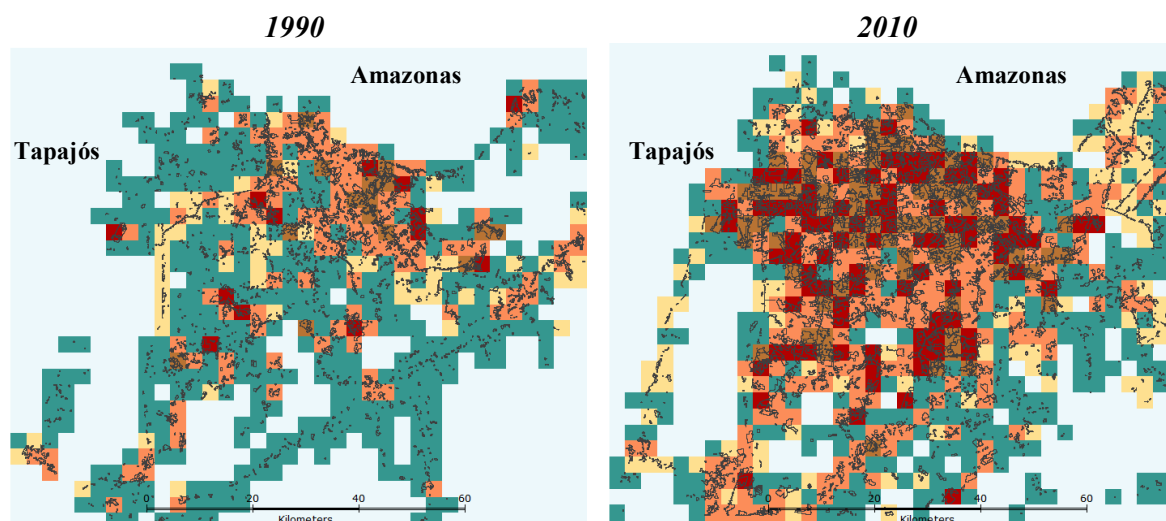
Figura 5. Árvore de decisão.

Tabela 3. Matriz de confusão entre as amostras e a classificação final para os anos de 1990 e 2010.

1990						2010						
	Contínuo	Difuso	Geométrico	Geométrico Contínuo	Linear		Contínuo	Difuso	Geométrico	Geométrica Contínuo	Linear	Misto
Contínuo	9	0	0	0	0	Contínuo	3	0	0	0	0	0
Difuso	0	18	0	0	1	Difuso	0	11	0	0	1	0
Geométrico	0	1	8	0	0	Geométrico	0	1	11	0	0	0
Geométrico Contínuo	0		1	1	0	Geométrica Contínuo	0		1	12	0	2
Linear	0	0	1	0	3	Linear	0	0	0	0	7	0
						Misto	0	0	0	0	0	3

A figura 6 apresenta os padrões de estrutura fundiária para o entorno de Santarém para os anos de 1990 e 2010. De modo geral, observa-se o aumento significativo durante o período analisado dos padrões associados a agricultura de grandes extensões destinada a produção mecanizada de grãos, especialmente a soja, e/ou pastagens para pecuária de grande porte. Os padrões geométrico, geométrico contínuo e misto representavam, em 1990, 132 células, enquanto que em 2010, passaram a representar 335 células. As áreas associadas a esses padrões localizavam-se especialmente na porção central da área de estudo, no planalto santareno cuja morfologia facilita a mecanização. Para Escada et al. (2009) além do relevo que favorece a mecanização e o asfaltamento da BR 163 próximo a Santarém, a localização das áreas agrícolas próximas às margens do Rio Amazonas e a existência do porto da Cargil (Santarém) possibilitam o comércio e o escoamento da produção para os mercados interno e externo.

O padrão contínuo apresentou, no período analisado, redução no número de células, a qual está relacionada principalmente a conversão florestal nas porções leste e sul. Na porção leste, o padrão linear se tornou bastante significativo e está associado as áreas de projetos de assentamento (PA) do INCRA em estágios iniciais de ocupação, como o PA Ituqui, implantado em 1987, PA Corta Corda, em 1997, e PA Tapera Velha, em 1998. Na porção sul o padrão difuso associado a ocupação as margens do rio Curuá-Una no ano de 1990, se expandiu e passou a englobar talhões geométricos e extensos caracterizando o padrão geométrico em 2010.



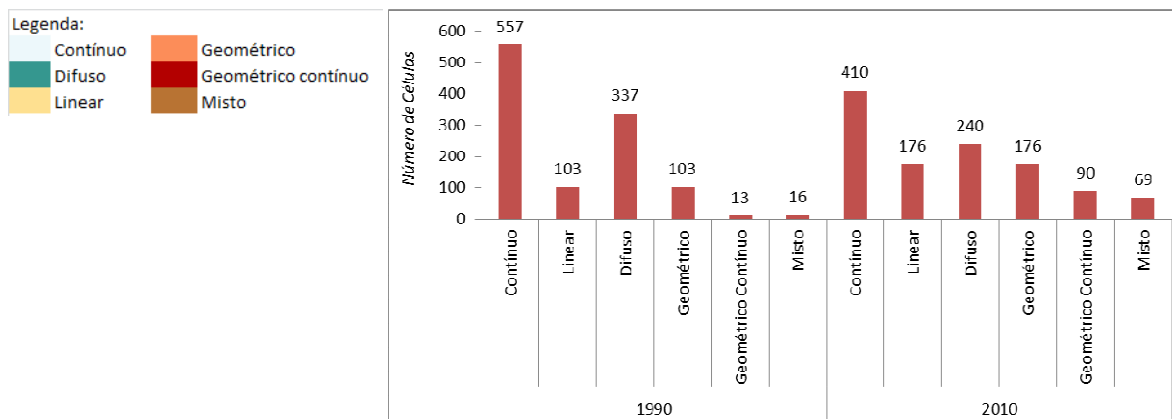


Figura 6. Padrões de estrutura fundiária em Santarém – anos de 1990 e 2010.

4. Conclusões

A metodologia empregada para analisar a estrutura fundiária mostrou-se bastante útil e demonstrou a aplicabilidade da adaptação da tipologia de padrões de desmatamento para avaliar a dinâmica em outras formas de conversão de uso da terra na região amazônica.

Este resultado amplia as possibilidades para a observação indireta dos arranjos espaciais produzidos nas cidades-nós pelos grandes negócios.

