

PERSPECTIVA DINÂMICA NA ANÁLISE DA ESTRUTURA ESPACIAL URBANA EM CIDADES DE RÁPIDO CRESCIMENTO NO PARÁ

Frederico Roman Ramos

Centro de Política e Economia do Setor Público – CEPESP – Fundação Getúlio
Vargas de São Paulo – FGV/SP

Resumo:

Este ensaio tem como objetivo compreender de que forma as estruturas espaciais das cidades de Marabá e Santarém vêm se desenvolvendo sob o enfoque de suas características de expansão urbana. Propomos a adoção de um referencial teórico baseado em uma perspectiva dinâmica onde a renda da terra é influenciada pela expectativa de retorno como um prêmio pelo crescimento gerando pressões para conversão de terras em áreas urbanas nas franjas das cidades. Através de uma metodologia inovadora baseada em processamento de imagens multitemporais de satélite, desenvolvemos métricas de expansão urbana como estratégia de análise empírica sobre esses processos no contexto amazônico.

Área Temática: Economia

Palavras-chave: economia urbana; dispersão urbana; sensoriamento remoto

Crescimento urbano e valorização fundiária: uma perspectiva dinâmica

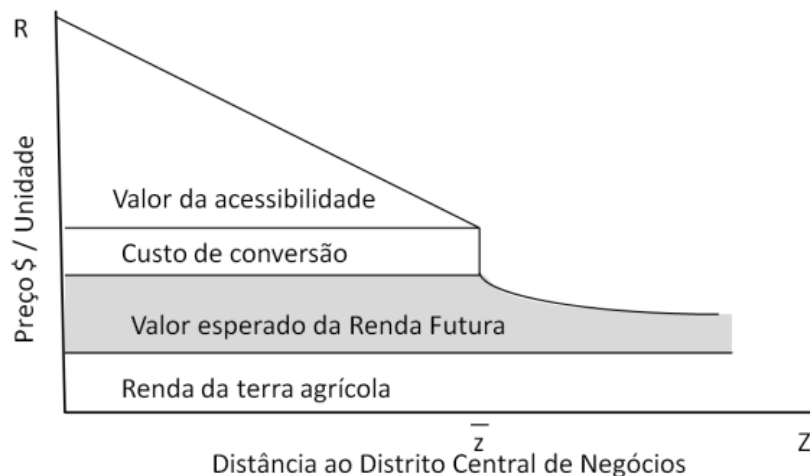
No caso específico deste ensaio, interessa-nos compreender de que forma a estrutura espacial de cidades em rápido processo de crescimento na Amazônia vem se desenvolvendo sob o enfoque de suas características de expansão urbana. Neste sentido, propomos a adoção de um referencial teórico baseado em uma perspectiva dinâmica na análise das estruturas urbanas. Diferentemente do modelo monocêntrico estático que fundamenta a abordagem canônica da economia urbana (ALONSO, 1964; MILLS, 1967; MUTH, 1969), considerar a perspectiva dinâmica abre possibilidades para a compreensão de características como padrões não decrescentes de densidades em função da distância ao centro e rendas da terra maiores em localizações periféricas. Aspectos comuns em diversas estruturas urbanas, mas que, a princípio, são anomalias se consideradas apenas a partir do referencial estático. Ao introduzir a perspectiva dinâmica na análise da estrutura urbana, abre-se a possibilidade de incorporação, ainda que parcial, do processo que levou a consolidação das aglomerações seja na sua configuração espacial resultante, seja nas expectativas futuras sobre seus novos desenvolvimentos (ANAS, 1978). Nesta perspectiva, como apenas uma parte da cidade opera na arena de competição de mercado, sendo que outras partes são ocupadas por estruturas duráveis desenvolvidas em circunstâncias econômicas específicas, o valor da terra e o produto marginal da terra em novas construções não será necessariamente igual. Os modelos dinâmicos na análise do desenvolvimento de estruturas urbanas são aplicados em estudos dos processos de abandono de áreas residenciais, nos processos de deterioração e conversão de usos em áreas urbanas, na configuração de localizações com usos mistos e, principalmente, em processos de expansão urbana em padrões espaciais descontínuos ou dispersos. Em perspectiva dinâmica, este tipo de desenvolvimento pode ser eficiente ao contrário do que estabelecido em modelos estáticos. Entretanto, em geral, este padrão espacial de desenvolvimento é associado à falha de mercado derivada de comportamentos especulativos (CAPOZZA e HELSLEY, 1989)

Em 1965, Harvey e Clark em seu estudo denominado “*The nature and economics of Urban Sprawl*” se dedicaram a identificar as causas e catalisadores dos processos de expansão de áreas urbanas. Há certo consenso entre os estudos de que a especulação, assim como as melhorias nas condições de acessibilidade, sempre está presentes nos processos de expansão urbana (CLAWSON, 1962). A especulação dos valores da terra seria neste sentido a principal das ineficiências econômicas destes processos sendo caracterizada pela retenção de terra por proprietários buscando a maximização de lucros por decisões individuais (BAHL, 1968). Segundo Archer (1973), a especulação de terras e o conseqüente desenvolvimento descontínuo e extensivo da cidade em suas franjas são falhas de mercado provocadas, sobretudo pelas políticas de preços das empresas públicas e privadas na especificação dos custos de serviços de infraestrutura urbana, pela aparente incapacidade dos compradores de estimar os custos diferenciais de deslocamento entre as diferentes localizações e as próprias incertezas inerentes ao mercado de terras. Outros trabalhos, como Brueckner e Rabenau (1981) e Arnott (1980), trazem contribuições para o entendimento de situações que derivam fundamentalmente dos efeitos de uma mudança exógena no contingente populacional da cidade quando esta é antecipada pelos investidores. Dentre os potenciais efeitos derivados, encontram-se as estruturas de densidade populacional com gradientes irregulares e as expansões urbanas descontínuas, ambos os padrões frequentemente observados em cidades reais e que violam as expectativas estabelecidas pelos modelos estáticos. No conjunto de estudos sobre os efeitos do crescimento populacional na estrutura espacial urbana, destaca-se o trabalho de Capozza e Helsley (1989) que demonstra

haver implicações profundas na relação existente entre crescimento urbano e valor da terra em modelos dinâmicos. A linha de argumentação é construída a partir da constatação de que, se considerada apenas numa perspectiva estática, o valor da terra deve ser proporcional à renda da terra, a qual na fronteira urbana é definida pela renda da terra agrícola. Entretanto, se analisada sob um enfoque dinâmico, pode-se incluir quatro elementos aditivos na composição do valor da terra. São eles: o valor da renda da terra agrícola, o custo de conversão em terra urbanizada, o valor da acessibilidade, e o valor da expectativa de incremento de renda futura. Este último componente é definido como uma função determinada exponencialmente pela taxa de crescimento populacional e, inversamente, pela taxa de desconto vigente.

Este modelo simples traz luz sobre uma situação recorrente em cidades em diferentes países e regiões: a diferença entre o valor da terra agrícola próxima a fronteira urbana e a terra recém-convertida em urbana. A figura 1 apresenta uma secção esquemática do comportamento dos preços internos e externos a área urbana. A uma distância suficientemente grande da cidade, a terra é vendida pelo seu valor exclusivamente agrícola. Terras com usos ainda agrícolas, porém próximas à fronteira urbana, são vendidas pelo valor do prêmio igual ao valor esperado após sua conversão ao uso urbano. Na fronteira, os preços saltam ao incluir os custos de conversão ao uso urbano. Internamente a área urbanizada, os preços sobem na medida em que a distância ao centro principal da aglomeração decai. Este modelo oferece a possibilidade de estimar o impacto que o crescimento populacional exerce sobre valor da terra para uso urbano. Para situações onde há um rápido crescimento populacional, o componente associado à expectativa de incremento de renda futura, ou o prêmio pelo crescimento, pode chegar facilmente a metade do valor da terra médio criando uma grande diferença entre o valor da terra na franja da aglomeração urbana e a terra agrícola (CAPOZZA; HELSLEY, 1985, p.305). Em uma simulação grosseira aplicada sobre o modelo, os autores chegaram a encontrar percentuais superiores a 55% de valorização devida ao prêmio pelo crescimento em situações onde as taxas de crescimento populacionais alcançavam médias superiores a 4% ao ano.

Figura 1 - Preços da terra interna e externa a área urbana em perspectiva dinâmica



Fonte: Adaptado de Capozza e Helsley (1989, p.300)

Alguns estudos trataram de evidenciar situações de variações acentuadas entre os valores da terra urbana nas franjas da cidade e a terra rural adjacente. Estes estudos buscavam

estabelecer referenciais empíricos ao processo de valorização das terras recém-convertidas como forma de ilustrar a magnitude deste efeito. O trabalho de Dunford, Marti e Mittelhammer (1985) analisou dados empíricos sobre o mercado de terras em áreas próximas a cidade de Vancouver, no condado de Clark localizada as margens do rio Columbia, no estado de Washington-EUA. Em outro estudo realizado nos anos 70 para terras com crescimento populacional médio anual próximo a 4% no condado de Will, Illinois - EUA, foram encontradas evidências semelhantes de valorização de cerca de 30% em função da proximidade franja urbana (CHICOINE, 1981). No Brasil, até onde vai nosso conhecimento, não são muitos os trabalhos que se dedicaram a aplicar análises empíricas sobre os efeitos de conversão de uso de terras agrícolas em urbanas. Dentre os trabalhos consultados, encontram-se os artigos incluídos no livro "Mercado de terras no Brasil: estrutura e dinâmica" (BRASIL, 2006) que dedica o quarto capítulo para o tema da transformação de terras rurais em urbanas como estratégia de especulação privilegiada. No artigo "O mercado de terras e a produção de loteamentos urbanos" (REYDON; GONÇALVES, 2006) são analisados alguns empreendimentos de conversão de terra rural em urbana no município de Pedreira (Estado de São Paulo). A conclusão central do estudo é a de que os mercados de terras rurais e urbanos são interligados e que o controle da especulação passa por processos de regulação conjunta tanto do mercado de terras rurais e como o de terras urbanas. Outro artigo incluído na mesma publicação (REYDON ET AL, 2006) analisa o caso da conversão de terra rural em urbana no município de Santa Barbara D'Oeste, também no estado de São Paulo. O estudo de caso demonstra como a retenção de terras próximas a fronteira urbana se coloca como uma estratégia de ganho empresarial com resultados muito superiores a outras aplicações e reafirma "o papel essencial da especulação com terras na estratégia e na rentabilidade dos capitais empresariais". Recentemente, Santoro (2013) dedicou sua tese de doutorado à análise dos processos de expansão urbana no contexto latino-americano e situa no centro da discussão os instrumentos regulatórios e normativos previstos no Estatuto das Cidades (Lei Federal nº 10.257/01) como a Outorga Onerosa por Alteração de Uso como forma de aplicar a gestão social da valorização da terra na mudança de uso de rural para urbano.

