



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

EXAME DE QUALIFICAÇÃO
PROPOSTA DE TESE

**"ANÁLISE ESPACIAL PARA PROCESSOS GEOGRÁFICOS: A
URBANIZAÇÃO DA AMAZÔNIA BRASILEIRA."**

Silvana Amaral Kampel

PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES - ANÁLISE ESPACIAL

SETEMBRO DE 2001



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

**"ANÁLISE ESPACIAL PARA PROCESSOS GEOGRÁFICOS: A
URBANIZAÇÃO DA AMAZÔNIA BRASILEIRA."**

Silvana Amaral Kampel

Proposta de Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, área de Análise Espacial, da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Transportes, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Alberto Quintanilha (Orientador)

Prof. Dr. Antônio Miguel V. Monteiro

Prof. Dr. Daniel Hogan

PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES - ANÁLISE ESPACIAL

SETEMBRO DE 2001

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo potencializar o uso de conceitos e técnicas de Análise Espacial associadas a sistemas de informação geográfica, para processos geográficos tendo como objeto de estudo a dinâmica da ocupação urbana da região Amazônica. Propõe-se o uso de técnicas de análise espacial para verificar os conceitos qualitativos, expressos nas teorias que descrevem a urbanização, utilizando-se para tanto de indicadores quantitativos, para testar as hipóteses e corroborar ou questionar estas teorias. Desenvolve-se inicialmente a partir do estudo da evolução histórica do processo de urbanização da Amazônia através de técnicas de análise espacial. Dados de sensoriamento remoto, provenientes do sensor DMSP/OLS são também explorados para fins de detecção de atividade humana na Amazônia. Técnicas de regionalização baseadas em estatística espacial são propostas para estudar a regionalização na região Amazônica e finalmente, propõe-se uma metodologia para inferir a rede urbana a partir das relações espaciais de regionalizações de áreas, utilizando-se dados DMSP/OLS e as ferramentas de análise espacial experimentadas. Desta forma, este documento descreve os estudos e resultados obtidos até o momento e propõe a continuidade do trabalho.

SUMÁRIO

	<i>Pág.</i>
I. INTRODUÇÃO -----	1
<i>Motivação</i> -----	3
<i>Objetivos</i> -----	4
II. AMAZÔNIA: UMA "FLORESTA URBANIZADA?" -----	5
INTRODUÇÃO-----	5
<i>Objetivo</i> -----	6
HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO E DO PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DA AMAZÔNIA BRASILEIRA-----	7
ANÁLISE ESPACIAL NO HISTÓRICO DA EVOLUÇÃO DA ESTRUTURA URBANA DA AMAZÔNIA-----	10
<i>Metodologia</i> -----	10
<i>Resultados</i> -----	13
Do século XVII a 2000 - Análise de Clusters-----	13
De 1850 a 1912 - Análise Centrográfica da forma dendrítica proto-urbana à estrutura primaz.-----	15
De 1912 a 1965 - Estrutura Primaz de Belém, surgimento de Manaus - população relativa.-----	18
A URBANIZAÇÃO REGIONAL - DE 1960 A 1990-----	21
<i>De 1966 a 2000 - Análise Espacial de Superfícies de Densidade</i> -----	25
<i>Padrões de Urbanização Regional</i> -----	28
TAMANHO DE MUNICÍPIOS NA AMAZÔNIA - DE 1950 A 2000-----	29
CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO-----	32
III. SENSORIAMENTO REMOTO NA DETECÇÃO DE ATIVIDADES HUMANAS NA AMAZÔNIA - EXPLORANDO IMAGENS NOTURNAS DMSP/OLS -----	33
INTRODUÇÃO-----	33
<i>Objetivo</i> -----	35
IMAGENS DO SISTEMA SENSOR DMSP/OLS-----	36
MATERIAIS E MÉTODOS-----	39
<i>Municípios e centros Urbanos</i> -----	39
<i>Imagem DMSP</i> -----	39
<i>Banco de Dados</i> -----	41
<i>Verificação dos Focos de Luz DMSP e Dados Auxiliares</i> -----	42
<i>Imagens TM/Landsat</i> -----	43
RESULTADOS-----	44
<i>Detecção de focos de luz DMSP e localização das sedes de municípios</i> -----	44
<i>Área da mancha urbana e focos de luz DMSP/OLS</i> -----	48

<i>População residente e luzes noturnas DMSP</i> -----	49
<i>Consumo de Energia Elétrica e focos de luz DMSP</i> -----	56
CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO-----	59
IV. REGIONALIZAÇÃO NA AMAZÔNIA - EXPLORANDO A HETEROGENEIDADE ESPACIAL -----	60
INTRODUÇÃO-----	60
REGIONALIZAÇÕES DA AMAZÔNIA-----	60
UMA PROPOSTA DE REGIONALIZAÇÃO DA AMAZÔNIA A PARTIR DE ANÁLISE ESPACIAL DE TAXAS DE DESMATAMENTO-----	65
<i>Materiais e Métodos</i> -----	67
<i>Resultados</i> -----	68
Análise da dependência espacial das taxas de desmatamento-----	68
Regressão entre taxa de desmatamento 1992-1994 e demais variáveis-----	76
Análise de Regressão considerando apenas o Estado de Rondônia-----	77
CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO-----	79
V. A ARTICULAÇÃO ENTRE O ESPAÇO DOS LUGARES E O ESPAÇO DAS REDES NA URBANIZAÇÃO CONTEMPORÂNEA DA AMAZÔNIA. -----	83
INTRODUÇÃO-----	83
AS REDES URBANAS NA URBANIZAÇÃO CONTEMPORÂNEA DA AMAZÔNIA-----	84
MODELOS DE INTERAÇÃO ESPACIAL-----	87
METODOLOGIA-----	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	93
CRONOGRAMA -----	98

LISTA DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
Figura 1.1 - Proposta de trabalho: Análise Espacial em processos de urbanização. _	3
Figura 2.1 - Análise de cluster para os municípios instalados na Amazônia até 1850.	13
Figura 2.2 - Análise de cluster para os municípios instalados na Amazônia até 1912.	14
Figura 2.3 - Análise de cluster para os municípios instalados na Amazônia até 1965.	14
Figura 2.4 - Análise de cluster para os municípios instalados na Amazônia até 1985.	14
Figura 2.5 - Análise de cluster para os municípios instalados na Amazônia: (a) até 1990, (b) até 1997.	15
Figura 2.6 - Distribuição das sedes dos municípios instalados até 1850 (verde) e até 1920 (rosa) e seus respectivos centros médios.	16
Figura 2.7 - Distribuição dos municípios instalados até 1850 (verde) e 1920 (rosa) - centro médio e elipses de desvio-padrão.	17
Figura 2.8 - Evolução da população por unidade de federação da Amazônia Legal.	19
Figura 2.9 - Evolução da população total nos municípios das capitais Amazônicas	19
Figura 2.10 - Porcentagem da população total das capitais em relação ao estado.	20
Figura 2.11 - População total das capitais em relação aos estados do PA e AM (%).	20
Figura 2.12 - Estimativa Kernel de densidade de sedes de município para 1966 (a) e para 1985 (b).	25
Figura 2.13 - Estimativa Kernel de densidade de sedes de município para 1990 (a) e para 1996 (b).	26
Figura 2.14 - Estimativa Kernel de razão densidade entre população urbana e população total para 1990 (a) e para 1996 (b).	26
Figura 2.15 - Estimativa Kernel de densidade para sedes de municípios (a) e Razão de densidade entre população urbana e população total (b), para 2000.	28
Figura 2.16 - Número de municípios presentes nas classes de população, de 1950 a 2000 (escala logarítmica).	30
Figura 2.17 - Relação tamanho-hierarquia das cidades: escala logarítmica do "rank" e da população total dos municípios, para o ano de 2000.	31

Figura 3.1 - Imagem DMSP/OLS com realce linear de contraste. _____	40
Figura 3.2 - Imagem DMSP/OLS binarizada: em branco, considerando limiar de Nível Digital = 7 e em azul, Nível Digital = 30. _____	41
Figura 3.3 - Imagem DMSP e sedes de municípios (cruzes vermelhas) sobrepostas. _____	45
Figura 3.4 - Efeito da expansão de bordas do foco de luz DMSP no limite da área urbana. _____	46
Figura 3.5 - Efeito da contaminação de luzes DMSP e conurbação. _____	47
Figura 3.6 - Efeito de "Borramento" do foco de luz DMSP - margens dos rios. ____	47
Figura 3.7 - Relação entre área da mancha urbana e luzes noturnas DMSP. ____	48
Figura 3.8 - Frequência de Municípios da Amazônia Legal e municípios que apresentaram luzes noturnas DMSP, por intervalos de População Total - 1996. _____	49
Figura 3.9 - População Total contra pixel de luz DMSP por município. _____	50
Figura 3.10 - População Urbana contra pixel de luz DMSP por município. _____	51
Figura 3.11 - População Urbana menor que 200000 habitantes e pixel de luz DMSP por município. _____	51
Figura 3.12 - População Total e pixels DMSP por município com luz DMSP no Pará: (a) para todos os municípios, (b) excluindo-se Belém. _____	52
Figura 3.13 - População Urbana e pixels DMSP por município com luz DMSP no Pará sem "outliers". _____	53
Figura 3.14 - Consumo de Energia Elétrica total(kWh) para 1999, excluindo-se o consumo Industrial, contra População total - 1996 para os municípios do Pará, excluindo-se Belém. _____	56
Figura 3.15 - Energia Elétrica gasta em Iluminação Pública e Comercial (kWh) - 1999 e número de pixels de luzes DMSP para os municípios do Pará, excluindo-se Belém. _____	57
Figura 3.16 - Energia Elétrica - Iluminação Pública e Comercial e número de pixels de luzes DMSP para os municípios do Pará, eliminando-se "outliers". _____	58
Figura 3.17 - Energia Elétrica Total em relação ao número de pixels de luzes DMSP para os municípios do Pará, eliminando-se "outliers". _____	58
Figura 4.1 - Modelo de organização territorial da Amazônia Hervé (1998). ____	62
Figura 4.2 - Mapa síntese das intervenções estatais Hervé (1998). _____	63
Figura 4.3- Eixos do passado, presente e futuro Hervé (1998). _____	64
Figura 4.4 - TX91_92 - (a) Visualização estatística - desvios da média e (b) Média Móvel - valores padronizados. _____	69
Figura 4.5 - TX92_94 - (a) Visualização estatística - desvios da média e (b) Média Móvel - valores padronizados. _____	69

Figura 4.6 - Diagrama de Dispersão de Moran - TX91_92.	71
Figura 4.7 - Diagrama de Dispersão de Moran para TX92_94 e localizações dos municípios citados no texto.	72
Figura 4.8 - Moran Local - (a) TX91_92 e (b) TX92_94.	74
Figura 4.9 - Nova estatística G_i para (a) TX91_92 e (b) TX92_94.	75
Figura 4.10 - Nova estatística G_i^* para (a) TX91_92 e (b) TX92_94.	75
Figura 5.1 - Exemplo hipotético - Interações entre a escala local, representada por regionalizações de áreas, e as escalas sub-regional e macro-regional, representadas por topologias de redes.	91

LISTA DE TABELAS

	<i>Pág.</i>
Tabela 2.1 - Períodos identificados para a evolução da estrutura urbana na Amazônia e principais condicionantes _____	10
Tabela 2.2 - Teste de hipóteses para comparar centros médios das distribuições dos municípios instalados até 1850 e até 1920. _____	16
Tabela 2.3 - Teste de hipóteses para comparar as elipses dos desvios-padrão das distribuições dos municípios instalados até 1850 e até 1920. _____	17
Tabela 2.4 - Comparação de média e variância direcional (angular) entre os municípios instalados até 1850 e entre 1850 e 1912. _____	18
Tabela 3.1 - Exemplo de dado de energia elétrica, fornecido pelas companhias estaduais, consumo em kWh. _____	42
Tabela 3.2 - Descrição dos focos de luz DMSP não coincidentes com centros urbanos. _____	46
Tabela 4.1 - Variáveis demográficas e sócio-econômicas selecionadas. _____	67
Tabela 4.2 - Índice I de Moran. _____	70
Tabela 4.3 - Índice <i>c</i> de Geary. _____	71
Tabela 4.4 - "Outliers" do Diagrama de Dispersão de Moran - Resíduo Máximo normalizado para TX91_92 e TX92_94. _____	73
Tabela 4.5 - Valores de b, desvio padrão, t-Student e probabilidade para regressão linear entre TX92_94 e demais variáveis _____	76
Tabela 4.6- Análise dos pressupostos da regressão entre TX92_94 e demais variáveis. _____	77
Tabela 4.7- Valores de b, desvio padrão, t-Student e probabilidade para regressão linear entre TX92_94 e demais variáveis para Rondônia. _____	78
Tabela 4.8- Análise dos pressupostos da regressão entre TX92_94 e demais variáveis para Rondônia. _____	79
Cronograma de trabalho _____	98

I. Introdução

A aplicação de técnicas de análise espacial e sistemas de informação geográfica (SIG) a estudos de aspectos sócio-econômicos interpretados e expressos no espaço, encontra-se em estágios iniciais quando comparado às questões práticas das ciências ambientais.

Conforme descrito em Wegener, (2000), considerando a modelagem espacial através do uso de sistemas de informação geográfica, algumas razões explicam esta subutilização para as ciências sociais: a natureza estática dos sistemas atuais contrapõem-se aos processos dinâmicos dos modelos de sócio-economia; o uso de SIGs não incorpora benefícios sobre a maneira convencional da representação do espaço nas ciências sociais (que baseiam-se no conceito do espaço "contido" - sistema zonal fixo); e finalmente, os algoritmos para modelos espaciais das ciências sociais não são contemplados nos sistemas existentes.