A classificação dos padrões espaciais urbanos e dos padrões associados a estrutura fundiária foi útil para auxiliar no entendimento da dinâmica na região Santarém. De modo geral, no período de 1990 a 2010 tanto a mancha urbana quanto o entorno de Santarém apresentaram mudanças nos padrões espaciais e as células representaram essas mudanças. Para o entorno de Santarém a entrada da produção de grãos, especialmente a soja, alterou a estrutura fundiária, corroborando com outros estudos desenvolvidos na região. Para a área urbana, no período de 1991 a 1999 ocorreu a expansão da ocupação enquanto que entre 1999 a 2010 a dinâmica foi marcada pelo adensamento das áreas ocupadas.

Apesar dos resultados satisfatórios, considera-se necessário o refinamento da tipologia com a inclusão do ano de 1999 na classificação. Além disso, dados populacionais para avaliar a dinâmica populacional no entorno de Santarém e dos núcleos populacionais devem ser acrescentadas para se obter o entendimento mais profundo das alterações da introdução da produção mecanizada de grãos. Para a área urbana de Santarém, dados complementares de população e presença de equipamentos e infra-estrutura urbana devem ser acrescentados para a melhor caracterização dos padrões intra-urbanos.

5. Referências bibliográficas

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).

IBGE. **Censo Demográfico**, 1991, 2000 e 2010.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento da floresta amazônica por satélite**, Projeto PRODES, 2010. Disponível em: < <http://www.obt.inpe.br/prodes/r2007.htm>>. Acesso em: 02 jan. 2010.

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. **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.

Estudo Metodológico [2]

Padrões de Paisagem Urbana no contexto Amazônico: Conceitos e Métodos

Núcleo Focal FGV/SP –Frederico Roman Ramos e Ciro Biderman

Objetivo:

O estudo teve com foco replicar, através do uso em dados reais na situação amazônica, um conjunto de metodologias propostas, desenvolvidas e aplicadas na literatura de economia urbana que buscam estabelecer representações quantitativas sobre a forma urbana a partir de técnicas de processamento digital de imagens de sensores remotos. Os resultados alcançados até agora ajudam avaliar as possibilidades de aplicação desta estratégia analítica dentro do contexto das cidades-nós no URBISAMAZÔNIA e principalmente indicar as fragilidades desta medidas e as possibilidades de adequações metodológicas para as complexidades do urbano amazônico.

O estudo se insere em um contexto onde, apesar de haver considerável acúmulo de estudos sobre padrões de crescimento urbano e sua relação com a configuração da estrutura espacial urbana, a visão econômica que domina a discussão sobre o tema muitas vezes confunde causas com consequências. Isso se deve em grande parte da dificuldade de operacionalização da caracterização da estrutura urbana em representações capazes de objetivar suas dimensões em medidas concretas. Na verdade, a recente literatura sobre o tema tem dedicado esforços na proposição de diferentes métricas.

Para este estudo foi escolhida Belém onde uma série de situações tem ocorrência hoje e ocorreram no processo de produção de seu espaço urbano e metropolitano. E, ao testar em Belém, pensamos ser possível e mais rápido entender as limitações e as necessidades de ajustes interpretativos e/ou a criação de novas métricas.

No âmbito deste estudo, foram replicadas as métricas desenvolvidas por Angel et al (2011) dentro do projeto de análise comparativa de regiões metropolitanas e de Burchfield *et al* (2006). Ambos derivam da tradição analítica da Ecologia da Paisagem¹ que propõe a utilização de imagens de satélite para construção de métricas relativas às cinco dimensões que segundo os autores são necessárias à compreensão e caracterização dos processos de expansão urbana. São elas: extensão da área urbanizada, densidade, centralidade, fragmentação e compacticidade.

Estas métricas são construídas a partir de imagens provenientes do sensor *Thematic Mapper* (TM) embarcados nos satélites do programa LANDSAT da Agencia Espacial Norte-Americana (NASA). Estas imagens são classificadas através de processamento digital de imagens buscando-se isolar pixels em três classes básicas: *construído* (*built-up* pixels identificados como superfícies impermeabilizadas); *água* (correspondendo aos corpos d'água, rios e oceano) e; *espaço aberto* (compreendendo todos os outros usos não classificados como construídos ou água). O processamento se aplica a um conjunto de imagens obtidas em diferentes períodos do tempo permitindo representar também a forma com que se dá a expansão das áreas urbanas.

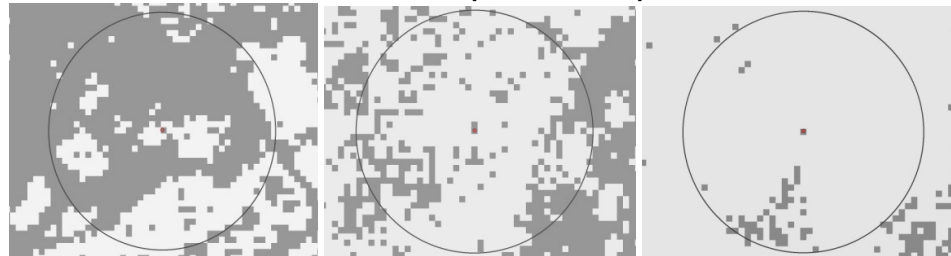
A metodologia parte da aplicação de uma tipologia aos pixels classificados como *construídos* (*built-up*) e *espaço aberto*. Definem-se pixels classificados como construídos em três tipos a partir de uma consulta espacial em sua vizinhança circular de 1km². Os tipos são:

- **Urbano** - Todos os pixels classificados como *construídos* que apresentem em sua vizinhança a maioria de pixels da mesma classe;

¹ O termo Ecologia da Paisagem foi inicialmente proposto pelo geógrafo alemão Carl Troll no ano de 1939 e nasceu de uma perspectiva interdisciplinar interessada no estudo das interações complexas entre as comunidades biológicas e o ambiente. Esta nova perspectiva analítica se colocava a partir do desenvolvimento dos estudos científicos que utilizavam as primeiras imagens aéreas então disponíveis (Troll, 1971).

- **Periurbano**² - Todos os pixels classificados como *construídos* que apresentem entre 50% a 10% de pixels da mesma classe em sua vizinhança; e
- **Rural** - Todos os pixels classificados como *construídos* que apresentem menos de 10% de pixels da mesma classe em sua vizinhança (Figura 1).