Na próxima seção propomos e aplicamos uma metodologia baseada na utilização de imagens de satélite para representação e análise dos processos de expansão urbana de duas cidades: Marabá e Santarém. Iniciamos com uma breve contextualização histórica e geográfica das regiões em análise, depois descrevemos a metodologia utilizada na representação quantitativa dos padrões de expansão urbana. Na última seção discutimos os resultados alcançados a partir de uma perspectiva comparativa entre as duas cidades paraenses.

Estudo de caso: cidades médias em rápida expansão na Amazônia

A Amazônia brasileira é hoje um território heterogêneo, muito dinâmico e com grande diversidade social e econômica. Estas características têm suas origens em um padrão de ocupação que teve seu auge entre as décadas de 1960 e 1980, baseado em desenvolvimento de economia de fronteira onde "o crescimento econômico é visto como linear e infinito, e baseado na contínua incorporação de terra e de recursos naturais, que são também percebidos como infinitos." (BECKER, 2005 p.72). Neste processo de formação e ocupação de fronteira, o território sofre profundas transformações nos padrões de assentamentos humanos e nos sistemas de produção econômica. Hoje a Amazônia não pode mais ser caracterizada apenas como a fronteira móvel da frente de expansão econômica. É um território mais complexo e urbanizado onde atuam interesses globais que atribuem um novo significado geopolítico como a grande fronteira do capital natural. Ademais, no âmbito regional, essa fronteira se

diversificou em frentes especializadas de economia avançada e cuja característica comum é a consolidação do povoamento, sobretudo nas áreas do Sudeste Paraense e no Mato Grosso. Ela deixou de ser "fronteira de expansão de forças exógenas para se tornar uma região inserida no sistema espacial nacional, com estrutura produtiva própria e múltiplos atores" (BECKER, 2005, p.82). É nesse processo de consolidação de povoamento que, na primeira década deste século, os estados amazônicos, com exceção de Rondônia, foram os que apresentaram as maiores taxas de crescimento populacional dentre todos os outros estados da federação.

Ainda que caracterizada como uma "floresta urbanizada" (BECKER, 2005), quando observada em termos da configuração de sua rede hierárquica urbana, verifica-se uma rede de baixa densidade de ocupação, acompanhada por bolsões de concentração urbano-industrial com subespaços diversificados (áreas dinâmicas *versus* estagnadas, áreas integradas *versus* isoladas) (SIMÕES ET AL., 2012). Segundo IBGE (IBGE, 2007), no estado do Pará, a rede urbana organiza seu território em torno da influência de uma metrópole de nível C (Belém) e duas capitais regionais de nível C (Marabá e Santarém). Este contexto diz respeito apenas à configuração momentânea da hierarquia. Entretanto, segundo modelos desenvolvidos a partir de projeções sobre indicadores econômicos e demográficos tendo como cenário prospectivo o ano de 2020 (SIMÕES ET AL., 2012), a rede apresenta um quadro em evolução onde Belém se mantém como a principal área de influência do estado, seguida pelos municípios de Marabá, Santarém, Ananindeua e Barcarena. Estes municípios polarizam a dinâmica urbana estadual, intensificando seus papéis no decorrer do período analisado. Neste contexto regional de consolidação de povoamento e de intensificação de importância das capitais regionais na hierarquia urbana do Pará, destacam-se as cidades de Marabá e Santarém como foco de interesse da investigação dos processos de crescimento urbano. Ambas as cidades tem importância regional, organizando uma ampla rede de localidades em seu entorno. Apesar de ambas estarem dentro do que se denomina "cidades médias", importantes diferenças marcam suas trajetórias. Historicamente, os núcleos urbanos foram as pontas de lança para a ocupação do território amazônico, apoiando as incursões fluviais como entrepostos para a circulação nos grandes rios. Devido à falta de condições em relação à acessibilidade e escassez de recursos econômicos e políticos, as cidades cresceram através de surtos que eventualmente cessam e acabam imprimindo ciclos de dinamismo e estagnação que deixam marcas em suas estruturas espaciais. Neste sentido, é importante reconhecer a cidade não apenas como uma centralidade em uma rede hierárquica, mas como processos materializados no espaço em função das condições naturais e diferenciações sociais (BECKER, 2013 p.21).

Santarém, a antiga aldeia do Tapajós, já por volta de 1830 conquistara a posição de maior centro urbano da região em que está inserida funcionando como um relevante ponto de articulação entre o Amazonas e o Pará. Exercia desde então o comando simbólico militar e religioso de uma vasta região (PEREIRA, 2004 p.80). Assim como na história de quase todas as aglomerações amazônicas, também é fruto de diversos surtos econômicos, como os do cacau, borracha, juta, madeira, ouro e gado atuando como grande centro exportador e garantindo o escoamento dos produtos extrativos em áreas interiores. Hoje, é a terceira cidade mais populosa do Pará, um importante porto e centro de referência para um conjunto de resíduos urbanos subordinados. A cidade cresceu com o plano de asfaltamento da estrada BR-163 Cuiabá-Santarém em função da chegada da frente agropecuária e busca gerar novos elementos de dinamismo econômico como a mineração de bauxita e instalação de centros de ensino superior, aproveitando a sua posição favorável de articulação das porções orientais e ocidentais da Amazônia (BECKER, 2013 p.53-54).

Assim como Santarém, Marabá também tem sua história pontuada por surtos econômicos ainda que seu desenvolvimento tenha se dado mais tardiamente. Seus primórdios estão associados à expansão de uma frente pastoril que avançava pelas terras do norte de Goiás e Maranhão. Aos finais do século XIX, esta frente elege a foz do rio Itacaiúnas como sítio para instalação de um *Burgo Agrícola* que rapidamente desapareceria e com ele entrariam em longa hibernação os sonhos agropecuários dos colonizadores para só ressurgirem muito depois, com nova feição (VELHO, 1972, p.34). Seguiram-se até meados do século XX ciclos extrativistas de caucho e castanha que acabaram por estabelecer uma oligarquia firmada pela progressiva apropriação de terras facilitada por sua posição na hierarquia administrativa. Esta oligarquia exerce poder absoluto sobre o município até que ao final dos anos 60, quando a extraordinária expansão do capital experimentada pelo país e a centralização governamental interfere radicalmente nas estruturas políticas e econômicas lá estabelecidas (EMMI, 1999). A partir daí, Marabá entra em um ciclo de profunda transformação onde o Estado Nacional passa atuar diretamente dentro de um contexto de política intervencionista declarando o território como área de defesa nacional em função do desenvolvimento do Projeto Grande Carajás. Neste novo contexto, acirram-se os conflitos por terra opondo-se grupos de trabalhadores recém-chegados e grupos de moradores antigos. No plano urbanístico, uma série de projetos de expansão e ordenação da cidade são desenvolvidos dentro de uma perspectiva de planejamento centralizado. Muitos deles acabam sendo parcialmente aplicados ao lado de processos de expansão urbana por ocupação informal não controlada.

Nas últimas quatro décadas, tanto Marabá como Santarém apresentaram altas taxas de crescimento demográfico. É exatamente na década de 70 que estas cidades experimentam seus maiores incrementos populacionais coincidindo com o período da política expansionista induzida pelo Estado Nacional. Marabá persistiu no período com altas taxas de crescimento, nas últimas duas décadas seguiu apresentando taxa média de crescimento anuais superiores a 3%. Santarém por outro lado, nunca chegou a apresentar uma pressão tão intensa como Marabá. Suas trajetórias se diferenciam em função do contexto histórico e geográfico em que se inserem como já brevemente apresentado. Ainda assim, nas décadas de 70 e 80, o crescimento de sua população urbana foi intenso chegando a patamares superiores a 4%. Nas últimas duas décadas, Santarém passou a ter taxas inferiores à média do estado do Pará, o que demonstra o arrefecimento da pressão migratória na cidade (Tabela 1). Segundo o censo demográfico de 2010, Santarém contava na ocasião com uma população total de 295 mil habitantes, sendo 215 mil vivendo em áreas urbanas. Marabá apresentava uma população de 234 mil habitantes, com 186 mil vivendo em áreas urbanas.

Tabela 1 - Taxa média geométrica de crescimento demográfico anual de Marabá e Santarém

<i>Período</i>		<i>1970/1980</i>	<i>1980/1991</i>	<i>1991/2000</i>	<i>2000/2010</i>
Marabá	População Total	9,36	6,82	3,46	3,35
	População Urbana	11,10	8,50	3,06	3,32
Santarém	População Total	3,57	2,98	-0,11	1,16
	População Urbana	6,16	4,45	0,38	1,48

Fonte: Censos demográficos, IBGE. Elaboração própria.