Um exemplo histórico de aplicação nas ciências sociais foi o "California Urban Futures Model" (Landis, 1994), um dos primeiros modelos urbanos que utilizou brevemente a tecnologia de SIGs, para modelar o desenvolvimento de urbanização no uso do solo. Os trabalhos de modelagem espacial mais recentes ainda limitam-se ao armazenamento e apresentação dos dados espaciais, enquanto outros processos de modelagem são obtidos externamente aos SIGs.

Por sua vez, os processos abordados pela geografia humana são descritos através de teorias complexas que explicam a inter-relação de inúmeras variáveis em seus respectivos contextos, utilizando-se de descrição basicamente qualitativa. A quantificação e a exploração das relações espaciais destas variáveis nem sempre são contempladas, e não raramente, os SIGs são utilizados apenas para a apresentação de mapas ilustrativos destes processos. A análise e exploração dos dados espaciais, bem como as ferramentas de estatística e de análise espacial poderiam enriquecer a discussão, com aspectos eventualmente não detectados, e ainda fornecer alguma quantificação como a significância estatística ou a margem de erro das hipóteses apresentadas.

Contudo, o uso de análise espacial para estudos de processos geográficos, não constitui uma tarefa trivial uma vez que faz-se necessário a tradução da teoria em variáveis indicativas, passíveis de serem estatística e espacialmente analisadas. Trata-se de uma abordagem reducionista, que diminui o número de variáveis e de interações: transformar conceitos qualitativos em hipóteses testáveis implica numa simplificação da complexidade do processo, o que constitui *a priori* uma limitação da própria análise.

Uma vez que a teoria esteja expressa em variáveis indicativas, estas podem então ser mapeadas para representações modeláveis em sistemas de informação geográfica, para serem submetidas à análise espacial. A idéia é que "a funcionalidade dos sistemas seja obtida através da interpretação de suas formas, e os processos, sejam compreendidos à partir das estruturas presentes". A fidelidade da expressão da teoria, através das variáveis indicadoras, dependerá entre outros fatores do estado da arte da tecnologia de geoprocessamento, e das ferramentas de análise espacial para representar precisamente as características espaciais das variáveis e de diagnosticar as interações entre as mesmas.

A questão de urbanização contemporânea da Amazônia brasileira devido à complexidade e à rapidez na evolução do processo, constitui um exemplo de processo geográfico onde a inclusão de quantificação, através da análise espacial, contribuiria para evidenciar problemas e incrementar o debate teórico.

O surgimento e o crescimento das cidades e núcleos urbanos na Amazônia brasileira experimentou uma intensa dinâmica a partir da década de 60, como decorrência do processo e de políticas de ocupação da região norte.

O estudo geográfico ou geopolítico apresenta e discute as bases teóricas para explicar a urbanização e a rede urbana regional contemporânea na Amazônia brasileira. Segundo diferentes teorias, a urbanização a partir da década de 60, poderia ter sido decorrente da migração rural (Martine e Peliano, 1978), Sawyer, 1987), da estratégia do Estado para ocupação da região na criação de mercado de trabalho regional (Becker, 1987 e outros), da existência da rede rural-urbana (Ribeiro, 1998) ou inexistência da mesma, como rege a teoria da urbanização regional desarticulada apresentada por Browder, (1997). Em todos estes os casos,

identifica-se a urbanização como um fenômeno complexo e resultando em diferentes arranjos espaciais (Becker, 1998).

Este trabalho potencializa o uso de conceitos e técnicas de Análise Espacial associadas a sistemas de informação geográfica, para processos geográficos tendo como objeto de estudo a dinâmica da ocupação urbana da região Amazônica. Propõe-se o uso de técnicas de análise espacial para verificar os conceitos qualitativos, expressos nas teorias que descrevem a urbanização, utilizando-se para tanto de indicadores quantitativos, para testar as hipóteses e corroborar ou questionar estas teorias (Figura 1.1).

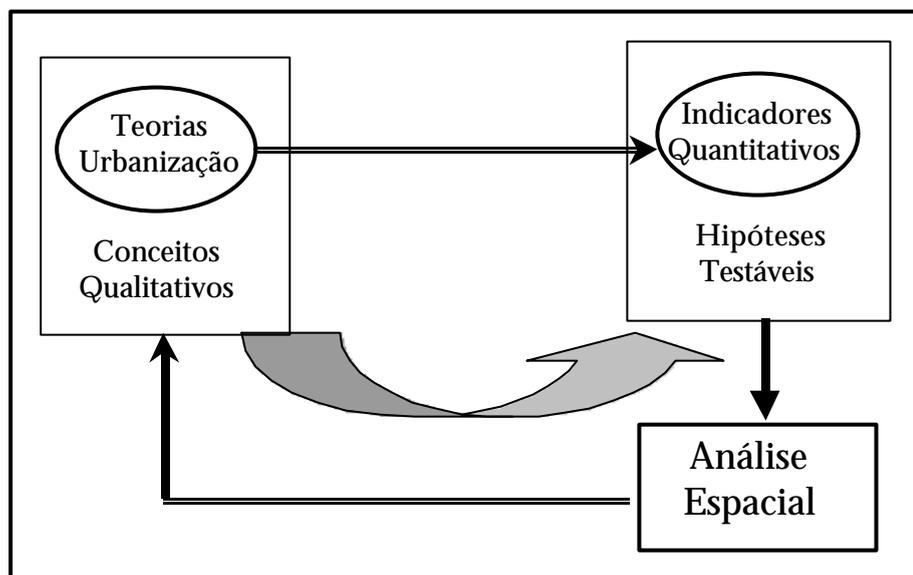


Figura 1.1 - Proposta de trabalho: Análise Espacial em processos de urbanização.

MOTIVAÇÃO

Tendo o processo de urbanização da Amazônia como objeto de estudo, dois aspectos constituem motivação básica para desenvolvimento deste trabalho, a saber:

1. Dado um conceito ou conjunto de conceitos qualitativos, utilizados na formulação de teorias de evolução urbana na Amazônia, quais seriam os indicadores quantitativos do processo? Quais conceitos qualitativos poderiam ser traduzidos em hipóteses espacial e estatisticamente testáveis?
2. Como a Análise Espacial poderia contribuir para aumentar o entendimento da questão da urbanização contemporânea na Amazônia brasileira, corroborando e/ou questionando as teorias disponíveis? Quais seriam as ferramentas de análise e

estatística espacial aplicáveis ao problema da urbanização e qual o poder explicativo destas técnicas?

OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é explorar aspectos teóricos, descritivos e portanto qualitativos, do processo de urbanização Amazônia, através de informação espacial quantificável e de técnicas de Análise Espacial. Para tanto, os seguintes objetivos são propostos:

1. Realizar uma análise da evolução histórica do processo de urbanização: identificar os principais períodos e processos de urbanização conforme descrito na literatura e analisá-los de acordo com os padrões espaciais presentes e através de diferentes técnicas de análise espacial .
2. Identificar a heterogeneidade da Amazônia expressa através de estudo de regionalizações: verificar propostas correntes na literatura e propor metodologia para regionalização, utilizando técnicas de análise espacial.
3. Explorar dados de sensoriamento remoto orbital, provenientes do sistema DMSP/OLS, como alternativa para descrição do processo de urbanização e atividades humanas na região.
4. Definir uma metodologia para extrair um modelo de rede a partir de regionalizações de área, para representar aspectos das redes urbanas na Amazônia. Pretende-se através de técnicas de análise espacial, estabelecer a relação entre as escalas local, expressa em áreas, e escala regional, expressa na forma de rede urbana, e com a rede macro-regional.

Os capítulos a seguir abordam especificamente estes objetivos gerais. No capítulo 2 apresentamos um estudo da evolução da urbanização da Amazônia através das ferramentas de análise espacial. O capítulo 3 descreve as potencialidades dos dados DMSP/OLS para detectar atividade humana na Amazônia. O capítulo 4 apresenta um estudo do emprego de técnicas de análise espacial para regionalizações na Amazônia, explorando atividade de desmatamento. O capítulo 5 propõe a continuidade do trabalho, através do desenvolvimento metodológico de técnicas para identificar padrão de rede urbana em escala regional, a partir das relações entre áreas na escala local. Finalmente apresenta-se o cronograma para continuidade do desenvolvimento da tese.

II. Amazônia: Uma "Floresta Urbanizada?"

Introdução

A Amazônia Brasileira detém a maior área de florestas tropicais contínuas e preservadas do mundo. Dados recentes de desmatamento na Amazônia, indicam taxas de 17,3 mil km² para o período de 1998 a 1999 e de 15%, ou de 19,8 mil km², nas taxas de desmatamento para o período de 1999-2000 (INPE, 2000). Estes valores alertam para a frequência e intensidade das mudanças no uso e cobertura do solo da região que conduzem a inúmeras questões ambientais tais como a conservação da biodiversidade da região, e alterações no balanço de carbono e no ciclo hidrológico, com sérios efeitos sobre as mudanças climáticas globais (Gash et al., 1996). Estas questões ambientais tornaram-se objeto de estudo da comunidade científica, e foco das atenções das organizações preservacionistas e da opinião internacional.

Paralelamente à evolução da preocupação ambiental, ao longo das três últimas décadas, a região têm experimentado as maiores taxas de crescimento urbano do Brasil. Em 1970, a população urbana correspondia a 35,5% da população total. Esta proporção aumentou para 44,6% em 1980, para 58% em 1991, 61% em 1996 e 70% em 2000.¹

A diversificação das atividades econômicas e as mudanças populacionais resultantes, reestruturaram e reorganizaram a rede de assentamentos humanos na região. A visão da Amazônia no início do século 21 apresenta padrões e arranjos espaciais de uma Amazônia diferente: em meio a floresta tropical um tecido urbano complexo se estruturou, levando a criação e o uso do termo "floresta urbanizada" pelos pesquisadores que estudam e acompanham o processo de ocupação da região (Becker, 1995).

Contudo, o crescimento da população urbana não foi acompanhado da implementação de infra-estrutura para garantir condições mínimas de qualidade de vida. Baixos índices de saúde, educação e salários aliados à falta de equipamentos urbanos, denotam a baixa qualidade de vida da população local (Becker, 1995 e

¹ Dados de população dos censos e contagens oficiais do IBGE.

1998); Browder e Godfrey, 1997; Monte-Mór, 1998). A condição de vida nas cidades e nos assentamentos urbanos constitui um dos maiores e piores problemas ambientais na Amazônia (Becker, 2001).

O processo histórico de ocupação humana e urbanização da Amazônia não se deu linearmente, o contexto político e econômico ao longo do tempo foram determinantes destas flutuações. Atualmente, a urbanização da região encontra-se em fase de estruturação, caracterizando-se ainda como uma região de "fronteira", onde a dinâmica das cidades ainda é muito intensa e estável, incluindo o surgimento de novos assentamentos urbanos.

Há de se considerar ainda a diferenciação entre o processo de urbanização do território e a urbanização da população: 70% da população vive em núcleos urbanos e os outros 30% estão inseridos no contexto urbano (Becker, 2001), o que salienta ainda mais a importância destes processos para a região.

OBJETIVO

O objetivo deste capítulo é trabalhar com ferramentas de análise espacial sobre dados geográficos buscando validar e ou compreender conceitos e processos da evolução da urbanização da Amazônia, descritos através de teorias e informações provenientes da geografia. Para tanto, os seguintes objetivos específicos são colocados:

- Identificar a partir da descrição teórica da evolução da urbanização, períodos que possam descrever diferentes processos;
- Para cada período, escolher variáveis que descrevam espacialmente a evolução do processo de urbanização do período;
- Aplicar técnicas exploratórias de análise espacial sobre as variáveis identificadas e analisar os resultados, buscando quantificar ou regionalizar, cada período estudado.

Assim, sendo este capítulo é organizado da seguinte forma: inicia-se com o histórico geral de ocupação e o processo de urbanização da Amazônia Brasileira. Segue-se a descrição da metodologia que, baseada no histórico anterior, identifica as variáveis

disponíveis e as técnicas de análise espacial aplicadas a cada período analisado. Cada período então tem seus resultados apresentados nos tópicos seguintes.

Apresentam-se ainda os padrões de urbanização regional descritos na literatura, que complementam a descrição do processo de urbanização para o período de 1960 a 1990, e uma análise geral da evolução dos tamanhos das cidades.

Finaliza-se o capítulo com as considerações e propostas de continuidade.

Histórico de Ocupação e do processo de Urbanização da Amazônia Brasileira

A descrição do processo histórico a seguir baseia-se em Machado (1999), segundo a qual, a urbanização define o modo de produção do espaço regional e é o elemento organizador do sistema de povoamento, que define a estrutura, o conteúdo e a evolução deste sistema.

A ocupação da região amazônica teve início em 1540. No século XVII, haviam apenas as missões religiosas e pequenas vilas e fortificações ibéricas que se instalaram na extensa planície de inundação dos rio Amazonas e afluentes, acompanhando os sítios de maior densidade de população indígena. Estes pequenos núcleos pouco contribuíram para a gênese do urbano na região Amazônica.

O desenvolvimento da urbanização teve início realmente na segunda metade do século XIX, com a economia da borracha que condicionou uma rede **proto-urbana**. O comércio da borracha definiu o surgimento de novas aglomerações e o desenvolvimento inicial da forma urbana. A hierarquia destas aglomerações era o reflexo da hierarquia imposta pelo comércio da borracha. A rede era ao mesmo tempo construída e restringida em função da exploração da borracha. A forma dendrítica desta rede proto-urbana relacionava-se à área de ocorrência da borracha: regiões de produtividade nas várzeas e a circulação fluvial. A rede englobava aglomerações em pontos de transbordo, nos portos das grandes unidades produtoras ou na confluência de rios que drenavam a produção das sub-bacias.