Figura 1. Ilustração sobre os contextos de classificação de pixels do tipo *construído* (cinza escuro)



(A) Urbano

(B) Periurbano

(C) Rural

Fonte: Measuring Spatial Patterns and Trends in Urban Development (Parent, Civco, Angel, 2009)

Em seguida, tipificam-se os pixels classificados como *espaços abertos* próximos aos pixels *construídos*. Definiu-se a distância de 100 metros como aquela que permite caracterizar os níveis de fragmentação da periferia da cidade. Assim, três tipos de *espaços abertos* são definidos:

- **Franja**: Todos os pixels classificados como espaço aberto que se localizam a uma distância de 100 metros de pixels do tipo urbano e periurbano;
- **Espaço aberto capturado**: Todos os agrupamentos de pixels classificados como espaço aberto que se encontram completamente rodeados por pixels da classe *construído* ou de pixels do tipo franja e que tenham área menor do que 200 hectares;
- **Exterior**: Todos os pixels classificados como espaço aberto do tipo franja a menos de 100 metros dos pixels espaço aberto restantes, ou seja, são os espaços abertos que circundam toda a aglomeração urbana.

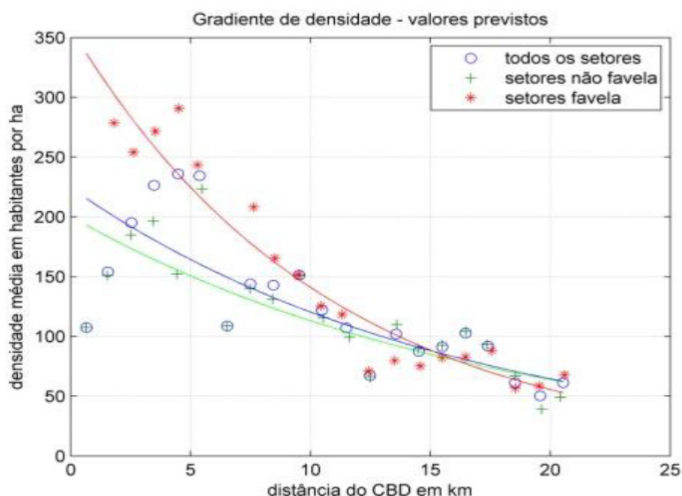
² A metodologia de Angel *et al.* (2011) atribuí a este tipo a denominação *suburban* (suburbano). A fim de evitar que se estabeleça uma relação direta ao padrão de desenvolvimento dos subúrbios norte-americanos, optamos por designar estes pixels como periurbanos, evidenciando mais sua posição geométrica do que tipologias urbanísticas.

A metodologia proposta em Angel et. Al (2011) prevê ainda que se calculem medidas globais com o objetivo de caracterizar a aglomeração urbana em seu conjunto.. Estas medidas derivadas diretamente das métricas de ecologia da paisagem são calculadas como forma de auferir as características da aglomeração em termos da sua forma espacial relativos às cinco dimensões identificadas como relevantes na interpretação da estrutura urbana. A seguir apresentamos a definição de cada uma das métricas calculadas para caracterização de cada uma das dimensões consideradas na análise:

- **Extensão da Área Urbanizada:** tipicamente medida pelo total de área construída (*impervious surface*). Calculam-se duas medidas, uma relativa à área dos total de pixels classificados como construídos. Outra inclui os espaços abertos capturados pelas áreas urbanizadas e os espaços abertos afetados pelo desenvolvimento urbano.
- **Densidade**, ou mais precisamente média da densidade populacional na área urbanizada. A densidade é calculada a partir de dados demográficos censitários e utiliza em seu denominador a área classificada como construída e também a área classificada como *footprint*. O *footprint* urbano é definido na metodologia como a área ocupada pelos pixels do tipo *urbano*, *periurbano*, *franja* e *espaço aberto capturado*. Assim, calculam-se duas medidas: **Densidade da área urbanizada**, definida como a razão entre a população dentro da área administrativa e a área de pixels 'área urbanizada' e **Densidade do footprint urbano**, definido como a razão entre a população dentro da área administrativa e a área de pixels dentro do *footprint* urbano.
- **Centralidade:** relativo à proporção da população na cidade que vive próxima ao centro da cidade em relação a que vive em sua periferia. A centralidade é calculada a partir da estimativa dos gradientes de densidade na forma clássica estabelecida por Clark (1951) onde a densidade populacional decresce de forma exponencial conforme aumenta a distância em relação ao centro de negócios principal da cidade. Esta relação pode ser representada seguindo uma

função na forma de $D(x) = Ae^{-bx}$ onde $D(x)$ é a densidade populacional em unidades de população por unidade de área e x é a distância ao centro de negócios. As métricas utilizadas para medir a centralidade são a **gradiente de densidade** em relação ao centro e sua inclinação e **intercepto do valor de densidade** no eixo Y, ou a densidade na área central. Esta mesma abordagem foi replicada em um trabalho recente desenvolvido por Cotelo e Rodrigues (2011) que estimaram com dados censitários georreferenciados os gradientes de densidade populacional e de renda para 12 regiões metropolitanas no Brasil.

Figura 2 . Gradiente de densidade calculado para a região metropolitana de Belém



FONTE: Cotelo e Rodrigues, 2011. Favela e periferia como espaços de pobreza: estudo sobre a configuração urbana de metrópoles brasileiras - ANPEC

- **Fragmentação, ou desenvolvimento disperso**, medido tipicamente através da quantidade relativa de espaços abertos que estão fragmentados por expansões não contíguas das cidades. Nesta dimensão se diferenciam os padrões espaciais de expansão urbana em três tipos: preenchimento identificados como novos desenvolvimentos internos a mancha urbana já consolidada (*infill*), extensão como os novos desenvolvimentos contíguos à mancha urbana nas franjas da cidade (*extension*) e descontínuo para aqueles novos desenvolvimentos não contíguos à mancha urbana (*leapfrog*). Dentro desta dimensão calculam-se ainda duas outras medidas: o **Índice de espaços abertos** (openness index) definido como a média de espaços abertos ao redor de cada pixel 'área

urbanizada' em uma circunferência de 1km² e **razão de footprint urbano** na forma da razão entre a extensão da 'área urbanizada' e o footprint .