Atualmente, a compreensão do contexto de crescimento urbano destas cidades passa pela análise das condições macroeconômicas e das dinâmicas locais influenciadas pelos

atores econômicos que atuam na região. O relato extraído do relatório da missão de campo ocorrida na cidade de Marabá em 2012 (MONTE-MOR ET AL, 2012) conduzida pela equipe de pesquisadores do projeto UrbisAmzônia permite vislumbrar o cenário atual no qual se encontra a dinâmica do mercado de terras em Marabá. Segundo os pesquisadores:

Via de regra observa-se migração de ativos de setores como a pecuária e exploração madeireira para o mercado imobiliário. Além disso, são oferecidas condições facilitadas de pagamento, e padrões variáveis de oferta de infraestrutura, conforme o público alvo. A produção de habitação de interesse social pelo poder público através de programas federais ainda é insuficiente, e também acompanha as dinâmicas de conversão de terras rurais corrente em cada cidade, mantendo o padrão de oferta de lotes ou habitação mais baratas e distantes para os mais pobres. Há articulação entre atores (política, econômica, financeira) na produção de novos empreendimentos, com casos frequentes de ampliação de perímetro urbano e descumprimento de determinações dos planos diretores e eventualmente da legislação ambiental brasileira, para produção de novos loteamentos, cujos lotes são adquiridos para construção de novas moradias, mas também para especulação com terra urbana. Essa estratégia resulta no espraiamento das cidades agravado pela ausência quase total de transporte público. (MONTE-MOR ET AL, 2012, p.9)

Já no caso de Santarém, a dinâmica parece ser distinta. As pressões por expansão da área urbanizada existem, mas ao que parece não na mesma intensidade que observado em Marabá. De certa forma os próprios números relativos ao crescimento demográfico já apontam para esta situação. Apesar disso, o que parece ser uma característica diferenciadora entre as duas cidades é a relação mais funcional que a população urbana de Santarém mantém com seu entorno rural. Segundo a pesquisa desenvolvida por Cortês (2012):

Por apresentar um processo de urbanização antigo, Santarém tem uma dinâmica urbana semelhante ao cenário nacional, mais do que a do próprio estado ou região Norte. A taxa de crescimento da população urbana reduziu-se de tal maneira que já alcançou a mesma do Brasil. Mas do ponto de vista do espaço rural, Santarém apresenta um perfil que destoa tanto das tendências nacionais, como das demais áreas de estudo. Foi a única, dentre as três, que apresentou taxa de crescimento populacional positiva para o rural na década de 2000, se assemelhando muito mais com o quadro da região Norte. O mesmo ocorre quando analisamos a proporção da população que vive no espaço rural. O município tem alta diversidade nas atividades rurais, desde soja e gado à produção de alimentícia, onde a agricultura familiar ainda é fortemente presente no rural. (CORTÊS, 2012 p. 63-64)

As características apresentadas por estas duas cidades, a especificidade dos contextos geográficos e históricos em que se inserem, juntamente com os processos de expansão e crescimento diferenciados a que estão submetidas, as tornam espaços laboratórios privilegiados no contexto da urbanização brasileira para avaliar o comportamento das dinâmicas de conversão da terra para uso urbano. Partindo do referencial teórico apresentado, sob a luz dos contextos descritos anteriormente, buscaremos estabelecer uma leitura empírica da evolução destas cidades no que se refere as suas dinâmicas de expansão urbana e os processos de conversão de uso da terra em usos urbanos. Para isso, introduziremos métodos de leitura do território apoiados por técnicas de sensoriamento remoto e geocomputação.

Metodologia

Na análise das cidades de Santarém e Marabá, utilizamos duas metodologias complementares com o objetivo de caracterizar os processos de transição de usos para usos urbanos nas franjas da cidade. A primeira baseia-se no trabalho desenvolvido por Angel *et al.* (2011) que busca caracterizar as estruturas urbanas em relação à configuração da mancha urbana em diferentes momentos e também, nas formas como elas evoluem entre períodos. Esta abordagem reconhece que a configuração espacial da área urbanizada é resultado de processos dinâmicos de conversão de outros usos da terra para usos urbanos. Assim, cidades mais ou menos compactas, com ou sem processos de expansão descontínua seriam resultantes desta dinâmica de incorporação de terras derivadas, sob o enfoque do mercado, do ambiente macroeconômico e da pressão por crescimento populacional das quais se associam as expectativas de ganhos por parte dos investidores. A segunda metodologia utilizada baseia-se em estudos como os de Luck e Wu (2002), Zhang *et al.* (2004) e Herold *et al.* (2002). Nela, além de analisar a estrutura urbana a partir do cálculo de métricas de paisagem e suas distribuições espaciais, analisam-se os outros usos desenvolvidos em seu entorno. Entende-se que diferentes usos apresentam diferentes potenciais de conversão para uso urbano, este potencial deriva da relação entre expectativas de ganhos e valor de produção dos usos corrente. Estas abordagens se complementam e aportam uma nova estratégia analítica ao entendimento dos processos de expansão urbana a partir de dados secundários, uma vez que nem sempre é possível acessar dados confiáveis e abrangentes sobre as transações comerciais.

Partimos agora para a descrição da primeira parte da metodologia. Primeiramente isolam-se das imagens de sensoriamento remoto através de processamento digital de imagens as áreas efetivamente ocupadas por construções ou impermeabilizadas atribuindo-as a classificação *construído*. Neste caso utilizam-se classificações supervisionadas baseadas em pixel¹. Isolam-se também os corpos d'água e, aos outros usos, designa-se uma categoria genérica de usos *não urbano*. A partir das imagens classificadas são calculadas as métricas de evolução da área urbanizada entre períodos intertemporais. Definem-se pixels *construídos* em três tipos a partir de uma consulta espacial em sua vizinhança circular de 1km². Os tipos resultantes são: **urbano** - todos os pixels classificados como *construídos* que apresentem em sua vizinhança a maioria de pixels da mesma classe; **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 2). Em seguida, calculam-se as métricas de expansão urbana. Através delas, busca-se avaliar se a expansão se deu por um processo de **preenchimento** definido como todos os novos desenvolvimentos em 'área urbanizada' que ocorrerem entre dois períodos em áreas abertas anteriormente circundadas pela mancha urbana; **extensão** entendido como novos desenvolvimentos de espaço aberto externos contíguos à mancha urbana e **leapfrog**³ definido como todo o novo desenvolvimento que ocorre em áreas não contíguas a mancha urbana. Como resultado, são

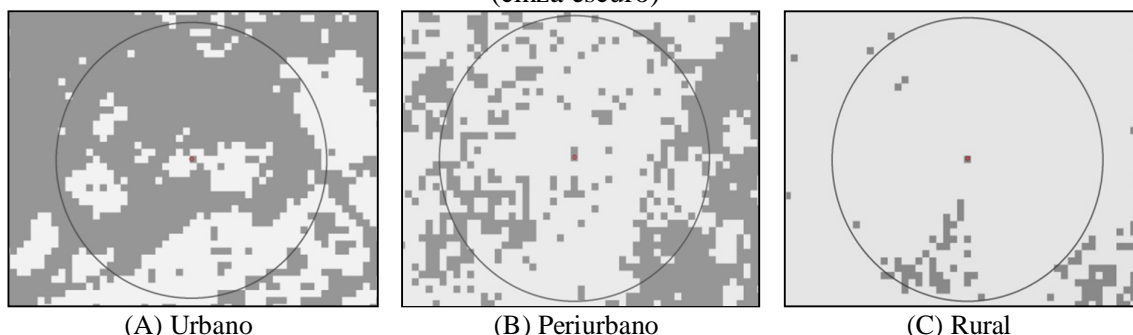
¹ Pixel é a unidade básica que constitui uma imagem digital, ou seja, é o menor elemento que se pode observar. Em imagens de sensoriamento remoto, o tamanho do pixel é associado ao nível de resolução espacial da imagem. Em imagens LANDSAT, esta extensão corresponde a uma área quadrada de 30mX30m.

² A metodologia de Angel *et al.* (2011) atribui 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.

³ Expansão descontínua da mancha urbana, na tradução literal "salto de rã", que ocorreram a uma distância

gerados mapas temáticos e um conjunto de estatísticas relativas à extensão de cada uma das classes calculadas em número de pixels ou em unidade de área. Os resultados permitem avaliar a evolução da área urbanizada, seu nível de espraiamento e a velocidade e a forma com que a conversão de terras para usos urbanos vem ocorrendo indicando se esta evolução vem se dando na forma de expansões contíguas ou pulverizadas, ou seja, processos de dinâmica do mercado de terras nas franjas das aglomerações urbanas.

Figura 2. Ilustração sobre os contextos de classificação de pixels do tipo *construído* (cinza escuro)



Fonte: Measuring Spatial Patterns and Trends in Urban Development (PARENT, CIVCO, ANGEL, 2009)

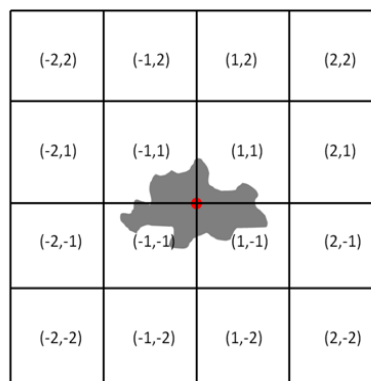
Retomando o modelo teórico de Capozza e Helsley (1989), estas dinâmicas devem estar influenciadas pelos quatro elementos aditivos da composição dos valores da terra urbana. Neste sentido, podemos associar às tendências a dispersão urbana a condições (des)favoráveis em relação a cada componentes, e no caso de cidades dinâmicas, sobretudo ao peso do prêmio pelo crescimento. Analisando-se isoladamente cada componente, podemos intuir que a tendência de espraiamento urbano é: 1) tanto menor quanto maior o valor da renda da terra agrícola; 2) tanto menor quanto maior o custo de conversão em terra urbanizada; 3) tanto menor quanto maior for o custo do transporte, entendendo que este aumenta proporcionalmente com a distância da área central da cidade e por fim; 4) tanto maior quanto maior for o valor da expectativa de incremento de renda futura, este como função das pressões demográficas.