A evolução da economia da borracha conduziu ao aparecimento da estrutura **Urbana Primaz** onde se evidenciaram as diferenças entre as cidades maiores e o conjunto das menores. Belém se destacou pela população e centralização dos

recursos financeiros disponíveis para investimento urbano, e Manaus como a segunda maior cidade, responsável pela interiorização das frentes exploradoras de borracha.

Esta estrutura ocasionou o surgimento da forma-cidade assim como dos grandes contrastes entre o centro, com infra-estrutura, e a periferia com população residindo em casas de palha e madeira. A estrutura sócio-político-institucional excluiu a população de seus benefícios diretos tais como melhor remuneração e diversificação da oferta de emprego, e ainda benefícios indiretos como a presença de equipamentos de uso coletivo, caracterizando uma urbanização incompleta, típica de países periféricos.

Com a queda das exportações da borracha, em 1912, esta rede urbana se desestruturou. Muitas cidades se esvaziaram e a estagnação econômica promoveu o aparecimento de novas aglomerações a partir do êxodo rural das unidades produtoras de borracha. As aglomerações passaram a explorar recursos locais e reduzir as trocas de mercadorias entre elas, num processo de auto-organização. Este processo aliado à estagnação da economia regional explicam a relativa estabilidade da estrutura de povoamento nas décadas que se seguiram. Surgiram frentes de povoamento no domínio das savanas: criação de gado no Mato Grosso, vilas no Tocantins associadas à exploração mineral e no Maranhão vinculadas à cultura do arroz.

Durante a década de 50, Manaus cresceu muito, compreendendo 54% da população urbana do total dos estados do Amazonas, Acre, Roraima e Rondônia. Apenas o transporte aéreo fazia a integração desta região ao centro sul do país. O padrão dos agrupamentos urbanos era caracterizado por adensamentos ao redor da Zona Bragantina e de Cuiabá, e povoados ao longo da rede fluvial.

Em 1943, no governo de Getúlio Vargas, foram criados os territórios de Guaporé (AC) e Rio Branco (RR) como estratégia para que a implantação de uma rede urbana que estimulasse o desenvolvimento econômico. Depois de 1966 esta estratégia passou de secundária a dominante: o Estado desenvolveu um papel essencial no povoamento e valorização das terras amazônicas seja através dos planos de desenvolvimento ou através de investimentos em infra-estrutura.

A intervenção do Estado na região Amazônica teve início durante o governo de Juscelino (1955-60) através do Plano de Desenvolvimento Nacional (PDN), com a construção de Brasília e as primeiras estradas. Quando surgiu a Operação Amazônia (1966) seguida em 1970 pelo Plano de Integração Nacional (PIN), as frentes migratórias e grandes fazendeiros já estavam instalados, ao longo da rodovia Belém-Brasília (1960), ocupando as terras há 10 anos.

O estímulo para mobilizar capital e migrantes para as novas frentes de povoamento também decorreu de investimentos públicos em 12.000 km de estradas em 5 anos, 5.110 km de redes de comunicação, redes de distribuição de energia elétrica, construção de hidrelétricas e levantamento dos recursos naturais de 5 milhões de km² (aerofotogrametria e RADAM). Foram investidos 10 bilhões de dólares (1970) pelo governo federal e empréstimos de bancos internacionais.

Genericamente, a partir de 1960, intensificou-se a ocupação urbana. A política de desenvolvimento da região expressa pelos projetos de colonização regional e investimentos em infra-estrutura desencadeou um processo intenso de ocupação com a chegada de imigrantes do nordeste e sul do Brasil. O crescimento urbano deixou de ser do tipo cidade primaz para dar lugar à **urbanização regional**.

A disposição espacial do povoamento foi alterada pelos investimentos federais nas décadas que se seguiram. As estradas pioneiras passaram a ser atratoras dos fluxos migratórios dirigidos e espontâneos. À medida que as estradas pioneiras eram construídas em terra firme novas aglomerações foram surgindo, muitas já sob a forma de cidades. As aglomerações ribeirinhas foram marginalizadas, com exceção daquelas cortadas pelos novos eixos de circulação terrestre, e as capitais foram revigoradas pelo influxo migratório. Entre 1960 e 1991 a população urbana cresceu mais que a população total da região.

As classes de tamanho das cidades mantiveram-se estáveis até 1970, a partir de onde iniciou-se o processo de desconcentração dado pela redução da participação relativa das grandes cidades e aumento da participação relativa das cidades médias e pequenas (menos de 100.000 habitantes).

Especialmente identificou-se: a substituição do padrão dendrítico pelos eixos viários, a perda de importância de Belém e Manaus com população não mais

concentradas em grandes centros urbanos, a consolidação das regiões metropolitanas - Manaus, Belém, São Luís e Cuiabá, e a consolidação de cidades médias e pequenas (50.000 habitantes) no interior.

Entre 1991 e 1996, os processos de urbanização e desconcentração se acentuaram, com o surgimento de novos municípios (Constituição de 1988) e com o crescimento da população em núcleos urbanos de 20.000 habitantes. Como resultado, obteve-se a concentração dos núcleos urbanos ao longo dos eixos fluvial e viário, desenhando um **macrozoneamento regional**

Análise Espacial no Histórico da Evolução da Estrutura Urbana da Amazônia

METODOLOGIA

Considerando-se a descrição dos períodos históricos da urbanização apresentados no item anterior, organizou-se na Tabela 2.1 um parcelamento do processo de urbanização em períodos de acordo com os principais fatores condicionantes e as estruturas urbanas decorrentes.

Tabela 2.1 - Períodos identificados para a evolução da estrutura urbana na Amazônia e principais condicionantes

Período	Condicionante	Estrutura Urbana decorrente
Séc. XVII a 1850	Missões e ibéricos	Vilas nas várzeas do Amazonas e afluentes, nos sítios de maior densidade de população indígena.
1851 a 1891	Exploração da borracha	Forma dendrítica da rede Proto-Urbana
1892 a 1912	Apogeu da borracha	Estrutura Urbana Primaz - Belém
1913 a 1965	Declínio da borracha	Estagnação local e primazia de Manaus
1966 a 1985	Intervenção do Estado	Urbanização regional
1986 a 1990	Retração do Estado	Desconcentração - padrão dos eixos fluvial/ viário
1991 a 1996	Diminuem migrações	Macrozoneamento regional
1997 a 2000	Descentralização do Estado	Cidades ligadas ou não à rede urbana nacional e/ou internacional.

Esta tabela direcionou as análises espaciais realizadas: da evolução das estruturas urbanas e caracterização particular de cada período.

Inicialmente, realizou-se uma análise dos padrões espaciais de pontos decorrentes da variável "Ano de Instalação", que fornece o ano no qual o município foi reconhecido, disponibilizada pelo IBGE. Foi realizada uma análise de cluster para

todos os períodos, de modo a ressaltar os possíveis grupamentos de centros urbanos, baseando-se apenas na localização geográfica dos mesmos.

A análise de cluster procura identificar regiões onde ocorrem a concentração do evento em estudo. Diferentes técnicas estatísticas tais como técnicas hierárquicas, técnicas de parcionamento, de densidade, "clumping", entre outras, podem ser utilizadas para identificar estas agregações.

A técnica de parcionamento através de K-médias, foi utilizada para identificar os clusters de cada intervalo histórico analisado. Esta técnica tem a vantagem de permitir o controle do tamanho do cluster, sendo mais indicada para se definir áreas geográficas extensas. O algoritmo de K-médias procura definir o número de K-localizações tais que soma das distâncias de todos os pontos a cada um dos centros K seja minimizada (Ball e Hall, 1970).

Para a análise da evolução da estrutura espacial das cidades entre os períodos de **1850 a 1912**, propõe-se o uso de estatísticas centrográficas da distribuição espacial de pontos. São estatísticas bi-dimensionais equivalentes às estatísticas dos momentos da distribuição de variável simples, tais como média, desvio padrão, assimetria e curtose (Bachi, 1957; Ebdon, 1988).

Esta análise também utiliza a variável "Ano de Instalação" para estudar o surgimento dos centros urbanos, explorando algumas métricas de posição e distribuição dos mesmos, tais como o centro médio, o desvio padrão e a elipse do desvio padrão. Estas métricas permitem ainda comparar estatisticamente duas distribuições de pontos.

Uma métrica angular baseada em sistema de coordenadas polar e vetores que descrevem a distância e a direção entre os pontos, pode ser utilizada para quantificar a direção de instalação de novas sedes municipais. Compara-se um conjunto de vetores, definidos como desvios angulares a partir de um vetor de referência. A direção média pode ser considerada como um vetor a partir da origem até a resultante de todos os pontos. Funções trigonométricas permitem ainda a definição da dispersão (variância) dos ângulos (Burt, 1996; Gaile, 1980).

Desta forma, considerou-se o meridiano padrão da projeção policônica como o vetor de referência dos dados para o cálculo da direção média (azimute), a partir do ângulo formado entre o meridiano zero e as coordenadas X e Y (em metros de projeção) de cada sede de município considerada.

Com os valores de média e variância direcional pode-se comparar estatisticamente duas distribuições de pontos quanto à direção dos eventos.

Para a análise da evolução da estrutura espacial das cidades entre os períodos de **1912 a 1965**, que ressalta a estrutura urbana primaz de Belém, seguida de sua estagnação e surgimento da primazia de Manaus, seria ideal realizar análises espaciais que ponderassem a localização das cidades por outra variável tal como população ou produtividade. Contudo, como estes dados ainda não foram acessados, propõe-se a análise da população de Manaus e Belém em relação à população total do estado (dados disponíveis).

A partir de 1960 há a influência de diferentes agente atuando sobre o processo de ocupação e urbanização da Amazônia, aumentando a complexidade das interações, para este período, até o momento, optou-se por adotar técnicas de análise espacial baseando-se na criação de superfícies de densidade de Kernel (Roseblatt, 1956; Whittle, 1958; Parzen, 1962) a partir da localização das sedes de municípios e superfícies de razão de população urbana, ponderando-as através da população total.

A estimativa da densidade Kernel de eventos gera uma superfície simétrica que reflete a distância de um ponto a um local de referência baseada numa função estatística. Seria o equivalente a desenvolver uma superfície baseando-se no histograma de frequência dos eventos pontuais, onde as classes do histograma são traduzidas em intervalos e o número de casos em cada intervalo é contado e representado. O resultado é uma superfície que reflete a densidade de pontos ou do evento avaliado. Esta técnica pode ainda ser utilizada para relacionar duas ou mais variáveis produzindo uma estimativa tri-dimensional das mesmas.

RESULTADOS

Do século XVII a 2000 - Análise de Clusters

Para os municípios instalados até 1850 apenas 3 clusters foram identificados (Figura 2.1): (i) no Mato Grosso com as cidades próximas a Cuiabá; (ii) municípios próximos à São Luis do Maranhão e Belém; e (iii) cidades ao longo do Rio Amazonas, de Manaus a Gurupá (PA)

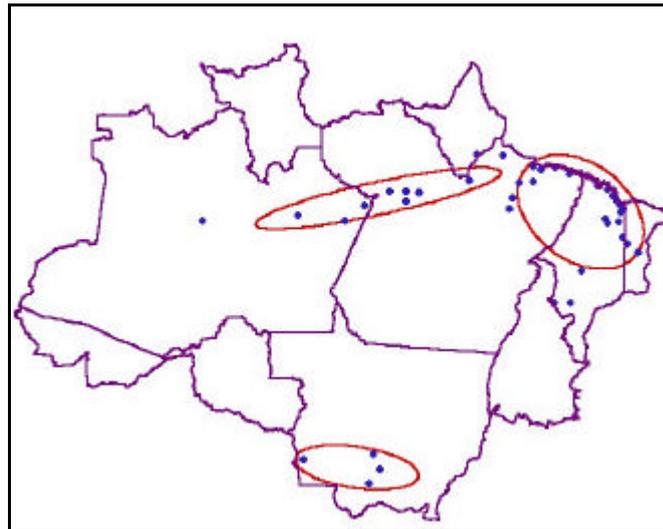


Figura 2.1 - Análise de cluster para os municípios instalados na Amazônia até 1850.

Com a expansão da atividade extrativista da borracha, surgiram novos municípios a oeste de Manaus, e no Acre, definindo dois novos clusters para os municípios instalados até 1920. Manaus torna-se pertencente ao agrupamento central do estado do Amazonas, e o cluster ao qual pertencia anteriormente reduz-se basicamente aos municípios do Pará, próximos a Santarém, Breves e Gurupá (Figura 2.2).

A estrutura urbana primaz de Belém e o aumento de importância de Manaus se reflete nos clusters observados para os municípios instalados até 1966 (Figura 2.3). Um cluster com muitos municípios compreende Belém, e agora separado do cluster que contém São Luís. Manaus está compreendido no cluster que compreende os municípios do Amazonas e Pará e o cluster do oeste do Amazonas e Pará torna-se menos extenso, com maior número de municípios. No oeste do Pará e leste do Maranhão define-se um cluster que compreende Marabá e Imperatriz.

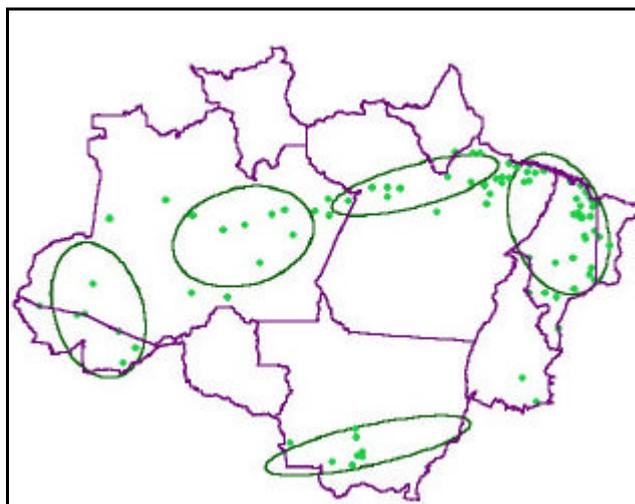


Figura 2.2 - Análise de cluster para os municípios instalados na Amazônia até 1912.