- **Compactidade**, ou nível em que a configuração espacial da mancha urbana se aproxima de um círculo em contraposição a uma forma tipo tentacular medido através de métricas de paisagem. Nesta dimensão são calculados dois índices: o **índice de proximidade** definido como a razão entre a distância média de todos os pontos em um círculo de área-equivalente e seu centro com a distância média entre todos os pixels do footprint urbano e o centro principal da cidade. Para esse cálculo, é preciso identificar o centro da aglomeração urbana, identificado no caso como a localização da prefeitura. O outro índice é o **Índice de coezão** calculado como a razão entre a distância média entre todos os pontos de um círculo de área-equivalente e a distância média entre todos os pixels do footprint urbano.

Estas métricas são baseadas em medidas extraídas de imagens classificadas através de técnicas de processamento digital baseadas nas características estatísticas dos níveis de refletância dos pixels em imagens TM multiespectrais. Apesar de ser uma fonte de dados que reúne características desejáveis como um bom recobrimento temporal e detalhamento espacial, a técnica utilizada na classificação das imagens pode afetar a confiabilidade das medidas. O principal desafio é a capacidade de distinção das áreas efetivamente construídas de outras classes de cobertura do solo como áreas de pousio, ou solo exposto. Além disso, quando se trata de comparações entre cidades, as diferenças regionais das áreas de inserção como tipo do solo, vegetação e materiais construtivos também podem afetar a precisão das classificações. Outro aspecto negativo é a limitação que a metodologia apresenta na capacidade de distinção de características morfológicas do tipo de urbanização que ocorre em escala intraurbana. As imagens Landsat não são capazes de informar diferenças nos tipos de ocupação internas a mancha urbana por uma limitação de resolução espacial da imagem. A capacidade de realizar tais diferenciações só é possível com utilização de imagens de alta resolução acompanhadas de processos de validação in-loco. O trabalho de Dal'Asta et al

(2012) apresenta um bom exemplo na aplicação desta metodologia em cidades da Amazônia.

Nos exercícios realizados para a cidade de Belém, as imagens acessadas são provenientes da base de dados do *Lincoln Institute of Land Policy* cuja fonte original é o USGS (*U.S. Geological Survey*) obtidas em 27/Jul/84, 10/Ago/1992, 3/Ago/2001 e 15/Mai/2004. Estas imagens foram acessadas classificadas nos três usos definidos anteriormente por método de classificação não supervisionada com algoritmo ISODATA no software envi 5.1. A partir das imagens classificadas foram aplicadas duas rotinas desenvolvidas pela Universidade de Connecticut em linguagem python para cálculo das métricas de paisagem em software ArcGis 9.3. (Apendice 1). A figura 3 mostra as imagens para a região de Belém classificadas para cada um dos períodos. As imagens classificadas por técnicas não supervisionadas requerem um procedimento de validação em campo para que se evitem problemas de confusão de classes. Neste caso, este processo ainda não foi realizado e o exercício serviu apenas para avaliar a capacidade informativa das métricas sugeridas.

Figura 3. Imagens LANDSAT – TM classificadas em classes construído (vermelho), água (azul) e não urbano (verde).

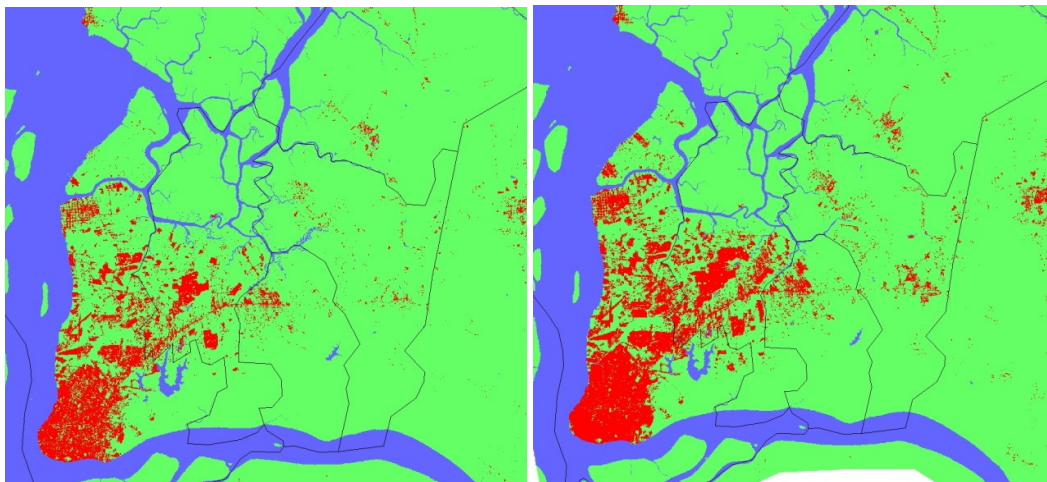


Imagem – julho/1984

Imagem – agosto/1992

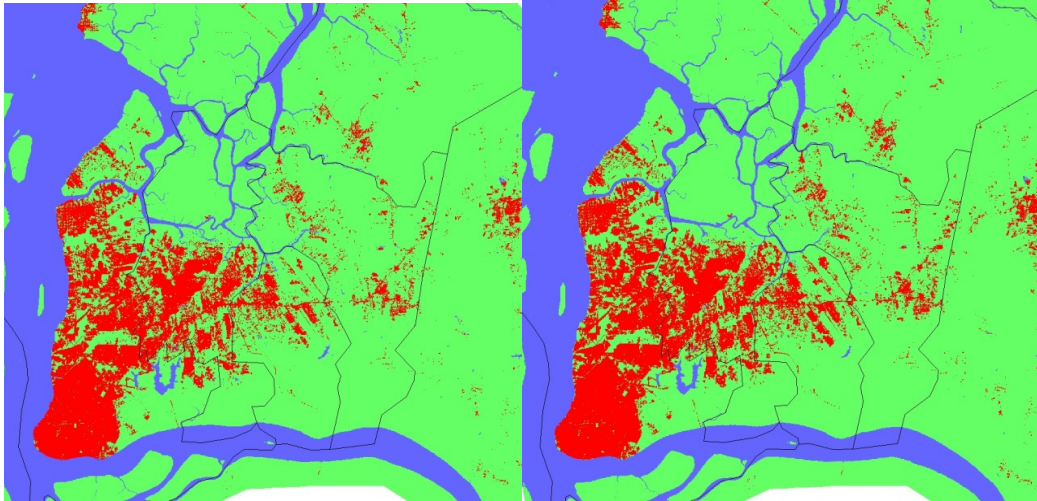
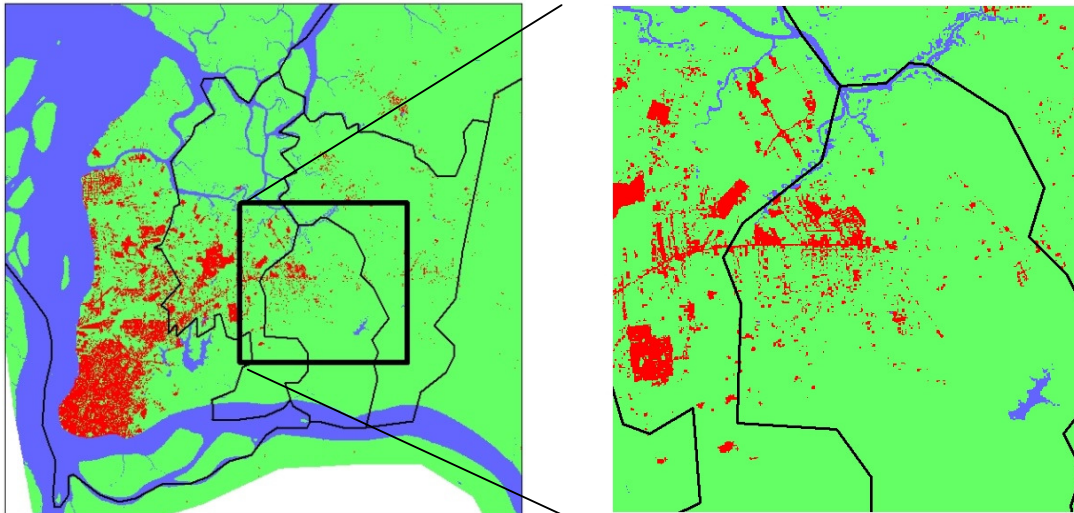