A análise baseada em classificação por pixels nos dá indicações sobre as tendências de dispersão das áreas urbanas, porém, da forma como estão definidas, elas não nos trazem informações sobre o contexto de uso da terra sobre o qual elas se dão. Na medida em que se espera haver influência do valor da renda da terra agrícola sobre estas tendências, é desejável que possamos identificar estes usos. Além disso, se pudéssemos ter indicações sobre a distribuição espacial destes potenciais de conversão em relação à distância ao centro principal da aglomeração, poderíamos ainda avaliar o fator acessibilidade no diagnóstico aumentando o número de atributos representados para compor a análise baseada nos quatro componentes aditivos do valor da terra urbana. Neste sentido, propomos uma extensão à metodologia baseada em pixels por meio da incorporação explícita de usos não urbanos na elaboração de gradientes calculados sobre métricas de paisagem. A utilização de gradientes urbano-rural foi inicialmente proposta na perspectiva de estudos ecológicos dos efeitos da urbanização no ambiente e sua variação espacial (MCDONNELL; PICKETT, 1990). No nosso caso, nos apropriamos desta ferramenta em outra perspectiva. Também de certo modo buscamos compreender a influência que a proximidade a uma centralidade exerce sobre os usos em seu entorno, mas delimitamos esta leitura a partir das interferências que esta proximidade tem no processo de valorização da terra em perspectiva dinâmica. Em outras palavras, definimos a

partir desta proximidade e do uso que se faz da terra em determinado momento T_0 um potencial de conversão para uso urbano em um momento T_1 a luz das condições de crescimento demográfico a que a cidade está inserida.

A aplicação desta segunda etapa metodológica requer como dado de entrada imagens classificadas em diferentes usos não urbanos e coberturas, tais como atividades agrícolas e coberturas vegetais. Com isso, podemos associar uma ideia de valor de renda da terra agrícola em função de seu uso e avaliar as expansões urbanas e suas coincidências com determinado padrão. A diversidade de padrões espaciais no entorno das aglomerações urbanas será capturada através de métricas de paisagens utilizadas dentro do campo da ecologia da paisagem (SAITO ET AL, 2011). As métricas de paisagem informam 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 a compreensão da relação das centralidades urbanas com seu urbano estendido. 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. Há que se reconhecer a perspectiva descritiva que muitas vezes caracteriza os estudos em ecologia da paisagem a partir das métricas de fragmentação, forma, conectividade. A utilização destas métricas nos estudos de economia urbana, apesar de promissora, não garante que se alcance a visão sistêmica preconizada dentro da perspectiva da Ecologia da Paisagem. Aqui, interessa-nos compreender a intensidade do uso, através das medidas de área de cada uso no entorno urbano em termos totais, e também em termos de tamanho médio de cada fragmento. Além disso, o nível de complexidade da paisagem em termos da mistura de diferentes usos, e do arranjo espacial no sobre o qual eles se organizam. Para alcançar este objetivo, a proposta se baseia na construção de uma grade regular definida com o ponto de origem na localização do centro principal da aglomeração (Figura 3). A partir deste suporte celular é possível calcular os atributos da paisagem para cada célula em função do mosaico de uso nela contido. Além disso, é possível também aferir como esses atributos se distribuem no espaço cartesiano tendo o centro principal da aglomeração como origem.

Figura 3. Grade regular em espaço cartesiano com origem no centro da aglomeração urbana



Fonte: Elaboração própria

Propõe-se a caracterização 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). Dentro do amplo conjunto de métricas existentes nestes sistemas, utilizaremos quatro métricas para a descrição dos contextos de usos no espaço

celular. Para cada uso identificado e cada célula, são calculadas as seguintes métricas de paisagem:

- a) **Área da classe (CA - class area)** - Corresponde ao total da área em hectares da classe de uso em cada célula. Trata-se de medida de interpretação direta que traduz a intensidade do uso na unidade de análise indicando. Sua unidade dimensional é medida em hectares.
- b) **Tamanho médio de fragmento - (MPS - Mean Patch Size)** - Calculado a partir da média aritmética simples do tamanho em área de cada fragmento da classe de uso presente na célula. Informa sobre a intensidade de uso e também nível de fragmentação do uso na célula. Sua unidade dimensional também é medida em hectares.
- c) **Densidade de bordas (ED - Edge Density)** - Medida de complexidade morfológica dos fragmentos do uso em cada célula. Informa sobre o nível de fragmentação da célula para determinado uso. Permite avaliar como o uso está organizado espacialmente, indicando a presença de vários ou poucos agentes na sua definição (alta ou baixa fragmentação). Pode estar associado também às características geomorfológicas do suporte quanto sua aptidão ao uso. Sua unidade dimensional é medida em termos da razão entre metros lineares por unidades de área em hectares.
- d) **Dimensão fractal média do fragmento (MPFD - Mean Patch Fractal Dimension)** Mede a irregularidade ou complexidade de forma dos fragmentos. MPFD se aproxima de 1, para manchas com formas muito simples, como círculos ou retângulos, e tende a 2 para manchas de formas mais complexas (SAITO ET AL, 2011, p.405). É calculado como a somatória das razões do logaritmo do perímetro e área de cada fragmento de uso presente na célula. Complementa a leitura do índice de densidade de bordas e é adimensional.

Após a extração das métricas por classes de usos e coberturas da terra no espaço celular, sobrepõe-se a ele um conjunto de círculos concêntricos com centro definido no centro principal da cidade. Para cada círculo concêntrico, ou seja, para cada anel de distância, é possível calcular os valores médios encontrados em cada métrica. Estes valores médios são então utilizados para a construção dos gráficos de gradientes para cada momento no tempo (T) analisado. A sobreposição destes gradientes permite avaliar mudanças nos padrões de cobertura por intensidade e configuração espacial do uso em função da proximidade com a centralidade estabelecendo então uma leitura possível do contínuo urbano-rural na qual estes territórios estão organizados.

Dados utilizados e procedimentos

O estudo de caso foi desenvolvido para as cidades de Marabá e de Santarém localizadas no estado do Pará. Dois tipos de dados foram utilizados na elaboração das análises. O primeiro conjunto compõe-se de imagens LANDSAT obtidas junto ao *U.S. Geological Survey*, agência norte-americana responsável pela disseminação do acervo de imagens LANDSAT. Imagens de satélites LANDSAT 5 e 7 com nível de correção 1T *Standard Terrain Correction (Level 1T)*. A descrição das imagens utilizadas pode ser consultada no tabela 2.

Tabela 2 - Descrição das imagens de satélite utilizadas no estudo de caso.

Cidade	Sensor	Órbita/Ponto	Data de Aquisição
Santarém	LANDSAT-TM 5	227/62	03/08/1988 (T ₀)

	LANDSAT-TM 5	227/62	02/08/1999 (T ₁)
	LANDSAT-TM 5	227/62	29/06/2010 (T ₂)
Marabá	LANDSAT-TM 5	223/64	22/07/1988 (T ₀)
	LANDSAT-ETM 7	223/64	31/07/2000 (T ₁)
	LANDSAT-TM 5	223/64	17/08/2009 (T ₂)

Sobre as imagens foram aplicados procedimentos de classificação supervisionada utilizando o método da *distância de Mahalanobis* no ENVI 4.7. Este procedimento foi utilizado para identificação de três classes de uso: urbano (correspondente às superfícies impermeabilizadas); água (rios e outros corpos d'água) e não urbano (todos os outros usos não associados à classe urbano e água). Após a classificação das imagens, a matriz temática foi importada para o software SPRING 5.2.2 onde foi aplicado um procedimento de pós-classificação através da limpeza de pixels isolados de classe urbana (tolerância de agrupamentos mínimos de 8 pixels) e também de uma validação das áreas urbanas identificadas com auxílio de pesquisa por interpretação visual com apoio de imagens de alta resolução disponíveis no aplicativo on-line *GoogleEarth*. Depois de aplicado estes procedimentos, a matriz foi exportada como arquivo imagem (extensão *img*) para o aplicativo ESRI ARCVIEW 9.3. Através do algoritmo de métricas de paisagem urbana *UrbanLandscapeAnalysis* (ULA)⁴ desenvolvido pelo CLEAR⁵ (*Universidade de Connecticut*), a imagem foi reclassificada de acordo com as classes de pixels urbanos e espaços abertos definidos na seção anterior. Além disso, foram geradas mais duas imagens intertemporais para cada cidade em análise contendo as categorias de expansão urbana para os períodos [T₀ - T₁] e [T₁ - T₂] como também descritos anteriormente.

O segundo conjunto de dados foi obtido junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e refere-se aos dados do projeto TerraClass (INPE, 2011). Objetivo do projeto é qualificar o desflorestamento da Amazônia legal, tendo por base as áreas desflorestadas mapeadas e publicadas pelo Projeto PRODES (Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite) e imagens de satélite, apresenta os resultados do mapeamento do uso da terra na Amazônia Legal para todas as áreas desflorestadas mapeadas pelo PRODES até o ano de 2010. A partir de um termo de cooperação acertado entre o INPE e o grupo de pesquisa envolvido no Projeto UrbisAmazônia, a metodologia do Projeto TerraClass foi replicada para a situação de desmatamento encontrada no ano de 2000 para as cidades de Marabá e Santarém. Isso permitiu ter uma base de comparação entre as diferenças de cobertura da terra com o intervalo de uma década. As bases TerraClass para os anos de 2000 restringiram-se aos limites administrativos dos municípios em análise. Desta forma, apesar de reconhecer que parte da dinâmica do mercado de terras possa ocorrer em municípios vizinhos com fronteiras próximas à cidade sede, limitamos nossa análise a este recorte espacial em função da cobertura de informação disponível. Os dados TerraClass foram acessados já em formato vetorial (polígonos) delimitados para um conjunto de classes. As classes utilizadas neste trabalho estão assim definidas (INPE, 2011):

⁴ Plugin disponível para download em <http://clear.uconn.edu/tools/>

⁵ Center for Land Use Education and Research

a) Agricultura Anual - Áreas extensas com predomínio de culturas de ciclo anual, sobretudo de grãos, com emprego de padrões tecnológicos elevados, tais como uso de sementes certificadas, insumos, defensivos e mecanização, entre outros.