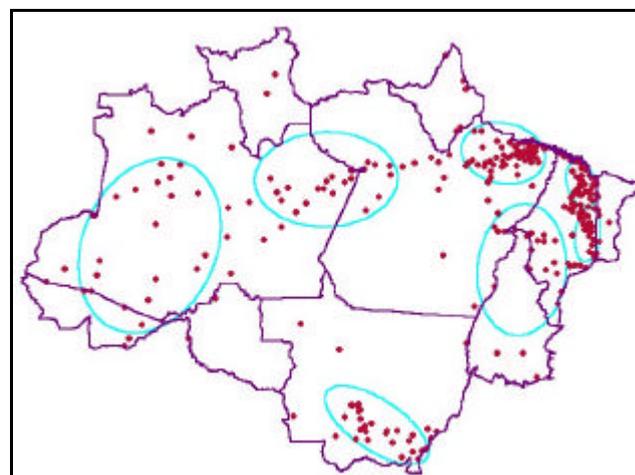


Figura 2.3 - Análise de cluster para os municípios instalados na Amazônia até 1965.

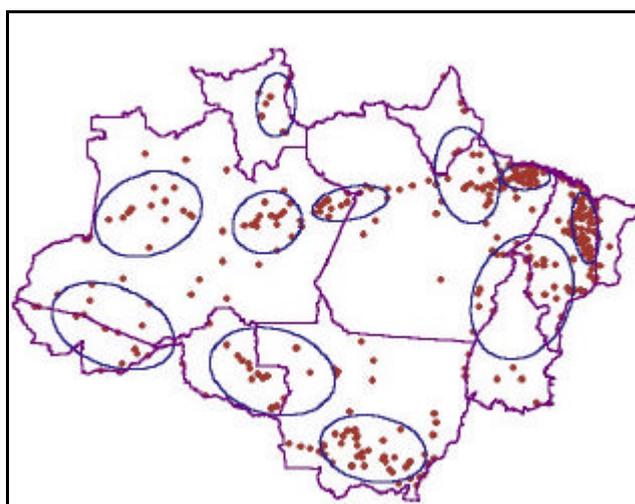


Figura 2.4 - Análise de cluster para os municípios instalados na Amazônia até 1985.

A influência dos eixos definidos pelas estradas implantadas na década de 60, adicionalmente aos eixos dos rios, reflete-se nos clusters obtidos para os municípios instalados até 1986 (Figura 2.4): surge o agrupamento das cidades em Rondônia e Roraima; intensificação do número de municípios nos demais clusters e muitos municípios não associados a clusters indicando ligações potenciais. A partir de 1985 a ocupação torna-se adensada de modo que os clusters pouco contribuem com informações adicionais sobre o padrão de agrupamento das cidades (Figura 2.5)

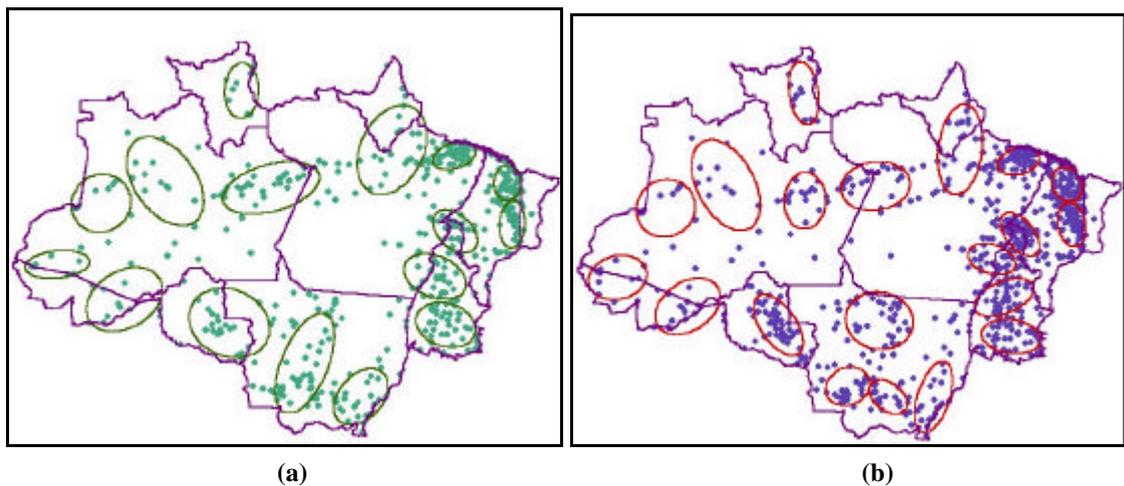


Figura 2.5 - Análise de cluster para os municípios instalados na Amazônia: (a) até 1990, (b) até 1997.

Clusters que compreendem as capitais são menores pela alta densidade de municípios próximos a região metropolitana. Ressalta-se a evolução intensa ao longo da rodovia Belém-Brasília, de 3 para 4 clusters de 1990 a 1997, apenas no estado do Tocantins. Rondônia apesar de apresentar um único cluster para as sedes de municípios, este se adensou e seu formato se alongou acompanhando o eixo da rodovia Cuiabá-PortoVelho.

A seguir cada uma destas principais fases de evolução da ocupação urbana é analisada de acordo com os dados disponíveis através de ferramentas de análise espacial.

De 1850 a 1912 - Análise Centrográfica da forma dendrítica proto-urbana à estrutura primaz.

O centro médio dado pelo valor médio das coordenadas X e Y, é o descritor mais simples de uma distribuição. Pode também ser chamado de centro de gravidade, e

representa o ponto de equilíbrio da distribuição. A Figura 2.6 apresenta os centros médios identificados para os períodos de até 1850 e até 1912.

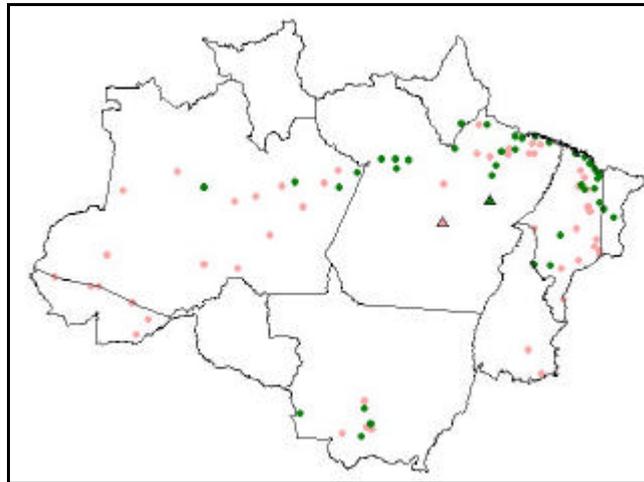


Figura 2.6 - Distribuição das sedes dos municípios instalados até 1850 (verde) e até 1920 (rosa) e seus respectivos centros médios.

O surgimento de novos municípios na porção oeste do estado do Amazonas e no estado do Acre promoveu o deslocamento do centro médio para o oeste. Contudo, esta diferença de posição não tem significância estatística ao se comparar os dois conjuntos de dados. O teste F aplicado para comparar as variâncias dos centros médios orientaram a aplicação de um teste t para comparar os centros médios para variâncias diferentes. Porém, os resultados obtidos não permitem afirmar que estes centros médios têm diferença estatística significativa entre as duas datas, conforme valores mostrados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Teste de hipóteses para comparar centros médios das distribuições dos municípios instalados até 1850 e até 1920.

Teste F	F crítico				Teste de Hipóteses
	F	DF	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	
X	2.12	n=88	1.59	2.05	H_0 : Variâncias são iguais
Y	1.03	m=38			Rejeito H_0 : F obtido para X > F crítico
Teste t	t crítico				Teste de Hipóteses
	t	DF	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.025$	
X	1.970	105	1.660	2.275	H_0 : Centros médios são iguais
Y	1.372	75	1.666	2.288	Aceito H_0 : F obtido para X e/ou Y < t crítico

A grande variância de posicionamento das sedes de municípios contribuiu para que esta diferença nos centros de gravidade não fosse significativa. A Figura 2.7

apresenta as elipses correspondentes aos desvios-padrão das distribuição dos pontos das duas distribuições.

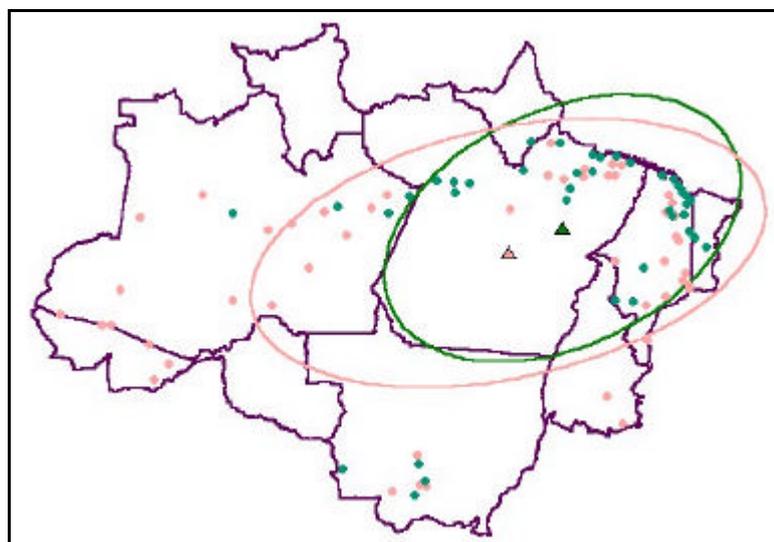


Figura 2.7 - Distribuição dos municípios instalados até 1850 (verde) e 1920 (rosa) - centro médio e elipses de desvio-padrão.

A distribuição dos desvios-padrão em X e Y geram as elipses que permitem a comparação estatística das distribuições dos pontos - sedes de municípios instalados até 1850 e até 1912. A Tabela 2.3 apresenta os resultados do testes estatísticos.

Tabela 2.3 - Teste de hipóteses para comparar as elipses dos desvios-padrão das distribuições dos municípios instalados até 1850 e até 1920.

Teste t		t crítico		Centros médios	
	t	DF	$\alpha = 0.01$	Teste de Hipóteses	
X	1.97	105	2.62	H_0 : Centros médios são iguais	
Y	1.37	75	2.64	Rejeito H_0 : t obtido para X ou Y > t crítico ($\alpha=0.01$)	
Teste F		F crítico		Eixos X e Y	
	F	DF	$\alpha = 0.01$	Teste de Hipóteses	
X	1.92	m=87	1.22	H_0 : Eixos X e Y das elipses são iguais	
Y	1.12	n=38		Rejeito H_0 : F obtido para X > F crítico (0.01)	
Teste F		F crítico		Área das elipses	
	F	DF	$\alpha = 0.01$	Teste de Hipóteses	
Área	1.47	87	1.22	H_0 : Áreas das elipses são iguais	
				Rejeito H_0 : F obtido > F crítico (0.01)	

A análise estatística nos permite comprovar o que visualmente se observa das elipses das distribuições analisadas, ou seja, não há diferença entre os centros das elipses, mas estas diferem em área e o eixo X é o responsável pelo grande desvio da distribuição, ocasionada pelo surgimento dos municípios a oeste.

Considerando-se os municípios instalados até 1850 e até 1912, a média e variância direcional foram calculadas e comparadas. Conforme apresentado na Tabela 2.4, a diferença de 133 graus para 165 graus (contados no sentido horário a partir do norte, do meridiano de origem da projeção policônica), não tem significância estatística.

Tabela 2.4 - Comparação de média e variância direcional (angular) entre os municípios instalados até 1850 e entre 1850 e 1912.

	Até 1850	>1850<1912
Número de amostras	39	49
Ângulo médio	133.11	165.39
Variância Circular	0.31	0.47
F crítico ($\alpha=0.05$)	3.96	
Teste F	2.21	
H₀: Ângulos médios das distribuições são iguais		
Rejeito H₀: F obtido > F crítico (0.05)		

Este resultado reflete a instalação simultânea de municípios tanto na região oeste do estado do Amazonas, quanto nos estados de Mato Grosso e Maranhão.

De 1912 a 1965 - Estrutura Primaz de Belém, surgimento de Manaus - população relativa.

Os dados de população por municípios ainda não foram acessados, a análise que sustenta a relação entre Belém e Manaus de 1912 a 1950 realizou-se através das relações entre a população do estado e das capitais.

O estado do Maranhão apresenta-se como o mais populoso desde 1872, seguido por Pará e Amazonas. A população no Pará mantém-se superior à do Amazonas durante toda a série histórica analisada (Figura 2.8).

Este mesmo panorama entre Belém e Manaus mantém-se ao avaliarmos a evolução da população de 1950 até 2000 para os municípios: Belém destaca-se como a capital de maior população e Manaus como a terceira (Figura 2.9) .