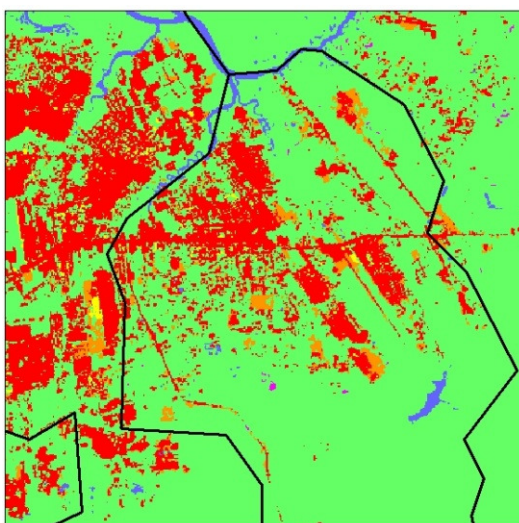
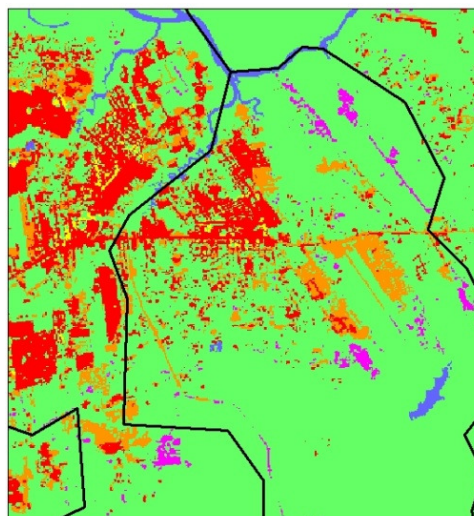
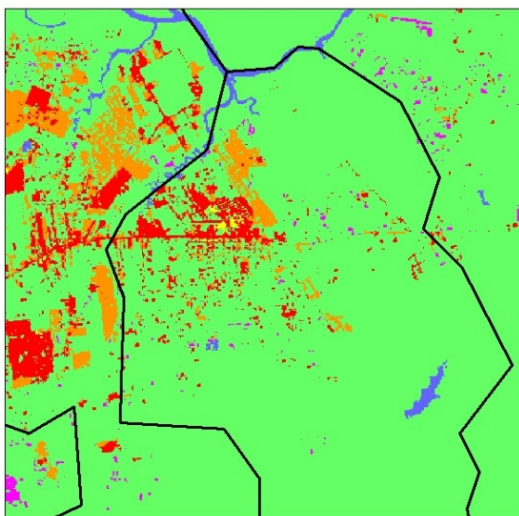
Imagem – agosto/2001

Imagem – maio/2004

Fonte: LILP/LAC Database

Figura 4. Detalhe das imagens classificadas (município de Marituba) em classes de expansão urbana entre os períodos de imagens disponíveis (vermelho), água (azul) e não urbano (verde).





Na linha superior à esquerda a imagem 1984 classificada e, à direita, detalhe do centro de Marituba. Na linha intermediária, à esquerda, novas expansões no período 1984-1997, direita no período 1997-2001. Ao lado novas expansões no período 2001-2004.

Novas Ocupações

- Preenchimento
- Extensão
- Descontínuo

Fonte: LILP/LAC
Database

Quadro 1. Estatísticas relativas aos padrões de novas ocupações na Região Metropolitana de Belém

<i>município</i>	<i>area (2007)</i>	<i>preenchimento (T0 - T1)</i>	<i>extensão (T0-T1)</i>	<i>descontínuo (T0 - T1)</i>	<i>Total de novas ocupações (T0-T1)</i>
Ananindeua	184,78	1,09	13,11	0,45	14,65
Belém	1068,81	7,40	15,26	2,19	24,85
Benevides	188,63	0,01	2,85	1,42	4,27
Marituba	103,51	0,18	2,10	0,31	2,59
Santa Bárbara do Pará	279,02	0,01	0,68	0,46	1,15
TOTAL	1824,75	8,69	34,01	4,83	47,52