b) Mosaico de Ocupações - Áreas representadas por uma associação de diversas modalidades de uso da terra e que devido à resolução espacial das imagens de satélite não é possível uma discriminação entre seus componentes. Nesta classe, a agricultura familiar é realizada de forma conjugada ao subsistema de pastagens para criação tradicional de gado.

c) Área Urbana - Manchas urbanas decorrentes da concentração populacional formadora de lugarejos, vilas ou cidades que apresentam infraestrutura diferenciada da área rural apresentando adensamento de arruamentos, casas, prédios e outros equipamentos públicos.

d) Pasto Limpo - Áreas de pastagem em processo produtivo com predomínio de vegetação herbácea, e cobertura de espécies de gramíneas entre 90% e 100%.

e) Pasto Sujo - Áreas de pastagem em processo produtivo com predomínio da vegetação herbácea e cobertura de espécies de gramíneas entre 50% e 80%, associado à presença de vegetação arbustiva esparsa com cobertura entre 20% e 50%.

f) Regeneração com Pasto - Áreas que, após o corte raso da vegetação natural e o desenvolvimento de alguma atividade agropastoril, encontram-se no início do processo de regeneração da vegetação nativa, apresentando dominância de espécies arbustivas e pioneiras arbóreas. Áreas caracterizadas pela alta diversidade de espécies vegetais.

g) Vegetação Secundária - Áreas que, após a supressão total da vegetação florestal, encontram-se em processo avançado de regeneração da vegetação arbustiva e/ou arbórea ou que foram utilizadas para a prática de silvicultura ou agricultura permanente com uso de espécies nativas ou exóticas.

No âmbito deste trabalho, as classes de uso do TerraClass foram requalificadas observando uma perspectiva da dimensão da renda potencial da terra obtida a partir de seus diferentes usos. Isso nos permitiu estabelecer uma ressignificação das classes no contexto dos modelos de economia urbana em que estamos nos apoiando, entendendo-as a partir de seu **potencial de conversão** do recurso “terra” em terra urbana. Foi associado a cada classe de uso e cobertura um nível de potencial de conversão definidos como: baixo, médio e alto potencial de conversão. As classes foram assim mapeadas:

a) Baixo potencial de conversão - uso da terra em atividade econômica intensiva em capital - classes TerraClass: **pasto limpo** e **agricultura anual**.

b) Médio potencial de conversão - uso da terra em atividade econômica pouco capitalizada - classes TerraClass: **mosaico de ocupações** e **pasto sujo**.

c) Alto potencial de conversão - uso da terra sem atividade econômica (pode ser interpretado como *proxy* de reserva de terra) - classes TerraClass - **regeneração com pasto** e **vegetação secundária**.

Uma vez acessados os dados da base TerraClass para os anos de 2010 e 2000, cada um dos usos identificados foram isolados, gerando uma coleção de bases vetoriais (em formato *shapefile*) para cada uso e para cada ano. Este conjunto de dados foi então importado para o software TerraView 4.0.0. No TerraView geraram-se as camadas celulares definidas a partir de cada usos. As células quadradas foram definidas com dimensões regulares para todos os usos com extensão de 6,25 Km², ou 2,5 Km de aresta. O tamanho da célula se deu em função da leitura da complexidade de usos contidos no entorno das áreas urbanas. O critério foi adotado como a resolução espacial adequada para capturar a presença de usos fragmentados

que caracterizam as áreas periurbanas, garantindo na medida do possível a leitura sobre áreas caracterizadas por extensões mais homogêneas e regulares de uso.

Geradas as camadas celulares, utilizamos o aplicativo GeoDMA 0.2.1 (KORTING ET AL, 2008)⁶ para cálculo das métricas já definidas anteriormente. Dessa forma, foram geradas camadas de dados celulares para cada uso e para cada ano contendo as medidas calculadas a partir da intersecção das células com os polígonos extraídos da base TerraClass. Seguiu-se a este procedimento a geração dos círculos concêntricos que determinaram a origem das medidas de distância para os cálculos dos gradientes. Definiu-se um alcance máximo de 100Km com intervalos a cada 5Km para o cálculo dos gradientes. A localização do ponto de origem foi determinada no lugar do centro comercial principal da cidade, em Marabá, próximo à foz do rio Itacaiúnas e em Santarém as margens do Tapajós no local denominado Praça do Pescador.

Resultados

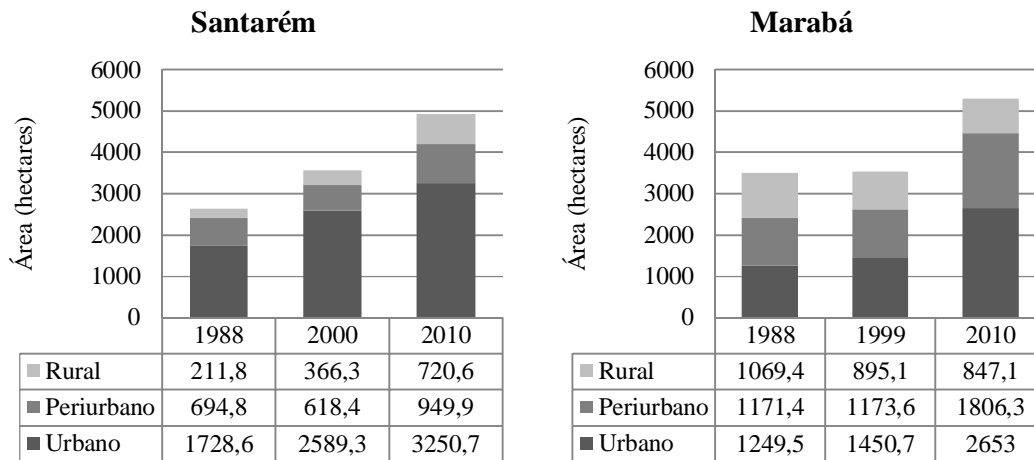
Os resultados alcançados após a aplicação dos procedimentos metodológicos detalhados nas seções anteriores demonstraram de modo geral sensibilidade para capturar as dimensões dos processos de expansão urbana das cidades em análise. Também permitiram a descrição de suas estruturas urbanas no que se refere às dimensões de interesse para esta pesquisa. Indicaram haver diferenças significativas entre as duas cidades no que se refere aos padrões de expansão apesar das suas semelhanças em termos de porte populacional e importância na rede hierárquica urbana. Em termos gerais, Santarém apresenta uma estrutura mais compacta se comparada ao nível de dispersão de Marabá apesar de ambas apresentarem extensões de áreas urbanas bem próximas de aproximadamente 50Km² cada uma.

Avaliando-se as distribuições das classes dos pixels, percebe-se que em Santarém, nas últimas três décadas, predomina a categoria "*urbano*" indicando que as áreas construídas tendem a se localizar em contexto de maior densidade de ocupação. Ao final da década de 80, 66% das áreas construídas estavam assim classificadas. Durante a última década do século passado, mesmo com a expansão da área urbanizada em aproximadamente 900 ha, a cidade intensificou a tendência à compactação, chegando a atingir 72% de sua área urbanizada na categoria "*urbano*". Já na primeira década do deste século, esta tendência parece sofrer uma pequena reversão, voltando a atingir patamares de semelhantes ao do primeiro período analisado, sobretudo em função de uma maior participação de áreas urbanizadas mais isoladas classificadas como "*rurais*" que chegam a representar cerca de 15% da mancha urbanizada. A cidade de Marabá, diferentemente de Santarém, apresenta nos três momentos avaliados, um padrão mais disperso de desenvolvimento. Isso já era esperado dado à característica da configuração da estrutura urbana da cidade que reconhecidamente apresenta três núcleos de desenvolvimento separados pelos rios que cortam a cidade. Em 1988, a cidade ocupava uma área de cerca de 35Km², com desenvolvimentos isolados, periurbanos e concentrados contribuindo de maneira equilibrada para este total. Ao fim do primeiro período, não houve mudança significativa no total da área ocupada pelos novos desenvolvimentos urbanos, porém já se observa uma tendência à compactação da mancha urbana com a diminuição dos desenvolvimentos em áreas isoladas e aumento da mancha contínua. Isso indica que as ocupações descontínuas que se observavam em 1988 não se localizavam muito distante da mancha urbana principal e que as novas áreas incorporadas se

⁶ GeoDMA 0.2.1. São José dos Campos, SP: INPE, 2011. Available at <http://www.dpi.inpe.br/geodma>.

deram nas franjas destas manchas, integrando estes desenvolvimentos descontínuos ao tecido periurbano e ampliando também as áreas contíguas (Figura 4).