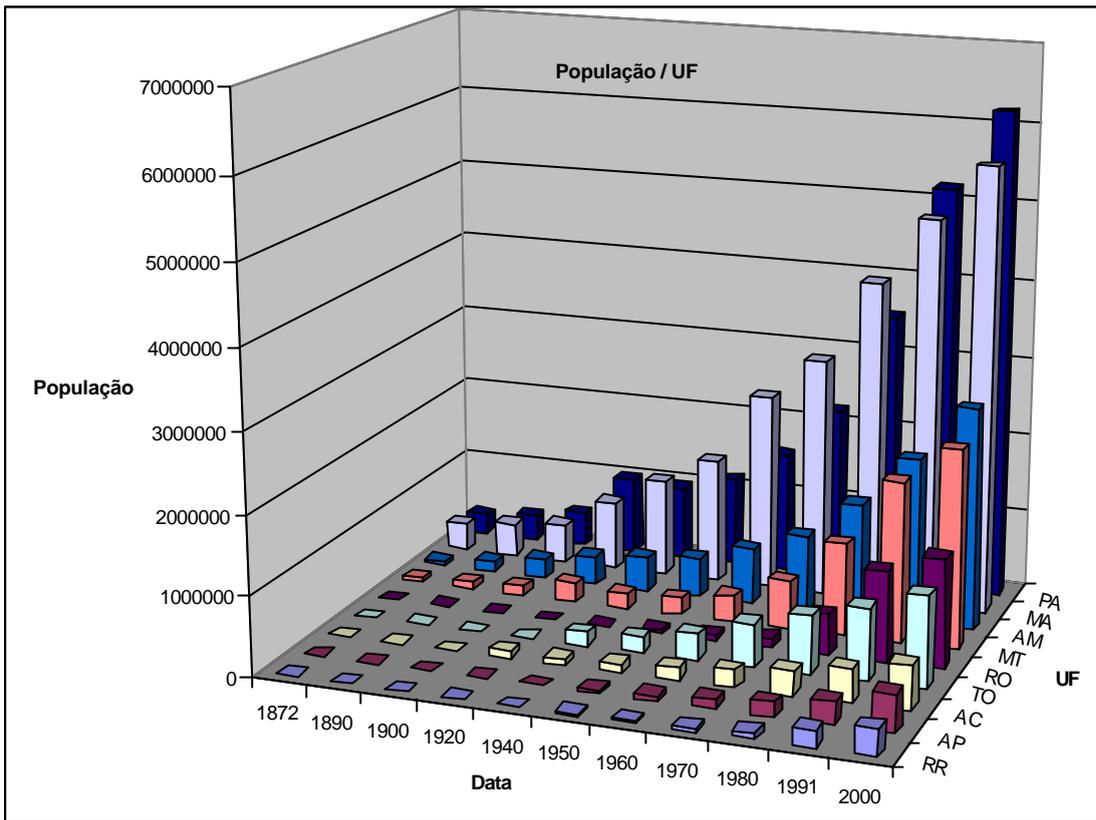


Figura 2.8 - Evolução da população por unidade de federação da Amazônia Legal.

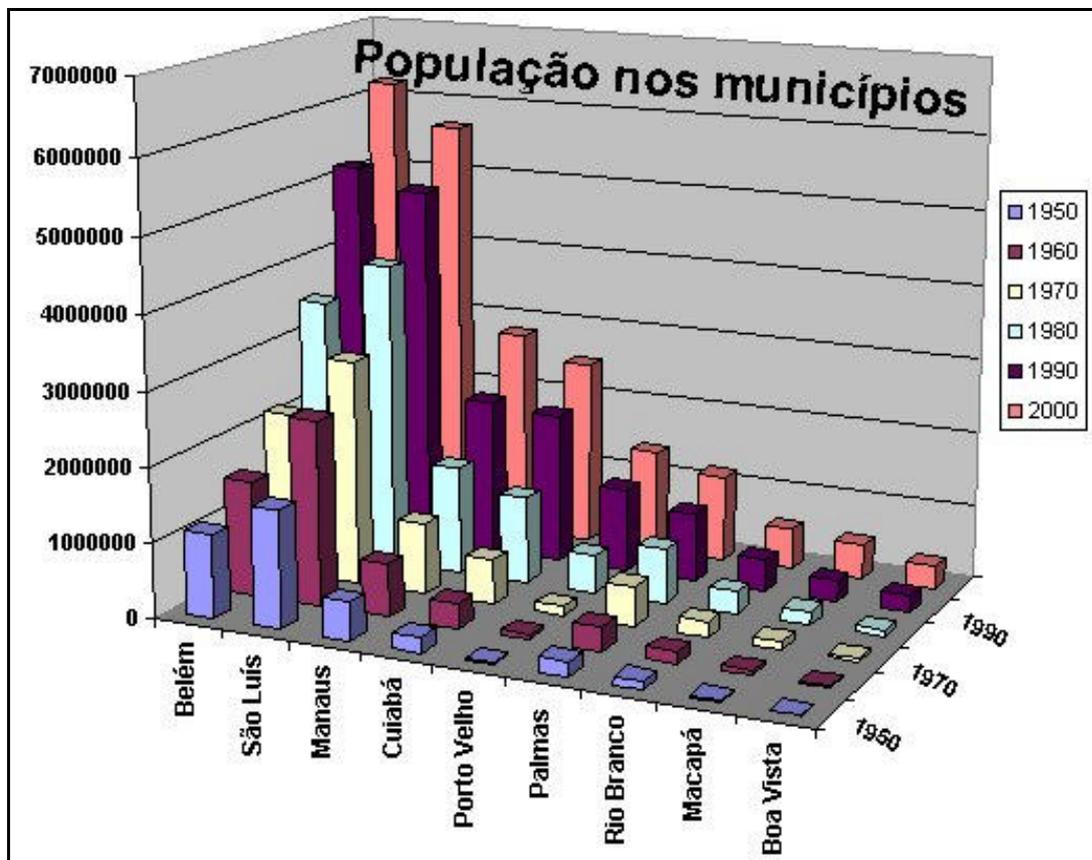


Figura 2.9 - Evolução da população total nos municípios das capitais Amazônicas

Contudo, ao avaliar-se a população da capital em relação a porcentagem equivalente no total do estado (Figura 2.10), observa-se outro padrão. Belém e São Luís, historicamente as capitais mais populosas não concentram tanto a população do estado quanto as capitais dos estados menos populosos, tais como Rondônia, Amapá e Acre.

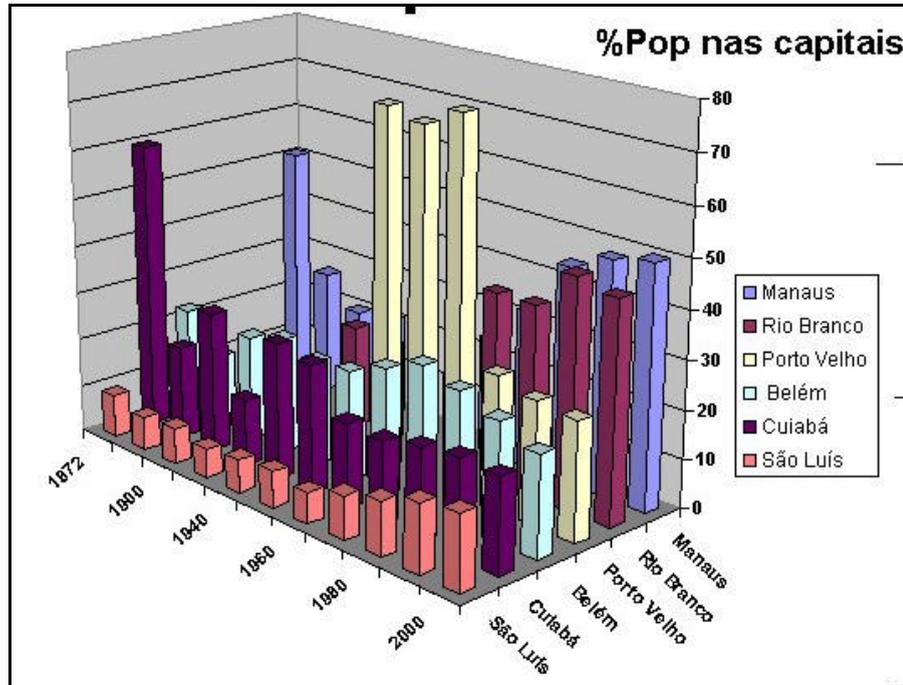


Figura 2.10 - Porcentagem da população total das capitais em relação ao estado.

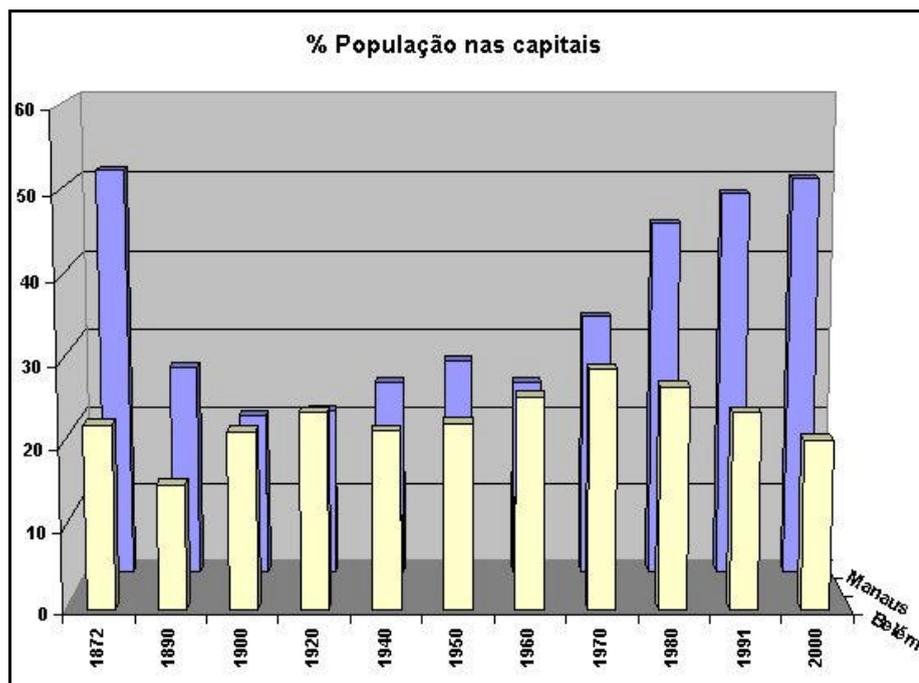


Figura 2.11 - População total das capitais em relação aos estados do PA e AM (%).

Individualizando-se Manaus e Belém, observa-se que Manaus detém mais a população do estado que Belém, evidente nos períodos: anterior à exploração da borracha - até 1890, no declínio da exploração da borracha - décadas de 40 e 50, e com a intervenção/incentivos do Estado, a partir da década de 70.

A Urbanização Regional - de 1960 a 1990

Até 1960 o crescimento urbano caracterizou-se como cidade primaz, com a concentração da população e atividades em poucos núcleos, organizando-se numa rede dendrítica, seguindo a geometria da rede fluvial. A partir de 1960 inicia-se o processo de urbanização regional com a construção da rodovia Belém-Brasília e a política territorial do Estado.

Para compreensão do processo de urbanização deste período utilizamos a visão da fronteira urbana como espaço estratégico para o Estado, descrita por Becker (1995). A autora apresenta o processo de urbanização não apenas a partir da evolução e crescimento dos núcleos urbanos, mas contextualizado na dinâmica social e territorial do Brasil. A reorganização territorial do Brasil, concentrando a população nos centros urbanos da região centro-sul, e ao longo da costa, nas décadas de 70 e 80, promoveu a dispersão urbana através de movimentos de dois tipos: (1) as capitais estaduais conectando os núcleos dinâmicos do país com a região de fronteira, e (2) a multiplicação de cidades e crescimento de centros regionais como bases logísticas para expansão das frentes agrícola, mineradora e de pecuária.

A urbanização Amazônica deste período não foi decorrente da expansão da fronteira agrícola, como ocorreu no início do século na região centro-sul, foi decorrente das ações do Estado para incorporar o país ao capitalismo moderno. A fronteira é heterogênea, nasce urbana, com altas taxas de urbanização, onde o governo federal é o principal responsável pelo planejamento e volume de investimentos em infra-estrutura. A fronteira é considerada um espaço político e social estratégico onde o Estado pode induzir mudanças sem ameaçar os interesses estabelecidos, a custos de exclusão social, e suportadas pela associação de capital estrangeiro, estatal e privado. Assim, como estratégia, o governo federal planejou e impôs os seguintes elementos para controle técnico e político da região:

- Rede para integração espacial: estradas, telecomunicação, serviços hidrelétricos e estradas de ferro.
- Superposição de território federal sobre o estadual.
- Subsídios para fluxo de capital.
- Fomento de fluxos migratórios.
- Urbanização.

Considerando este contexto, Becker (1995) ainda discute o significado e o papel da urbanização de acordo com três perspectivas correntes na literatura: **como alternativa à migração rural, como estratégia do Estado e como resultado de uma política de desenvolvimento fracassada.**

Na **primeira** perspectiva, o fechamento da fronteira, com a concentração da posse de terra, promove o êxodo rural e o inchamento das cidades. Este movimento direciona o contingente de colonos mal sucedidos inicialmente para as pequenas cidades pioneiras, que na impossibilidade de absorver esta população, os empurra para outros centros urbanos. Não é o crescimento da população nacional ou regional que promove o crescimento das cidades, mas sim a mobilidade dos colonos (migrantes) que não tiveram acesso à posse da terra na região.

Vários autores compartilham desta tese da urbanização como consequência do êxodo rural e fechamento da fronteira pela propriedade privada, tais como Martine e Peliano (1978), Martine e Turchi (1990), Aragón (1983), Antoniazzi (1980), Martine (1987), Aragón (1989), Sawyer (1987) e Torres (1991). A fronteira urbana seria responsável por absorver os migrantes que não foram retidos nos centros e nem fixados no campo.

Exemplos são encontrados ao longo da BR-364 em Rondônia e no eixo Porto Velho - Rio Branco. O ciclo de vida da fronteira: expansão, estagnação e declínio, normalmente de 30-35 anos no sul do país, é reduzido à 10-15 anos na Amazônia.