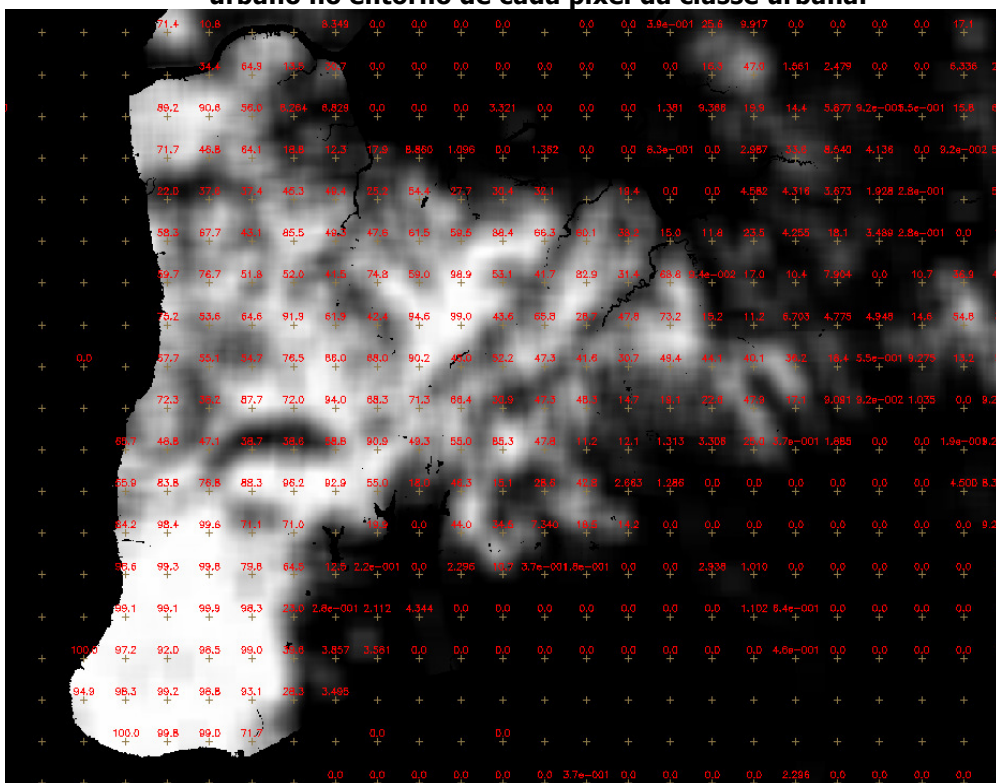
<i>município</i>	<i>area (2007)</i>	<i>preenchimento (T0 - T1)</i>	<i>extensão (T0-T1)</i>	<i>descontínuo (T0 - T1)</i>	<i>Total de novas ocupações (T0-T1)</i>
Ananindeua	184,78	7,43%	89,50%	3,07%	100,00%
Belém	1068,81	29,77%	61,42%	8,81%	100,00%
Benevides	188,63	0,17%	66,67%	33,16%	100,00%
Marituba	103,51	6,96%	80,97%	12,07%	100,00%
Santa Bárbara do Pará	279,02	1,06%	59,21%	39,73%	100,00%
	1824,75	18,28%	71,56%	10,16%	100,00%
<i>município</i>	<i>area (2007)</i>	<i>preenchimento (T1 - T2)</i>	<i>extensão (T1 - T2)</i>	<i>descontínuo (T1 - T2)</i>	<i>Total de novas ocupações (T1 - T2)</i>
Ananindeua	184,78	2,93	9,38	0,56	12,87
Belém	1068,81	7,39	17,02	1,12	25,53
Benevides	188,63	0,06	3,19	1,18	4,43
Marituba	103,51	0,32	5,22	1,68	7,21
Santa Bárbara do Pará	279,02	0,03	1,36	0,57	1,96
	1824,75	10,72	36,18	5,11	52,01
<i>município</i>	<i>area (2007)</i>	<i>preenchimento (T1 - T2)</i>	<i>extensão (T1 - T2)</i>	<i>descontínuo (T1 - T2)</i>	<i>Total de novas ocupações (T1 - T2)</i>
Ananindeua	184,78	22,74%	72,90%	4,35%	100,00%
Belém	1068,81	28,95%	66,68%	4,37%	100,00%
Benevides	188,63	1,34%	72,07%	26,59%	100,00%
Marituba	103,51	4,38%	72,31%	23,31%	100,00%
Santa Bárbara do Pará	279,02	1,41%	69,45%	29,14%	100,00%
	1824,75	20,62%	69,56%	9,82%	100,00%

Fonte: Elaboração própria

A partir das imagens classificadas, o algoritmo compara as imagens em sequência temporal e identifica as áreas onde houve novas ocupações classificando-as em relação aos três tipos de novos desenvolvimentos já descritos: preenchimento, extensão ou descontínuo (figura 4). A partir desta nova classificação, é possível a extração das estatísticas em termos de extensão territorial de cada uma das classes de novas ocupações (quadro 1).

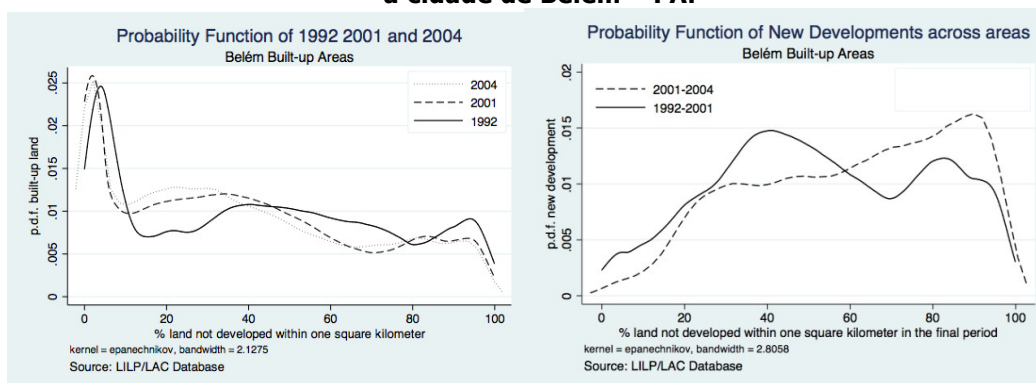
Dentro da metodologia proposta há o reconhecimento de que a semântica atribuída a cada tipo de pixel na metodologia em Angel *et al.* (2010) pode levar interpretações equivocadas a depender do contexto urbano em análise. A motivação original da aplicação da metodologia em análises comparadas entre aglomerações urbanas ao redor do mundo acaba por limitar a capacidade de entendimento dos processos locais relacionados à configuração espacial das estruturas urbanas. Entende-se que a significação de cada uma destas classes deve variar de acordo com o processo de formação subjacente a cada aglomeração em análise e isso exige que a medida em si não venha previamente associada a categorias semânticas predefinidas. Uma alternativa a esta tipologia (que nada mais é do que a discretização de uma variável contínua) é a utilização direta da medida contínua na análise gerando assim uma grade numérica contínua onde o valor de cada pixel representa a percentagem de pixel da classe construído na vizinhança no raio de 500m no entorno imediato. Esta medida é utilizada em Burchfield *et al* (2006) onde é aplicada como uma medida local e global do nível de espraiamento urbano de cada aglomeração (figura 5). A partir desta medida é possível estabelecer uma graduação mais direta do contexto em que o pixel está inserido sem que se definam classes semânticas a priori. Esta medida contínua pode ser observada como um indicador geral da cidade e apresentada em forma de curvas de função de probabilidade como nas apresentadas na figura 6 para a cidade de Belém.