Figura 4 - Distribuição das classes de pixels "urbano" para Santarém e Marabá

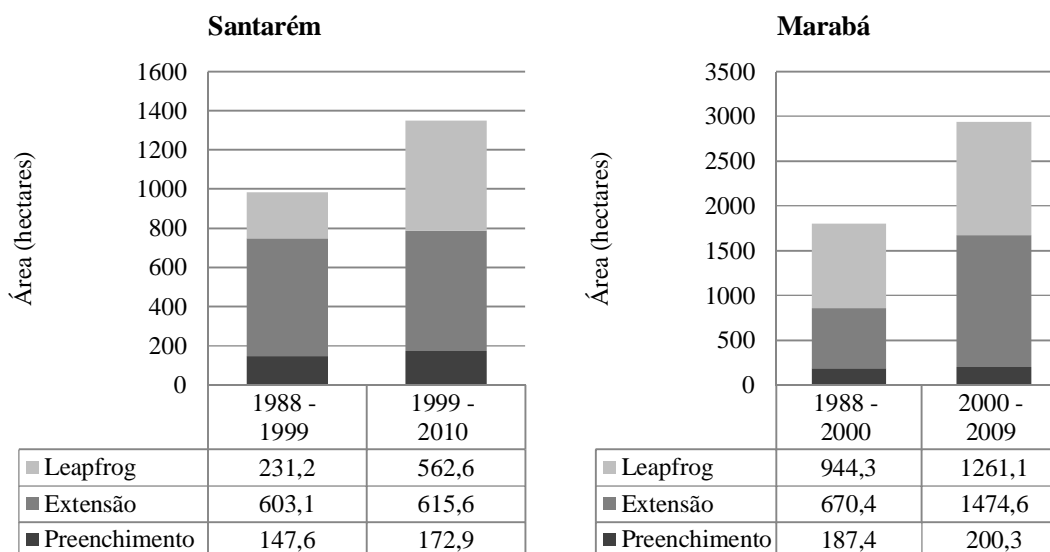


Fonte: Elaboração própria

No que se refere aos padrões de expansão urbana, em Santarém, na primeira década analisada, prevalece o padrão de crescimento por extensão. Neste período, apenas 15% dos novos desenvolvimentos da mancha urbana se deu de forma descontínua. No segundo período, a cidade amplia sua área construído em cerca de 13Km², porém agora, a participação dos desenvolvimentos descontínuos do tipo *leapfrog* é substancialmente maior, contribuindo com mais de 40% no crescimento total da mancha urbana. Em Marabá há sempre uma participação maior dos desenvolvimento descontínuos. Parece haver uma mudança na dinâmica do crescimento da cidade após a virada do século, especificamente na tendência de surgimento de áreas isoladas em partes rurais, com a manutenção dos processos de crescimento contínuo e gradual da mancha urbana principal (Figura 5). Para ser mais exato, no primeiro momento o padrão *leapfrog* de crescimento prevaleceu sobre os outros dois contribuindo com mais de 50% do total de novas ocupações. No segundo período, de maior expansão, sua contribuição cai, mas ainda totaliza mais de 40% das novas áreas ocupadas. Considerando o panorama representado por estes números, podemos dizer que Marabá tende a uma concentração polinucleada, caracterizada pela presença não de pequenas ocupações isoladas, mas com a existência de diversos núcleos surgidos em processos de crescimento descontínuo em momentos anteriores, e que hoje se expandem ampliando suas áreas. Ao lado destes processos, ainda se observa o surgimento de novos núcleos, porém, ao que parece, estes núcleos já surgem criando contextos periurbanos, de média densidade de ocupação indicando a presença de agentes com capital mais intensivo na conversão do uso da terra em áreas urbanas.

Se pudéssemos resumir os processos de expansão observados na última década para Santarém e Marabá, diríamos que para o primeiro caso, há uma tendência de ampliação por extensão contígua de um aglomerado urbano compacto ao lado do surgimento de núcleos *rurais* isolados com baixa densidade de ocupação. No segundo caso, há uma tendência de expansão em um contexto polinucleado, onde estes núcleos se desenvolvem e expandem em contextos de média a alta densidade de ocupação sem que se observe o surgimento significativo de núcleos isolados de baixa densidade de ocupação.

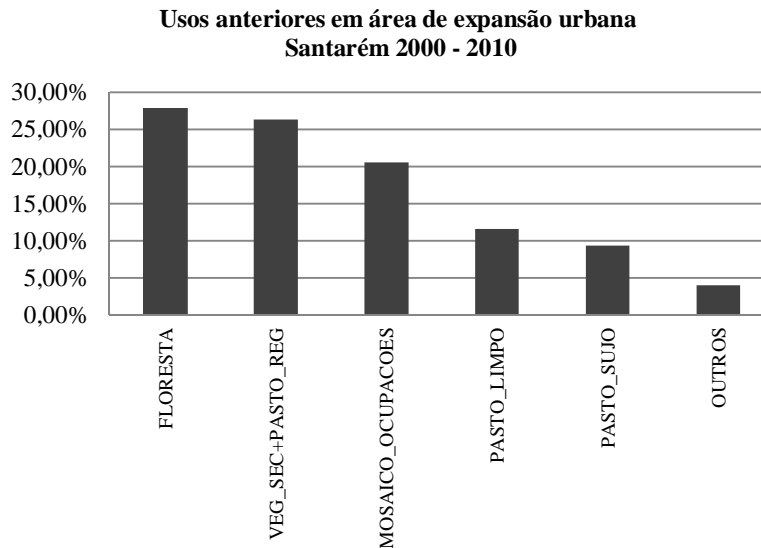
Figura 5 - Distribuição das classes de expansão urbana para Santarém e Marabá



Fonte: Elaboração própria

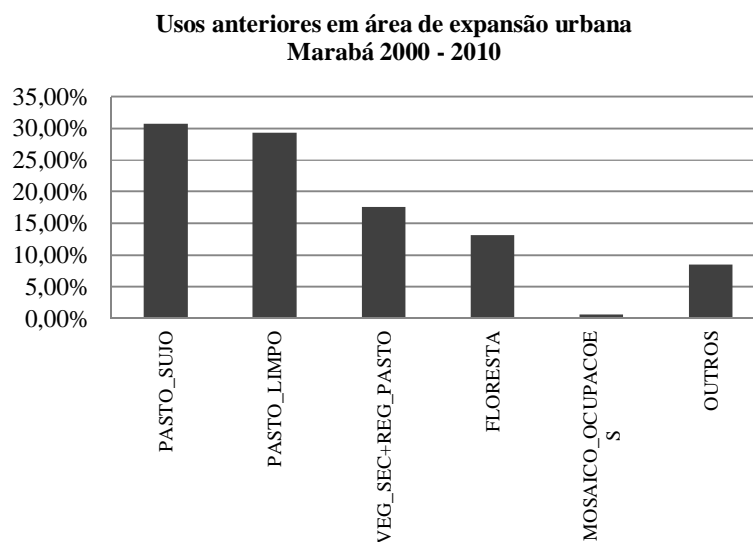
Os padrões de expansão urbana descritos pelas análises baseadas em *pixels* podem ser mais bem contextualizados quando combinados com a abordagem baseada em células que inclui a informação dos usos da terra anteriores à expansão das áreas de urbana detectadas. Em termos gerais, também neste caso, apesar das semelhanças já indicadas entre Santarém e Marabá, os contextos de uso sobre os quais se deram estas expansões são bastante diversos. Infelizmente não temos acesso aos dados de usos no primeiro período analisado anteriormente, forçando-nos a focar especificamente nos desenvolvimentos apresentados na última década. Analisando de modo agregado, a maior parte das expansões de Santarém se deu sobre áreas de floresta. Muito provavelmente estas áreas, apesar de classificadas com cobertura florestal, devem representar florestas já de certa forma degradadas em função da proximidade com o centro urbano. Quase que com a mesma intensidade, foi o avanço das áreas urbanas sobre os usos considerados de alto potencial de conversão, áreas abandonadas ou com uso de baixa intensidade, regeneração com pasto e vegetação secundária. Somadas a classe floresta, estes três usos representam mais da metade das áreas sobre as quais se deram as expansões de Santarém. A observação dos gradientes calculados para estes usos ajuda a compreender a trajetória destes usos no espaço do planalto santareno, indicado uma diminuição e maior fragmentação das áreas florestadas no entorno imediato da aglomeração e avanço dos usos de altos potenciais de conversão para áreas mais distantes ao centro. As expansões restantes se distribuem entre áreas de pastagem no entorno (Figura 6). Um fato importante destacar é que em 2000, as interpretações das imagens geradas pelo TerraClass não apontaram existência das áreas com agricultura anual, cobertura com área significativa de incidência no ano de 2010. De modo geral, estes valores estão de acordo com o que preconizávamos quando estabelecidos os potenciais de conversão. Assim, a classe floresta neste caso poderia ser compreendida como espécie de reserva de terra para expansão, ainda que maiores aprofundamentos sejam necessários para caracterização deste mecanismo.

Figura 6 – Usos e cobertura do solo prévios em áreas de expansão de Santarém



Fonte: INPE - TerraClass 2010 - 2000. Elaboração própria.

Figura 7 – Usos e cobertura do solo prévios em áreas de expansão de Marabá



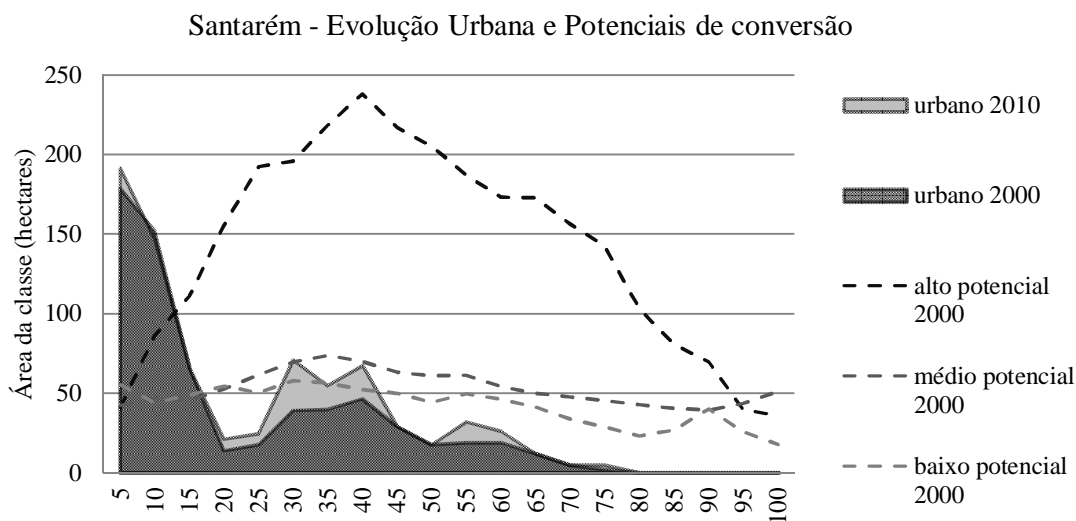
Fonte: INPE - TerraClass 2010 - 2000. Elaboração própria.