Esta perspectiva é atualizada por trabalhos que incorporam o processo de urbanização corrente no país, onde a importância dos fluxos rurais-urbanos é enfatizada. O crescimento das cidades de pequeno a médio porte no interior seria associado aos seguintes fatores:

- Modernização parcial da agricultura - trabalhadores rurais, de residência urbana.
- Serviços urbanos necessários à agricultura.
- Novos padrões de consumo da população rural.
- Menor possibilidade de acesso à terra.
- Menor possibilidade de propriedade da terra e emprego em grandes cidades.
- Transitoriedade da fronteira - resultante da formação do mercado da terra, que fecha a fronteira, e de atividades periódicas como o garimpo.

Na **segunda** perspectiva, compilada por Becker, (1995), e defendida por outro grupo de autores tais como Becker (1977), (1985), (1987), Machado (1979), (1982), (1984), Oliveira (1978), Rodrigues (1978), Bitoun (1980), Santos (1982), Coy (1989) e Godfrey (1990), a urbanização é um instrumento que serve à estratégia do Estado na organização do mercado de trabalho regional. Nesta perspectiva, a cidade é fundamental para a circulação de mercadorias, de informação, da força de trabalho e pela re-socialização dos emigrantes.

Como as atividades produtivas de grande e médio porte na Amazônia demandam trabalho por períodos intermitentes e sazonais, a criação de uma força de trabalho móvel é estratégica, e os núcleos urbanos prestam-se à concentração e distribuição desta força de trabalho. O Estado então manipula o espaço através da política de controle da distribuição de terra, da urbanização, e da promoção do fluxo migratório para a região.

A urbanização rural implantada pelo INCRA (Instituto Nacional para Crescimento e Reforma Agrária) em 1970 nos projetos de colonização oficial como os de Rondônia e da Transamazônica são exemplos desta perspectiva, onde os centros urbanos foram criados para atrair e estabelecer os fluxos migratórios e os núcleos hierárquicos serviram de base para a socialização do ambiente rural (agrovilas). É o modelo seguido pela colonização privada. O Polamazônia (1974) investiu boa parte de seus recursos para desenvolvimento dos centros urbanos dos pólos de crescimento e a SUDAM - Superintendência para o Desenvolvimento da Amazônia (1976), apresenta a estratégia de melhoria do comércio e serviços para incentivar o fluxo migratório e criar comunidades urbanas autônomas.

Considerando a urbanização como estratégia do Estado, 3 funções dos núcleos urbanos na integração da fronteira são identificadas:

1. Promover o planejamento do uso do solo como local de circulação em geral e organização do mercado de trabalho - local de residência e mercado de trabalho para trabalhadores rurais, pequenos produtores e migrantes. Quanto menor o núcleo, maior a função de circulação de trabalho, mais simples os equipamentos disponíveis e mais efêmera sua existência, dependendo das fontes de trabalho e expropriação dos fazendeiros;
2. Promover a integração do migrante à sociedade moderna - local de ação política e ideológica do Estado.
3. Transformar a estrutura de ocupação regional: como local de circulação, novas atividades de comércio são exercitadas, estas representam fontes de acumulação, e os núcleos transformam-se em mercado que estimulam a produção local e a capitalização de pequenos produtores.

A **terceira** abordagem, que considera a perspectiva da urbanização como resultado da política de desenvolvimento fracassada questiona a proposta anterior quanto a:

- No momento em que as cidades crescem muito mais rápido que a capacidade do Estado prover condições para tanto, a "estratégia deliberada" está descaracterizada. São as limitações da política de desenvolvimento e a condição da propriedade da terra que desencadeiam os processos de urbanização selvagem e proletarização passiva. Este é um efeito colateral da política que dissolve a estrutura social tradicional sem abertura dos prospectos de modernização.
- A falta de infra-estrutura básica e baixos padrões de vida não caracterizam as fronteiras como espaço para (re)socialização da população, menos ainda, para prover condições de movimentos anti-dominância.

Neste caso, as cidades superam as estruturas sociais tradicionais, sem perspectivas de modernização, devido ao processo de "urbanização selvagem e proletarização passiva" resultante da estratégia do Estado aliada à concentração da propriedade da terra (Mitschein et al., 1989, citado em Becker, 1998).

Segundo Becker (1998), o processo de urbanização regional pode ainda ser caracterizado quanto ao crescimento e distribuição das cidades em quatro aspectos relevantes:

1. O ritmo do crescimento urbano;
2. Redução da proporção de população urbana em cidades maiores de 100.000;
3. A íntima relação cidade-campo;
4. Padrões de Urbanização diferenciados devido à variações de crescimento, tamanho e dinâmica urbanas.

DE 1966 A 2000 - ANÁLISE ESPACIAL DE SUPERFÍCIES DE DENSIDADE

O processo de urbanização pode ser mensurado através do aparecimento de novas cidades e pela alteração do tamanho das cidades. A alteração no tamanho das cidades pode ainda ser considerada como uma proxy da hierarquia urbana.

Para acompanhar a evolução da urbanização entre os períodos de 1960 a 1996, foram considerando a ocorrência dos centros urbanos, para gerar superfícies baseadas na estimativa de densidade de Kernel.

As superfícies de frequência de municípios revelam a concentração próxima a São Luís e Belém e a evolução na região de Manaus e médio Amazonas. Para Rondônia, a concentração de municípios passa a ser relevante apenas em 1985 (Figura 2.12).

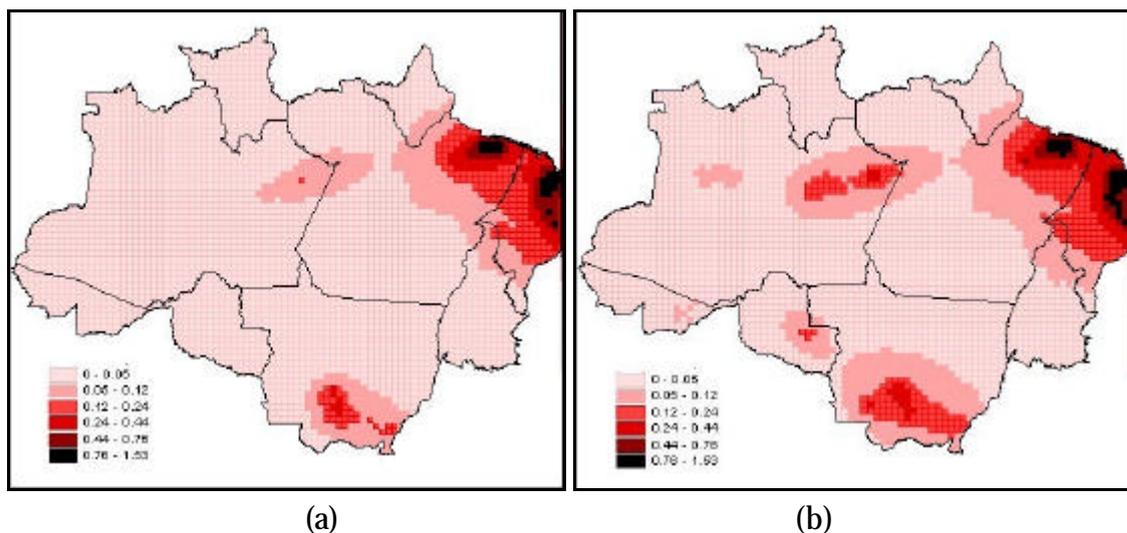


Figura 2.12 - Estimativa Kernel de densidade de sedes de município para 1966 (a) e para 1985 (b).

A superfície obtida para 1990 reflete a intensa ocupação da Amazônia oriental, decorrência dos eixos viários - Belém-Brasília, Cuiabá-PortoVelho, e a ligação Manaus-Belém através do eixo do rio Amazonas (Figura 2.13).

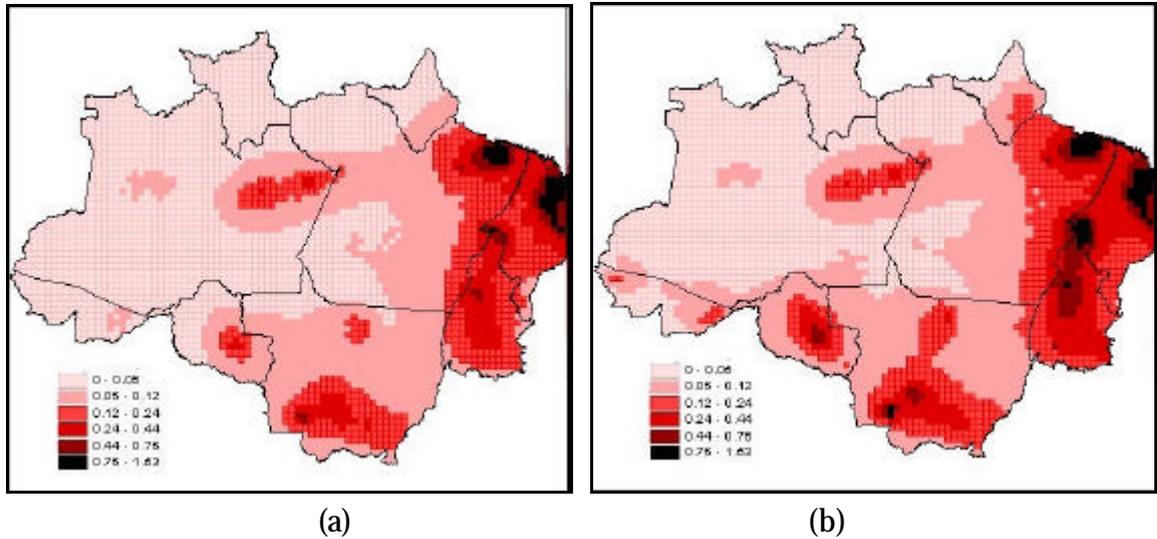


Figura 2.13 - Estimativa Kernel de densidade de sedes de município para 1990 (a) e para 1996 (b).

Para 1991 e 1996, cujos dados de contagem e censo populacional estão disponíveis, foi possível utilizar a estimativa de densidade de Kernel para verificar a relação entre a população urbana e a população total através da razão de densidade (Figura 2.14).

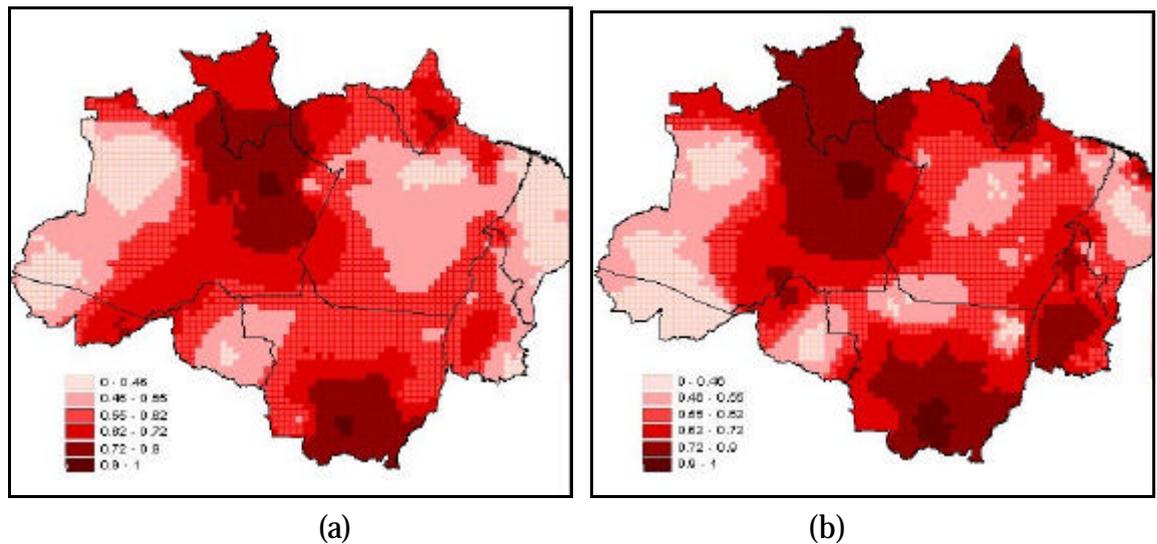


Figura 2.14 - Estimativa Kernel de razão densidade entre população urbana e população total para 1990 (a) e para 1996 (b).

A superioridade da importância relativa de Manaus em relação a Belém, torna-se nítida ao se comparar a superfície de razão (Figura 2.14) com a superfície das sedes dos municípios (Figura 2.13) para 1990. A superfície exagera a homogeneidade da variável analisada, e por isso a evolução de 1990 para 1996, observando-se o eixo de Manaus a Boa Vista torna-se tão intenso, assim como na região de Macapá e Cuiabá. Mas não se pode negligenciar a importância relativa da população urbana para estas regiões, bem como para Porto Velho.

Para o Maranhão a superfície de razão de densidade de Kernel apresentou valores baixos, similares aos observados para a Amazônia Ocidental. Este resultado complementa as análises anteriores, uma vez que ao longo da série histórica, apresentou vários municípios e concentrados próximos a São Luís, como mostrou a análise de cluster (Figuras 2.1 a 2.5) e a superfície de densidade Kernel para as sedes de município, comprovando a forte permanência da população na zona rural. Efeito similar pode ser observado em Rondônia, onde apesar do agrupamento de municípios ser evidente (Figura 2.13), a população urbana dos mesmos pouco contribuem para a população total, representada em áreas de baixas densidade na superfície de razão de densidade (Figura 2.14).

Palmas, Imperatriz e Araguaína configuram-se em 1996 como novas regiões de marcada importância quanto a população urbana.