Figura 5. Grade numérica calculada em relação ao percentual de pixels classe urbana no entorno de cada pixel da classe urbana.



Fonte: elaboração própria.

Figura 6. Curvas de função de probabilidade calculadas para o percentual de pixels do tipo *construído* no entorno de cada pixel do mesmo tipo calculadas para a cidade de Belém – PA.



Fonte: elaboração própria

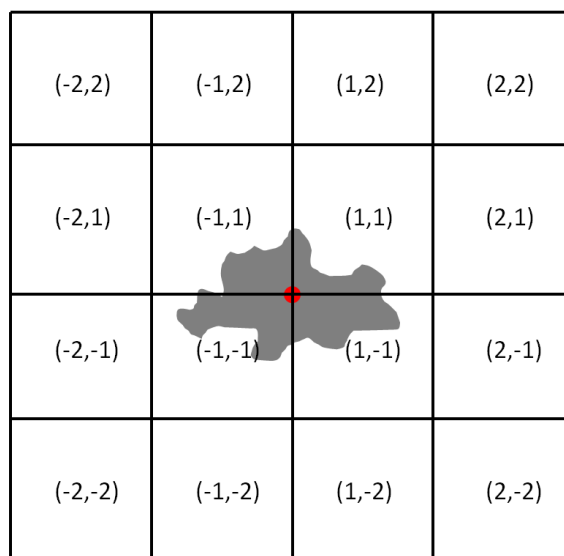
Para a realização do cálculo desta medida, foi desenvolvido um algoritmo em linguagem LEGAL. O algoritmo permite que seja computado o percentual de pixels no entorno determinado a cada pixel e permite também que se excluam do cálculo os pixels classificados como “água”, garantindo assim que cidades litorâneas ou próximas a grandes corpos d’água não apresentem percentuais de pixels não urbano quando próximos a estes pixels.

As métricas até aqui utilizadas buscam caracterizar a forma da aglomeração urbana, porém nada informam sobre o contexto espacial em que a aglomeração está inserida. Propõe-se na continuação deste trabalho a incorporação da informação de usos do entorno utilizando para isso a metodologia de classificação de paisagem baseados em sistemas de mineração de padrões espaciais (Saito et al, 2011; Silva et al. 2008). As classes de uso e cobertura do solo identificadas anteriormente como espaço aberto deverão ser detalhadas. Surgirá deste detalhamento um mosaico de classes que serão analisados a partir de suas propriedades de extensão, forma, variabilidade e proximidade à área urbana. Assim, será possível diferenciar sobre quais usos as áreas de novos desenvolvimentos urbanos se deram. Ademais, será possível comparar a evolução da área urbanizada entre os diferentes usos e obter indicações sobre a propensão e a sensibilidade destes usos nos processos de expansão urbana. Esta nova perspectiva de construção de métricas de paisagem urbana busca incorporar a informação do contexto do urbano estendido, para além apenas da caracterização da configuração morfológica da área urbanizada.

A diversidade de padrões espaciais no entorno das aglomerações urbanas será capturada através de métricas de paisagens clássicas utilizadas dentro do campo da ecologia da paisagem (Saito et al, 2011). Estas métricas são capazes de nos informar sobre o nível de homogeneidade ou heterogeneidade de usos no entorno das áreas urbanas e também o nível de complexidade deste mosaico buscando indicações sobre os agentes que atuam nesta configuração. Estes agentes são importantes para entender a relação das centralidades urbanas com seu urbano estendido. Nesta perspectiva abre-se a possibilidade de diferenciação das

aglomerações urbanas em função não apenas de suas características morfológicas da aglomeração urbana, mas também do contexto de usos em que estão inseridas. Para que se possam calcular as métricas de paisagem é preciso estabelecer unidades de observação básicas as quais serão caracterizadas por seu nível de heterogeneidade e complexidade dos padrões espaciais de uso. A proposta se baseará na construção de uma grade regular que será definida com o ponto de origem na localização do centro principal da aglomeração (Figura 7). Reconhece-se aqui a interferência da escala de observação, materializada a partir da dimensão de cada célula na grade. O trabalho de Saito et al (2011) explora em detalhe estas potenciais interferências. A definição da escala de análise se fará de forma interativa, testando-se diferentes escalas e avaliando-se o que as interferências de cada uma nas medidas de paisagem urbana.

Figura 6. Exemplo de grade regular a ser definida com origem no centro da aglomeração urbana para cálculo das métricas de paisagem de usos não urbanos.






A possibilidade de se trabalhar com as cidades amazônicas permite estabelecer um espaço laboratório de cidades em contextos de evolução muito dinâmicos, uma vez que estão localizadas nas fronteiras de expansão agrícola do país. As rápidas transformações que este território vem sofrendo ainda são ainda pouco