Em Marabá observa-se um comportamento diverso, com as maiores expansões, cerca de 60% da área, acontecendo em áreas de pastagem. Praticamente metade destas expansões se deu em áreas de pastos sujos e metade em áreas de pasto limpo. As expansões sobre áreas de alto potencial de conversão representaram apenas 17% e sobre florestas cerca de 13%. Isso nos dá indicações de que os processos que a cidade vêm experimentando na última década devam ser diferentes dos observados para a cidade de Santarém. Quando combinados com os resultados obtidos anteriormente, pode-se estabelecer uma hipótese de que as conversões em Marabá se dão de maneira mais estruturada, havendo conversão de glebas maiores e com investimentos mais intensivos do que em Santarém. O fato de que estas expansões não se deram em áreas de "reserva" de terras pode também estar associada a um ciclo mais adiantando de transformação territorial da estrutura de produção do entorno da cidade, onde a

fronteira de ocupação se estabeleceu de forma mais incisiva nas décadas anteriores, alterando as estruturas de cobertura da terra com um processo mais intenso de desmatamento. A análise das métricas calculadas para os diferentes usos reforçam esta leitura.

Os regimes diversos apontados pelos dados agregados podem ser bem visualizados através dos gradientes calculados sobre o entorno das cidades em questão. A fim de facilitar a leitura e na tentativa de síntese dos processos de expansão, foram construídos dois gráficos (Figuras 8 e 9) sobrepondo os gradientes calculados para a métrica de *Área da Classe* para as classes de uso urbano, demonstrando a evolução de sua intensidade nos início e final da década, e as intensidades dos usos ressignificados em função do potencial de conversão em suas condições iniciais. A ideia é constatar se as curvas de expansões urbanas estão coincidentes de alguma forma com as curvas de usos em função dos potenciais de conversão estabelecidos. Algumas constatações podem ser derivadas da análise destes gradientes. A primeira diz respeito à localização das áreas de expansão urbana. Em Santarém observa-se que os maiores acréscimos ocorreram na faixa entre 25 a 40 km do centro da cidade em fragmentos com áreas médias de aproximadamente 60 hectares. Observa-se também um pico secundário a uma distância de 55 km com presença de novas ocupações com áreas médias de 30 ha. Em Marabá, percebe-se que há o surgimento de novas ocupações com áreas médias de aproximadamente 25 ha até uma distância de 50Km do centro da cidade. Há, porém o desenvolvimento de novas ocupações a distâncias na faixa entre 60 a 70Km de distância do centro com áreas médias iguais a 50ha. Ademais, observam-se também novas áreas nas faixas mais distantes da área analisada.

Figura 8 - Gradientes por área de classe calculados por usos e coberturas no espaço celular

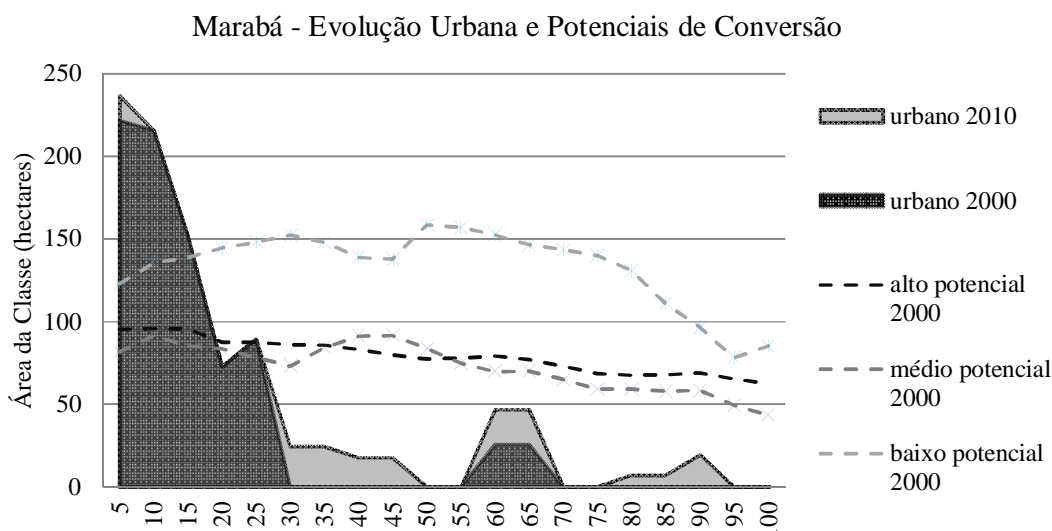


As áreas convertidas em uso urbano entre 2000 e 2010 podem ser comparadas a situação dos usos anteriores em função dos potenciais de conversão que existiam no início do período. Nesta análise, torna-se evidente uma diferença fundamental na estrutura territorial das duas cidades. Santarém apresenta uma quantidade muito maior de usos com alto potencial de conversão. Coincidentemente, os maiores picos de expansões urbanas aderem ao ápice de concentração destes usos a uma distância de 40 km do centro da cidade. Em relação aos usos de médio potencial de conversão, a expansão parece também aderir ao gradiente calculado

em 2000. Neste sentido, ao que parece para os processos que se observam em Santarém, as categorias estão aderentes às áreas de expansão da cidade.

Em Marabá a presença de usos com alta potencial de conversão é substancialmente menor do que em Santarém. Isso indica que em seu entorno há um uso mais efetivo do recurso terra. Em 2000 predominavam as áreas de baixo potencial de conversão em praticamente todas as distâncias do gradiente. Apenas nas franjas do limite da análise, sua presença acaba se aproximando dos usos de alto e médio potencial de conversão. Observando a evolução das áreas ocupadas por uso urbano, não se observa um padrão aderente entre as curvas por potencial de ocupação. Há, porém no que se refere aos usos de terra que apresentam alto potencial de conversão um declínio gradual a partir do centro da aglomeração que pode indicar a existência de uma reserva de terra estabelecida em função das expectativas futuras de conversão que de certa forma pode explicar em parte o padrão de desenvolvimento gradual observado nas franjas da aglomeração.

Figura 9 - Gradientes por área de classe calculados por usos e coberturas no espaço celular



Fonte: INPE - TerraClass 2010 - 2000. Elaboração própria

Conclusão

Os resultados obtidos com os estudos de casos desenvolvidos mostram o potencial dos métodos propostos, porém é importante deixar claro suas limitações frente aos alcances efetivos que esta proposta metodológica tem sobre o arcabouço teórico adotado. A primeira delimitação refere-se ao próprio modelo adotado na construção da leitura dos processos de expansão. Obviamente há uma simplificação imposta pelo modelo que deve ser considerada na avaliação dos resultados. Ao reduzir o processo de expansão urbana, aos mecanismos de valorização da terra derivado das expectativas de retornos através de prêmios por crescimento, o modelo permite situar claramente as duas cidades analisadas em perspectiva comparativa. Ao que parece, as cidades experimentam atualmente surtos econômicos de natureza semelhante, porém em fases distintas de desenvolvimento. Marabá se insere em um contexto mais dinâmico, com crescimentos demográficos persistentes ao longo das últimas décadas em taxas elevadas. O processo de ocupação do entorno com as terras convertidas em pasto já ocorreu em décadas passadas. O padrão de crescimento que se depreende dos

resultados é que evolução mais recente da cidade tem se dado em torno de conversões abruptas em grandes glebas e com uso intensivo de capital. Tal comportamento adere ao que preconiza o modelo teórico aplicado, já que as conversões se dão em torno de expectativas de rentabilidade provavelmente maiores do que em Santarém.

Em Santarém, esta dinâmica parece estar em estágio anterior, onde ainda há certo estoque de terra como reserva para a expectativa de conversão, mas que ainda não se efetivou. As conversões são mais graduais e contíguas às estruturas estabelecidas. Neste sentido, a estrutura espacial urbana tende a apresentar maior equilíbrio no decorrer de seu desenvolvimento, não havendo tanta pressão por alterações essenciais. Este padrão, associado ao fato de que o assentamento da cidade evoluiu historicamente de forma gradativa em torno de elementos simbólicos de centralidade, parece garantir a cidade uma estrutura mais equilibrada. A pergunta que se coloca então é em que medida os novos surtos que se sucederão sobre a cidade irão interferir na estrutura urbana da cidade.

Outra questão que se coloca a partir dos resultados obtidos é a necessidade de se estabelecer leituras sobre os processos de expansão urbana de forma mais articulada com os processos de conversão dos usos "não urbanos" que se dão nas áreas periurbanas. É preciso reconhecer que a regulação da ocupação dessas áreas através de zoneamentos restritivos, fundamentados em bases ambientais não tem garantido a preservação destas áreas. O que é pior, muitas vezes o próprio estabelecimento do instrumento normativo impede que o poder público atue nestas áreas, irregularmente ocupadas, para minimizar os impactos de uma urbanização informal, incompleta e desordenada. Entretanto, é importante enfatizar que, ainda que informal, estas áreas participam lado a lado no conjunto das transações do mercado formal de imóveis. É necessário que se faça uma leitura sistêmica sobre o comportamento do mercado de terras e imóveis no interior e no entorno das áreas urbanizadas para fins de planejamento e controle da ocupação. A leitura que usualmente se faz a partir de uma visão dicotômica urbano-rural que predomina nos instrumentos legais de regulação urbanística não tem tido a devida eficácia. Temos visto que apenas a delimitação legal de um perímetro urbano não tem surtido o efeito neste sentido. Ademais, em geral a determinação dos perímetros está associada muito mais ao debate sobre ampliação de receitas pelos governos locais na cobrança de IPTU⁷ do que às questões de ordenação e controle da ocupação de áreas periurbanas. Mesmo os novos instrumentos previstos no Estatuto das Cidades como a outorga onerosa por alteração de uso, que ainda são muito pouco aplicados nas cidades brasileiras (SANTORO, 2013), não é em si garantia de uma coordenação efetiva das novas ocupações se não associado à visão sistêmica que defendemos.