Os dados de sedes de municípios e população do censo 2000 IBGE, produziram as superfícies de densidade apresentadas na Figura 2.15. Observa-se a evolução da concentração de municípios em torno das capitais, de 1996 para 2000 e o aumento de densidade em Roraima. Quanto à razão das densidades de população urbana/população total observa-se a ligação entre Macapá e Belém e a tendência de ligação entre Rio Branco-PortoVelho e Manaus. As áreas de baixa densidade no Maranhão, Pará, oeste do Amazonas e Rondônia diminuem sensivelmente, a região do Mato Grosso - Pará de baixa densidade praticamente desaparece.

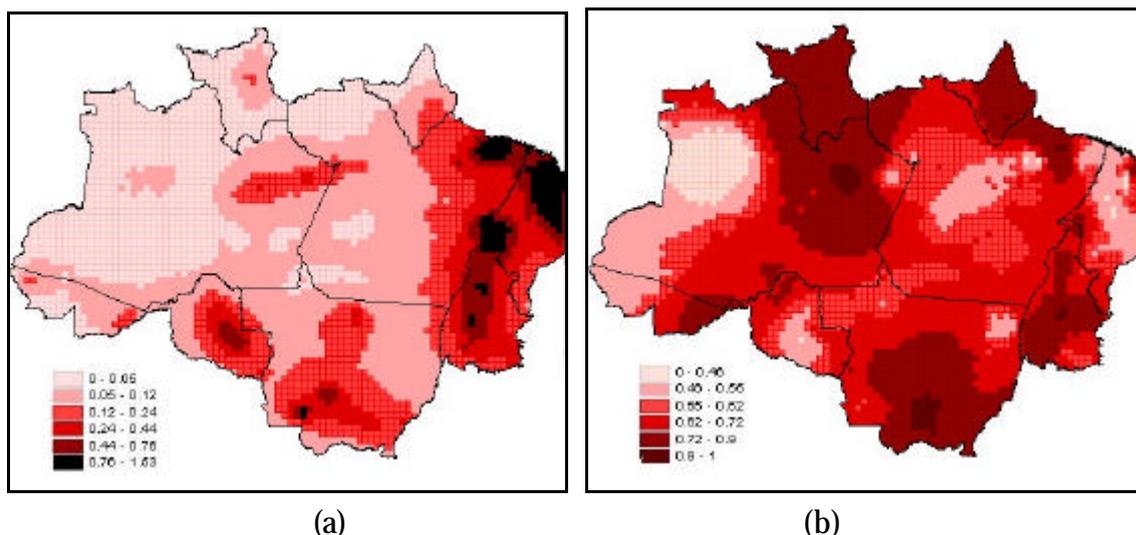


Figura 2.15 - Estimativa Kernel de densidade para sedes de municípios (a) e Razão de densidade entre população urbana e população total (b), para 2000.

PADRÕES DE URBANIZAÇÃO REGIONAL

Analisando diversos contextos e contingência, identificando padrões espaciais de organização das cidades, os maiores adensamentos urbanos, a organização das cidades de acordo com sua geografia, história e relações externas, Becker (1985) aponta alguns modelos de urbanização regional. Em 1985, foram identificados os seguintes modelos, baseando-se na diversidade das relações Estado-sociedade civil, nas formas de apropriação da terra e na organização dos mercados de trabalho:

- **Urbanização espontânea** - ação indireta do Estado: estradas e incentivos fiscais, povoados e vilas dispersos dominados por centros regionais e ausência de cidades médias. Amazônia Oriental e SE do Pará: Imperatriz, Araguaína, Conceição do Araguaia e Marabá são os grandes centros de entrada e redistribuição de migrantes.
- **Urbanização dirigida** - executada pelo Estado ou companhias colonizadoras. Fundamentada no Urbanismo rural do INCRA que consistia de um sistema de núcleos urbanos-rurais hierarquizados. Rondônia e Transamazônica pelo Estado e Synop e Alta Floresta (MT) por colonização privada.
- **Urbanização por grandes projetos** minerais e madeireiros. Fronteira de recursos isolada, desvinculada com a região, parte de organização transnacional. Dependem de bases urbanas para instalações, residência de

trabalhadores nas *companytown*, complementada por favelões que abrigam a mão-de-obra temporária e não especializada.

- **Urbanização em áreas tradicionais** - mantém o padrão onde o centro comanda a rede dendrítica.

A partir de 1980, observa-se a evolução dos modelos existentes para os seguintes padrões contemporâneos:

- **Os modelos da rede dendrítica** na Amazônia Oriental e o da *company-town* mantém-se;
- A urbanização dirigida em Rondônia originou o sub-sistema composto por cidades adensadas entre Vilhena a Porto Velho, de núcleos distantes 60 km entre si, baseados na economia madeireira e leiteira - **Modelo Populista** segundo Browder e Godfrey (1997);
- Modelo do Pará - com adensamento de cidades no sudeste do Pará, de Marabá à Redenção, urbanizando o interior, antes restrita à Belém-Brasília - **Modelo Corporativista** segundo Browder e Godfrey (1997);
- **Adensamentos urbanos** formando sub-sistemas espaciais no Mato Grosso, no entorno de Palmas e de São Luiz.
- Não há conhecimento suficiente sobre os sub-sistemas espaciais em formação.

Tamanho de municípios na Amazônia - de 1950 a 2000

Ao analisar as cidades e estudar a estrutura ou a rede urbana, a primeira dimensão questionada é o tamanho. Esta é uma variável estreitamente relacionada com hierarquia, uma vez que quanto maior a cidade, mais diversificada e menos especializada sua estrutura industrial. Há autores que assinalam um tamanho crítico a partir do qual a cidade não mais retrocede e adquire capacidade de crescimento próprio: entre 250 a 500 mil habitantes. O crescimento, ou o desenvolvimento econômico, proporciona o tamanho e o tamanho reage para estruturar a economia local e produzir crescimento.

Na Amazônia observa-se uma distribuição do tipo log-normal para os municípios considerando as classes de população (disponibilizadas e definidas pelo IBGE) mantida ao longo do período de 1950 e 2000, conforme observado na Figura 2.16.

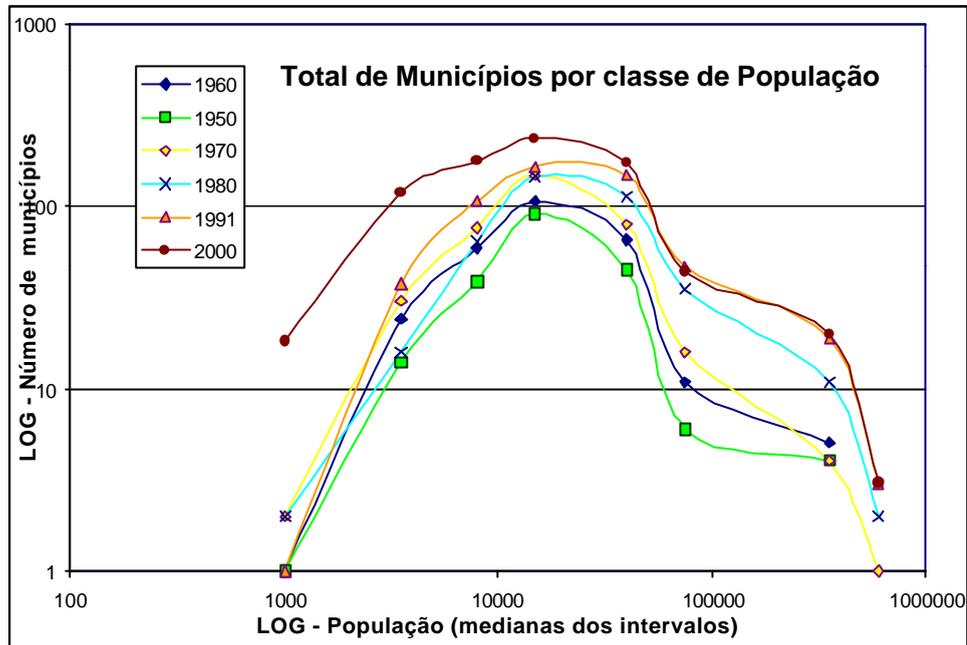


Figura 2.16 - Número de municípios presentes nas classes de população, de 1950 a 2000 (escala logarítmica).

Ressalta-se o aumento do número de municípios com população até 2000 habitantes e entre 50.000 a 100.000 habitantes. Estes dados comprovam a desconcentração da população nas grandes metrópoles e maior participação relativa das cidades de até 100.000 habitantes.

Zipf (1949), foi um dos primeiros a associar tamanho e hierarquia das cidades através de sua "rank-size rule". Num gráfico, associa a posição relativa do tamanho das cidades no eixo X (hierarquia), e a população das mesmas no eixo Y, ambos na escala logarítmica, obtendo uma linha reta (log-normal) resultante. Desta forma, a população da maior cidade é o dobro da segunda e o quádruplo da quarta, e assim sucessivamente. Esta relação parece ser válida para a maioria dos países desenvolvidos Alguns autores (Bak, 1996; Krugman, 1996) indicam que este resultado é decorrente da interação dinâmica entre as cidades, num fenômeno dito "complexidade auto-organizada" (em Inglês, *self-organizing complexity* ou SOC). Embora uma discussão mais detalhada desta questão esteja fora do escopo deste

documento, a idéia de SOC é que um sistema dinâmico, baseado na interação de um grande número de elementos (como cidades e empresas) tende a encontrar um ponto de equilíbrio, expresso pela “rank-size” rule. Embora esta propriedade venha se verificando para cidades nos países desenvolvidos há pelo menos um século Bak (1996), sua aplicação ao Brasil revela algumas peculiaridades de nosso crescimento urbano.

Faissol (1979), analisando 50 cidades brasileiras, para os anos de 1940/50 e 60, não observou esta relação log-normal. Em sua opinião, isto decorre do crescimento não aleatório das cidades, pelo mecanismo de industrialização, o que promoveu a concentração da população nas grandes metrópoles.

No caso da Amazônia Legal com dados do censo 2000, uma análise do ranking das cidades em relação a população das mesmas (Figura 2.17) mostra que a regularidade prevista pela “lei de Zipf” ocorre apenas para os municípios de população menor que Belém e maior que aproximadamente 10.000 habitantes. Para este intervalo, uma reta pode ser bem ajustada ao gráfico, comprovando a log-normalidade.

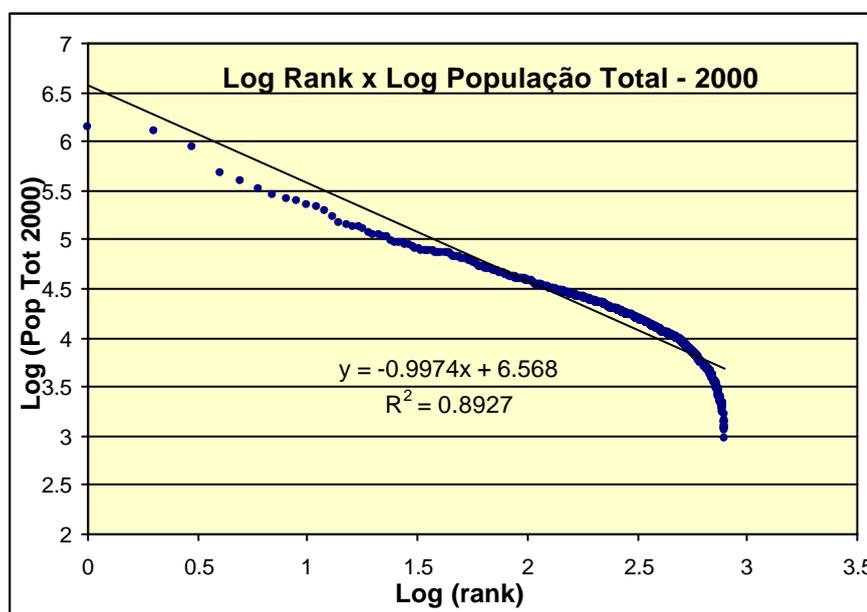


Figura 2.17 - Relação tamanho-hierarquia das cidades: escala logarítmica do "rank" e da população total dos municípios, para o ano de 2000.

Como Manaus e Belém são as duas metrópoles disputando o primeiro lugar no *rank* das cidades, há a descaracterização da reta nesta região: a população da segunda

maior cidade (Belém - 1.271.615) não é metade da primeira (Manaus - 1.394.724 habitantes). Comportamento similar foi encontrado para o censo anterior (1991), com a diferença que Belém era a primeira cidade (1.244.689 habitantes) e Manaus a segunda (1.011.501 habitantes). Estes valores indicam ainda o crescimento de Manaus, superando Belém, firmando sua importância na rede urbana da Amazônia. Ainda em relação a Figura 2.17, municípios pequenos (menos de 10.000 habitantes) também não apresentaram a regularidade esperada quanto ao tamanho-hierarquia, distorcendo o padrão da reta, evidenciando o que foi observado na Figura 2.16 anterior. Uma análise mais detalhada sobre este comportamento será realizada no documento de tese.

Considerações do capítulo

Este capítulo propõe o uso de técnicas de análise espacial para a compreensão dos diferentes períodos do processo de urbanização identificados para a Amazônia Brasileira de 1850 a 1990.

Para cada período estudado, foram apresentados os resultados obtidos a partir das variáveis propostas, dos dados disponíveis e da aplicação de técnicas de análise espacial selecionadas.

Ressalta-se que pretende-se ainda desenvolver metodologia e explorar espacialmente com maiores detalhes o período de 1966 a 2000, buscando detectar os modelos de urbanização regional descritos na literatura, bem como outras possibilidades de análise espacial, que incluam informações quanto ao movimento migratório na região, a definição de mercado de trabalho e o papel dos novos eixos viários.