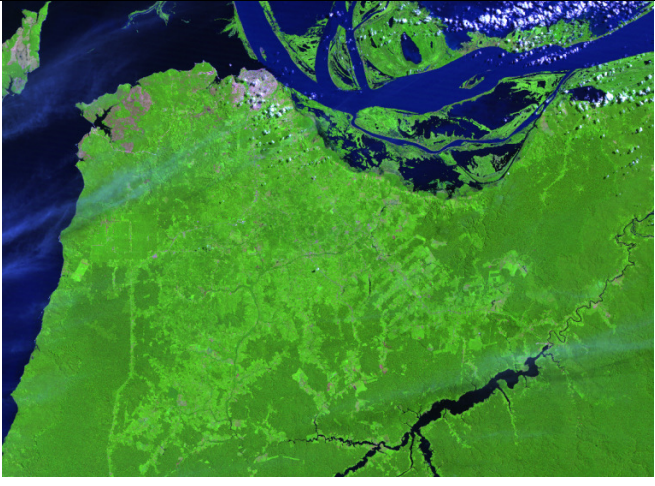
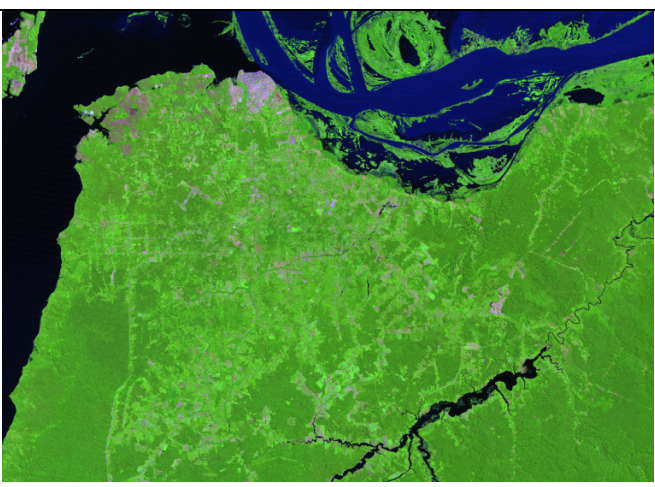
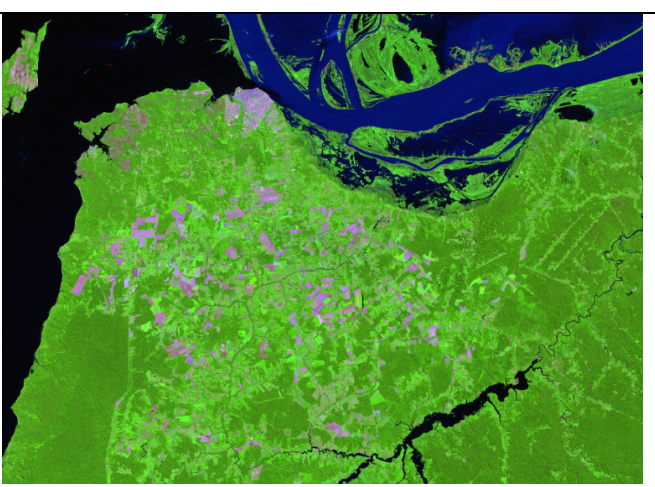
reconhecidas fora do tradicional debate sobre a proteção da floresta tropical e desmatamento. Importantes extensões territoriais já convertidas em terras agrícolas e pastos impõem dinâmicas específicas aos núcleos urbanos novos e tradicionais. A compreensão destes processos requerem calibrações específicas nas métricas de paisagem urbana, mais além daquelas tradicionais que vem sendo aplicadas na caracterização de grandes estruturas metropolitanas.

Nesta pesquisa, serão utilizadas como espaço laboratório para o desenvolvimento de novas métricas de paisagem urbana a Região Metropolitana de Belém, por representar um caso específico de grande cidade no contexto amazônico. As cidades de Santarém e Marabá como exemplos de importantes polos regionais que vem sofrendo transformações em função da expansão da fronteira agrícola da soja, da criação de gado e da mineração. Serão utilizadas sequencia de imagens obtidas a partir de três momentos distintos com um intervalo de aproximadamente dez anos entre cada uma. As imagens selecionadas foram obtidas junto ao acervo de imagens LANDSAT 5 da divisão de geração de imagens (DGI) do instituto nacional de pesquisas espaciais (INPE). Os quadros 1, 2 e 3 apresentam as visualizações em baixa resolução das imagens obtidas para o trabalho.




Quadro 1: Imagens Landsat 5 TM da cidade de Marabá

	<p>LANDSAT_5_TM_28/05/1991 Orbita: 223 Ponto: 64 Composição Falsa Cor Bandas: 543/RGB</p>
	<p>LANDSAT_5_TM_05/06/2000 Orbita: 223 Ponto: 64 Composição Falsa Cor Bandas: 543/RGB</p>
	<p>LANDSAT_5_TM_17/08/2009 Orbita: 223 Ponto: 64 Composição Falsa Cor Bandas: 543/RGB</p>

Quadro 2: Imagens Landsat 5 TM da cidade de Santarém

	<p>LANDSAT_5_TM_09/08/1990</p> <p>Orbita: 227 Ponto: 62</p> <p>Composição Falsa Cor</p> <p>Bandas: 543/RGB</p>
	<p>LANDSAT_5_TM_02/08/1999</p> <p>Orbita: 227 Ponto: 62</p> <p>Composição Falsa Cor</p> <p>Bandas: 543/RGB</p>
	<p>LANDSAT_5_TM_29/06/2010</p> <p>Orbita: 227 Ponto: 62</p> <p>Composição Falsa Cor</p> <p>Bandas: 543/RGB</p>

Quadro 3: Imagens Landsat 5 TM da cidade de Belém

	<p>LANDSAT_5_TM_10/08/1989 Orbita: 223 Ponto: 61 Composição Falsa Cor Bandas: 543/RGB</p>
	<p>LANDSAT_5_TM_21/07/1999 Orbita: 223 Ponto: 61 Composição Falsa Cor Bandas: 543/RGB</p>
	<p>LANDSAT_5_TM_13/07/2008 Orbita: 223 Ponto: 61 Composição Falsa Cor Bandas: 543/RGB</p>

Referências bibliográficas

- Angel, S. J. Parent, D.L. Civco, and A.M. Blei *Making Room for a Planet of Cities*. Lincoln Institute of Land Policy Policy Focus Report. 2011
- Burchfield, M., H.G. Overman, D. Puga and M.A. Turner. *Causes Of Sprawl: A Portrait From Space*. The Quarterly Journal of Economics, May: 2006. 587-633.
- Dal'Asta, A.P., Brigatti, N., Amaral, S., Escada, M.I.S., Monteiro, A.M.V., *Identifying Spatial Units of Human Occupation in the Brazilian Amazon Using Landsat and CBERS Multi-Resolution Imagery*. Remote Sensing. 2012, 4, 68-87
- Clark, C. *Urban Population Densities*. Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General), Vol. 114, No. 4. 1951, pp.490-496
- Cotelo, F., Rodrigues, J.M. *Favela e periferia como espaços de pobreza: estudo sobre a configuração urbana de metrópoles brasileiras*. Anais do XXXIX Encontro Nacional de Economia – ANPEC 2011 – Foz do Iguaçu. 2011.
- Saito, E. A., Fonseca, L.M.G., Escada, M.I.S., Korting, T.S., *Efeitos da mudança de escala em padrões de desmatamento na Amazônia*. Revista Brasileira de Cartografia No 63/03, 2011. (ISSN 1808-0936)
- Silva, M. S. P., 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, 29:16. 2008. pp 4803 — 4822