Em termos metodológicos, o trabalho demonstra que a utilização das imagens de satélite pode representar uma alternativa para investigações da estrutura urbana, porém, isoladamente levantam questões a partir de padrões observados, mas que requerem observação mais detalhadas para dar conta de responder as relações causais que os modelos incitam. Através de uma abordagem intertemporal baseada em sequências de imagens de satélite obtidas para as cidades de Santarém e Marabá, no Pará, pudemos representar os padrões de expansão urbana, não apenas considerando os aspectos morfológicos das áreas urbanizadas, mas também considerando os usos prévios a conversão para uso urbano. Com a proposição do conceito inédito de *potencial de conversão para uso urbano* associado aos usos da terra em áreas periurbanas, pudemos recuperar parte da dinâmica do processo de

⁷ Imposto predial e territorial urbano

expansão urbana nestas cidades, identificando as possibilidades deste tipo de aplicação em abordagens comparativas. Para isto, utilizamos métricas derivadas da ecologia da paisagem no cálculo de gradientes de potencial de conversão para cada cidade analisada. Talvez a maior contribuição que a estratégia analítica aqui proposta traz para os estudos sobre estrutura urbana seja a capacidade de compreensão das centralidades em relação ao seu entorno, rompendo com a separação existente nas abordagens correntes que tendem a analisar os processos de estruturação urbana sob um enfoque regional e as abordagens que buscam compreender a estrutura urbana unicamente a partir das configurações morfológicas de seus espaços intraurbanos. Ao olhar os processos de expansão em relação ao seu contexto geográfico, abre-se a possibilidade de apreender estes processos como um contínuo espaço-temporal, articulando duas escalas de leitura em perspectiva conjunta.

Finalmente, vale ressaltar que o conjunto de procedimentos analíticos contidos neste trabalho exemplifica o potencial que a associação das metodologias derivadas do campo da ciência da geoinformação representa para o avanço das abordagens empíricas no campo da análise urbanística. Mesmo reconhecendo desafios como a limitada oferta de bases de dados georreferenciadas dentro dos principais produtores de dados no Brasil, a evolução neste campo tem sido extremamente rápida. É apenas uma questão de tempo para que estas abordagens se popularizem nos diversos campos disciplinares, sobretudo naqueles para os quais o espaço é categoria analítica relevante como no urbanismo. No campo das políticas públicas tais avanços têm ainda pouca repercussão. São raras as iniciativas que efetivamente reconhecem a dimensão espacial na elaboração de planos estratégicos de ação. Ao contrário, o que se vê na maioria das vezes são diretrizes estabelecidas setorialmente, baseadas em critérios gerais e que ignoram a variedade de contextos socioterritoriais sobre os quais atuam. Neste sentido, este trabalho espera ter contribuído para a superação deste quadro.

Referências

- ALONSO, W. *Location and Land Use: Toward a general theory of land rent*. Cambridge: Harvard University Press, 1964. 204 p.
- ANAS, A. Dynamics of urban residential growth. *Journal of urban economics*. n.5, p. 66 - 87, 1978.
- ANGEL, S.; PARENT, J.; CIVCO, D.L.; BLEI, A.M. *Making Room for a Planet of Cities*. Lincoln Institute of Land Policy. Policy Focus Report, 2011.
- ARCHER, R.W. Land Speculation and Scattered Development; Failures in the Urban Fringe Land Market. *Urban Studies*. n.10, p. 367-372, 1973.
- ARNOTT, R. J. A simple urban growth model with durable housing. *Regional Science and Urban Economics*. n.10, p. 53 - 76, 1980.
- BAHL, R. A land speculation model: the role of the property tax as a constraint to urban sprawl. *Journal of Regional Science*. v.8, n. 2, p. 199 - 208, 1968.
- BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. *Estudos Avançados*, v. 19, n. 53, p71 -86, 2005.
- BECKER, B. K. *A urbe amzônida: a floresta e a cidade*. Garamond: Rio de Janeiro, 2013. 85p.

- BRUECKNER, J. K. Urban Sprawl: Diagnosis and Remedies. *International Regional Science Review*, v. 23, n. 2, p. 160-171, 2000.
- BRUECKNER, J. K.; RABENAU, B. Dynamics of land-use for a closed city. *Regional Science and Urban Economics*. n. 11, p. 1-17, 1981.
- CAPOZZA, D., HELSLEY, R. The Fundamentals of Land Price and Urban Growth. *Journal of urban economics*. v. 26, p. 295-306, 1989.
- CLAWSON, M. Urban Sprawl and Speculation in Suburban Land. *Land Economics*, v.38, n.2, p. 99 - 111, 1962.
- CHICOINE, D. L. Farmland Values at the Urban Fringe: An Analysis of Sale Prices. *Land Economics*. v. 57, n. 3, p. 353-362, 1981.
- CORTÊS, J.C. *Mobilidade e redistribuição populacional em Santarém, Pará: recente reconfiguração do meio rural na Amazônia*. (Dissertação - Mestrado em demografia) Instituto de filosofia e ciências humanas da universidade estadual de Campinas. Campinas, 2012.
- DUNFORD, R. W., MARTI, C. E., MITTELHAMMER, R. C. A Case Study of Rural Land Prices at the Urban Fringe: Including Subjective Buyer Expectations. *Land Economics*. v. 61, n.1, p.10-16, 1985.
- EMMI, M. F. *A oligarquia do Tocantins e o domínio dos castanhais*. Universidade Federal do Pará. Belém. 1999. 174p.
- HARVEY, R.O.; CLARK, W.A.V. The Nature and Economics of Urban Sprawl. *Land Economics*, v. 41, n. 1, p. 1 - 9, 1965.
- HEROLD, M., SCEPAN, J., KEITH, C. C. The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changing in urban land uses. *Environment and Planning A*. v. 34, p. 1443-1458, 2002.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Regiões de influência das cidades 2007*. Rio de Janeiro, 2008.
- _____. *Censo Demográfico 2000*. Rio de Janeiro, 2000.
- _____. *Censo Demográfico 2010*. Rio de Janeiro, 2010
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). TerraClass -. Levantamento de Informações sobre usos e cobertura da terra na Amazônia. Sumário Executivo, 2011. on-line <
http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/sumario_terraclass_2010.pdf> acessado em 24/08/2013.

- KORTING, T.S.; FONSECA, L. M. G.; ESCADA, M. I. S.; SILVA, F. C.; SILVA, M. P. S. *GeoDMA - A novel system for spatial data mining*. Data Mining Workshops, 2008. ICDMW '08. IEEE International Conference on. Pisa, Italy. 2008.
- LUCK, M., WU, J. A gradient analysis of urban landscape patterns: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA. *Landscape Ecology*. n. 17, p. 327-339, 2002.
- McDONNELL, M. J., PICKETT, S.T.A. Ecosystem structure and function along urban rural gradients: an unexploited opportunity for ecology. *Ecology*. v. 71, n. 4, p. 1232-1237, 1990.
- MILLS, E. An Aggregate Model of Resource Allocation in Metropolitan Areas. *American Economic Review*, n. 57, p.197-200, 1967.
- MUTH, R. *Cities and Housing*. Chicago: Chicago University Press, 1969
- PARENT, J.; CIVCO, D.; ANGEL, S. *Urban Growth Analysis: Calculating Metrics to Quantify Urban Sprawl*. Arquivo power-point, 2009. disponível on-line: <http://clear.uconn.edu/publications/research/presentations/parent_esri2008.ppt>.ac
essado em 24/08/2013
- PEREIRA, J. C. M. *Importância e significado das cidades médias na Amazônia: uma abordagem a partir de Santarém (PA)*. (Dissertação - Mestrado em Planejamento do Desenvolvimento). Núcleo de Altos Estudos Amazônicos da Universidade Federal do Pará. Belém. 2004
- REYDON, B. P., GONÇALVES, J. C. Mercado de terras e a produção de loteamentos urbanos. In: BRASIL, Ministério do Desenvolvimento Agrário. Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural. *Mercados de terras no Brasil : estrutura e dinâmica*. Org. REYDON, B.P., CORNÉLIO, F. N. M. Brasília : NEAD, 2006. p 355-388.
- REYDON, B. P.; GUEDES, S. N. R.; CORNÉLIO, F. N. M.; FILHO, C. C. Especulação com a conversão de terras agrícolas em urbanas: estratégia de um grupo sucro-alcooleiro. In: BRASIL, Ministério do Desenvolvimento Agrário. Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural. *Mercados de terras no Brasil : estrutura e dinâmica*. Org. REYDON, B.P.; CORNÉLIO, F. N. M. Brasília : NEAD, 2006. p 419-439.
- 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*. v. 63, n.3, 2011.
- 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*, v. 29, n. 16, p. 4803-4822, 2008.

- SANTORO, P. F. *Planejar a expansão urbana: dilemas e perspectivas*. (Tese - Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2013
- SIMÕES, R., GARCIA, R. A., LIMA, A. C. C. Novas centralidades e interiorizações na Amazônia: o modelo CENTRALINA. Relatório Técnico Projeto UrbisAmzônia. Belo Horizonte, 2012. on-line<http://www.dpi.inpe.br/urbisAmazonia/lib/exe/fetch.php?media=urbis:anexo_k_centralina_desmetod_preliminar.pdf> . Acessado em 10/10/2013
- MONTE-MÓR, R.; CARDOSO, A. C.; BASTOS, P.; SILVA, H.; DINIZ, S.; SUDRÉ, M. F.; CRAICE, C.; NASCIMENTO, C. P.; BANDEIRA, A.; NEGRÃO, M. R. G. Missão de Campo Terrestre Marabá - São Félix do Xingu. Relatório preliminar. 2012. on line http://www.dpi.inpe.br/urbisAmazonia/lib/exe/fetch.php?media=urbis:anexo_q_relatorio_campo_terrestre_maraba_sfx.pdf. acesso em 20/10/2013.
- VELHO, O. G. *Frentes de expansão e estrutura agrária: estudo do processo de penetração numa área da Transamazônica*. Zahar: Rio de Janeiro. 1972. 178p.
- ZHANG, L., WU, J. ZHEN, Y., SHU, J. A GIS-based gradient analysis of urban landscape pattern of Shanghai metropolitan area, China. *Landscape and Urban Planning*. n. 69, p. 1-16, 2004.