III. Sensoriamento Remoto na detecção de atividades humanas na Amazônia - Explorando imagens noturnas DMSP/OLS

Introdução

O sistema sensor DMSP/OLS (Defense Meteorological Satellite Program's Operational Linescan System) foi originalmente planejado pela Força Aérea Americana para observação noturna da cobertura de nuvens e previsão meteorológica. Porém, imagens noturnas do sistema DMSP/OLS possibilitam uma visão interessante da configuração de ocupação humana no espaço, através da associação com luzes.

Assim sendo, este capítulo avalia a possibilidade do uso deste tipo de dado como ferramenta para detecção da presença humana tais como assentamentos urbanos ou outras atividades na Amazônia Legal Brasileira.

Historicamente, Croft (1978), seguido por Kramer (1994) foram os primeiros a explorar o uso de imagens DMSP para fins de mapeamento de áreas urbanas. Welch (1980a) e Welch (1980b) procuraram correlacionar imagens de luzes DMSP das cidades com densidade populacional e consumo de energia em áreas urbanas. Resultados promissores foram obtidos nestes trabalhos, mas apenas com a evolução da tecnologia de geração de imagens-mosaico digitais, descrita abaixo, a imagem de luzes noturnas se apresentou como fonte de dados confiável.

Desta forma, trabalhos mais recentes exploraram as imagens de luzes noturnas para detectar e quantificar atividade humana. Imhoff et al. (1997), por exemplo, compararam a estimativa de soma total de área urbana estimada pela imagem DMSP com os resultados oficiais de censo nos Estados Unidos, e obtiveram apenas 5% de diferença entre as estimativas, variando nos estados, em função do tamanho das cidades.

Imagem DMSP/OLS foi também utilizada para estimar o impacto do uso urbano na ocupação do recurso solo nos Estados Unidos Imhoff, et al. (1997a). Ressaltaram por exemplo que 2.67% do continente americano pertencem à classe de uso de solo

urbano, e que grande parte desta urbanização tende a ocorrer em solos de pouca limitação para agricultura (alto potencial de produtividade).

Elvidge et al. (1997b) propõem que dados de luzes noturnas podem ser uma alternativa para identificar assentamentos urbanos comparável à imagens de alta resolução espacial, reduzindo-se o volume de dados. Comparando-se área iluminada na imagem DMSP, com população, produto interno bruto e o consumo de energia elétrica encontraram relações lineares, indicando que a imagem DMSP pode ser utilizada para definir e atualizar a distribuição espacial da população em escala global, com a devida calibração regional ou nacional.

Relações entre as imagens de luzes noturnas DMSP e a densidade populacional humana foram também exploradas por Sutton et al. (1997b). Correlações lineares satisfatórias entre população e área de luzes noturnas, foram encontradas para os Estados Unidos, considerando diferentes escalas espaciais e apenas os "clusters" urbanos.

A mesma imagem de luzes noturnas do satélite DMSP/OLS, referente aos Estados Unidos, foi utilizada por Sutton et al. (1997a) para modelar a variação da densidade populacional dentro dos núcleos urbanos. A distância a partir das bordas das áreas urbanas, extraída da imagem DMSP, foi correlacionada com a densidade populacional, considerando diferentes funções de decaimento.

Mais recentemente, dados DMSP/OLS foram utilizados como variável indicativa da distribuição espacial da atividade humana para simular a evolução dos padrões espaciais de atividades sócio-econômicas na China (Plutzer et al., 2000). Utilizando o modelo gravitacional de interações espaciais, e outras variáveis como acessibilidade, densidade populacional, em Sistema de Informação Geográfica os autores simularam alguns padrões de crescimento das luzes noturnas ao longo do tempo. Ressaltam assim a aplicabilidade deste dado para auxiliar no planejamento de infra-estrutura e demanda de energia em escala regional.

No Brasil, imagem DSMP/OLS de luzes noturnas foi utilizada para "caracterizar a dinâmica da presença e da urbanização na Amazônia e criar um mapa das cidades e aglomerações existentes na Amazônia" (Miranda, 1999). Foram detectadas mais de 1300 cidades de pequeno, médio e grande porte, e com dados auxiliares, o total de

áreas com vilas e cidades ultrapassou a 1500. Contudo, não se dispõe de detalhes quanto ao produto e procedimento utilizado sobre a imagem DMSP/OLS para gerar tais resultados.

Considerando as possibilidades de aplicação apresentadas, este capítulo questionou a validade e precisão do uso de imagens DMSP/OLS para a identificar atividades humanas na Amazônia Legal Brasileira, considerando vários aspectos de análise.

Inicialmente, investigou-se a concordância espacial das luzes DMSP/OLS com a localização dos centros urbanos (sedes de município e vilas) através das coordenadas geográficas fornecidas pelo IBGE, e uso de dados auxiliares. Seguiu-se com uma comparação entre estimativas de área urbana estimada pelas luzes DMSP/OLS e obtida através do processamento de imagens TM/Landsat, restringindo-se ao estado do Mato Grosso.

Numa segunda dimensão de análise, as correlações entre os valores do número de pixels de luzes noturnas DMSP/OLS com as variáveis população total, população urbana e consumo de energia elétrica por município foram investigadas.

OBJETIVO

O objetivo específico deste capítulo é avaliar a utilidade e aplicabilidade de imagens DMSP para a detecção de atividades humanas, assentamentos e sítios urbanos na Amazônia Legal Brasileira, considerando os seguintes questionamentos:

- Verificar se as áreas indicadas pela imagem de luzes noturnas correspondem a presença de núcleos urbanos, ou identificar a que atividade ou evento correspondem;
- Verificar se há correspondência entre área da mancha urbana estimada pelas luzes noturnas DMSP e aquela estimada por imagens TM/Landsat;
- Investigar a possibilidade de se estimar população total e urbana a partir das luzes noturnas DMSP.
- Verificar a relação entre o número de pixels referentes às luzes noturnas DMSP e o consumo de energia elétrica para os municípios.

Adicionalmente, espera-se que a descrição da metodologia utilizada e dos resultados obtidos possa elucidar as questões apresentadas e contribuir para o

desenvolvimento do uso das ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento aliadas às técnicas de análise espacial, nas questões aplicadas ao acompanhamento de atividades humanas na região Amazônica.

O capítulo se estrutura da seguinte maneira: uma breve descrição do sistema DMSP/OLS, e o procedimento de geração de imagens mosaico de luzes noturnas; segue-se com o item que apresenta os procedimentos metodológicos adotados para este trabalho e finalmente, os resultados obtidos e a comparação com outras fontes de dados.

Imagens do sistema sensor DMSP/OLS

O Programa de Satélite de Defesa Meteorológico (Defense Meteorological Satellite Program - DMSP) é um programa do Departamento de Defesa Norte Americano, administrado pelo Air Force Space and Missile Systems Center (SMC), que projeta, constrói, lança e mantém vários satélites para monitoramento de meteorologia, oceanografia e ambientes físicos terrestres e solares. Os satélites do programa DMSP tem órbita quase-polar, sol-síncrona com altitude de aproximadamente 830 km. Cada satélite passa até duas vezes por dia sobre um mesmo ponto da superfície terrestre, e possui período orbital de 101 minutos, proporcionando cobertura global a cada 6 horas. Os dados dos satélites DMSP são enviados diariamente para o National Geophysical Data Center (NGDC), Solar Terrestrial Physics Division (STPD) para processamento e geração de produtos. Há dados históricos do sensor OLS desde 1992, do satélite F10, e dados OLS atuais são adquiridos a bordo dos satélites F12, F13 e F14. Maiores detalhes quanto ao programa, satélite, sistema sensor, produtos e disponibilidade de imagens podem ser obtidos em (<http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/dmsp.htm>).

O sistema Operational Linescan System (OLS) adquire imagens globais noturnas e diurnas em duas faixas do espectro eletromagnético - visível e infravermelho termal. A banda do espectro visível (VNIR: 0,4 a 1,1 μm) deste sensor, abrange a porção do infravermelho próximo (0,5 - 0,9 μm), e como seria utilizada para fins de previsão meteorológica, um tubo foto-multiplicador (PMT) aumenta sua sensibilidade em 4 vezes. Este fato traz como consequência adicional a capacidade de detectar "fracas"

fontes emissoras de infravermelho próximo, como por exemplo luzes das cidades, chamas de gás e fogo.

O OLS gera imagens que compreendem aproximadamente 3000 km da superfície, com duas resoluções espaciais possíveis: a resolução plena e a reamostrada. O dado de resolução plena, também chamado de "fine", apresenta-se com 0,56 km de resolução espacial nominal, enquanto que o dado reamostrado, ou "smooth", de resolução nominal de 2,8km, é resultado da gravação da média de blocos de 5 x 5 pixels a bordo do satélite.

O processo de geração de uma imagem de luzes noturnas DMSP/OLS envolve a detecção, feita através da determinação de limiares, e o georreferenciamento das fontes emissoras de infravermelho próximo e de nuvens, a partir de uma série de imagens OLS noturnas. Ressalta-se a imagem noturna do satélite é adquirida aproximadamente entre 20:30 e 21:30hs, horário local.

Um dos produtos gerados pelo NGDC, de interesse neste trabalho, é a imagem-mosaico, resultantes da composição de cenas DMSP/OLS adquiridas em várias datas. Esta imagem permite a eliminação das áreas com cobertura de nuvens e a distinção dos eventos efêmeros, como fogos e relâmpagos, das luzes produzidas por fontes estáveis, como por exemplo aquelas emitidas pelas cidades.

A metodologia para identificar as luzes estáveis das cidades, vilas e pólos industriais é descrita por Elvidge et al. (1997a). São necessários procedimentos para detectar e georreferenciar as fontes emissoras de radiação da porção visível do infravermelho próximo, e analisar a seqüência da série temporal. Este método eliminou os problemas decorrentes do uso de imagens analógicas para mapear luzes das cidades. Utilizando uma única imagem OLS para mapear áreas urbanas por exemplo, problemas de saturação de pixel e crescimento das bordas em função da sensibilidade do sensor, cobertura de nuvens e luzes efêmeras foram frequentemente reportados (Welch, 1980b).

Com as imagens mosaico-digitais, Elvidge et al. (1997a) obtiveram as luzes das cidades norte-americanas, mapeadas em células de 1 km de resolução, a partir da identificação dos focos de luz em pelo menos 10% das observações com ausência de nuvens (de um total de 236 imagens de resolução "smooth"). Um efeito de expansão

das bordas das feições de cidade foi observado e atribuído a geolocalização do pixel, detecção de luzes em subpixel ou ainda difusão da luz pela presença de *fog* ou nuvens tênues. Ressaltam a importância da frequência dos focos de luzes para eliminação do efeito de borda, comprometendo a identificação correta de pequenas cidades.

Com a disponibilização do produto de luzes estáveis, pela NOAA/NGDC (National Oceanic and Atmospheric Administration's National Geoscience Data Center), os problemas das luzes efêmeras e da cobertura de nuvens foram eliminadas da imagem de luzes noturnas DMSP.

Imhoff et al. (1997b) sugerem um algoritmo de limites de integridade espacial, em sistema de informação geográfica, para mapeamento mais restritivo de áreas urbanizadas, na tentativa de reduzir o efeito de saturação de pixel e crescimento das bordas. Basicamente o processo consiste em identificar interativamente o limiar no qual o limite da área urbana é reduzido mas não há divisão do "core" urbano, traduzido pelo aumento súbito do perímetro das áreas urbanas ao reduzir o limiar de classificação urbano/não-urbano. Desta forma, apenas as áreas de luzes identificadas de 89 a 100% do total das imagens utilizadas, foram classificadas como urbanas.

Elvidge et al. (1999) compararam a imagem de luzes DMSP resultante da calibração radiométrica (em radiância) com aquela de luzes estáveis utilizada nos trabalhos anteriores (porcentagem de frequência). A imagem calibrada proporciona detalhes espaciais de brilho, dentro das manchas urbanas. Através desta imagem calibrada evidenciam-se regiões de grande atividade humana (zonas comerciais e industriais) não associadas à residências, permitindo ainda identificar zonas na região metropolitana. Na zona rural, permite detectar locais com população esparsa, da ordem de 16 habitantes por km², apesar de apresentar baixos níveis de luzes difusas em áreas rurais densamente povoadas. Relação linear com população é mais evidenciada ao se tratar da imagem DMSP em radiância (calibrada) ao invés da área iluminada (luzes estáveis). Sugerem que para muitas aplicações as luzes noturnas calibradas podem ser um indicador melhor da atividade humana ou impactos humanos sobre o ambiente que a densidade populacional.

Materiais e Métodos

MUNICÍPIOS E CENTROS URBANOS

Para a espacialização dos municípios e dos centros urbanos da Amazônia Legal Brasileira utilizou-se a malha municipal do IBGE, disponível para o ano de 1997. As informações censitárias de população foram obtidas da contagem populacional de 1996, também do IBGE.

IMAGEM DMSP

Uma imagem de luzes noturnas do Defense Meteorological Satellite Program (DMSP), Operational Linescan System (OLS), referente à região da Amazônia Brasileira, foi utilizada neste trabalho. Esta imagem é resultante do mosaico de 16 cenas do mês de setembro de 1999 (de 02 a 18/09/1999), do qual foram eliminados os registros de radiância efêmeros (como nuvens e queimadas), restando apenas os registros de emissões espacialmente estáveis. Os níveis digitais desta imagem referem-se a porcentagem de frequência da detecção de luz para um dado pixel.

A imagem, originalmente fornecida na projeção "Lat/Long"- WGS 84, e de resolução espacial de aproximadamente 1 km² (0.00833 x 0.00833 graus), foi convertida para a projeção Policônica, de modo a estar compatível com a base de dados existente. Nenhum procedimento de correção geométrica (registro), além da conversão citada, foi realizado sobre a mesma. A imagem é apresentada na Figura 3.1.

O histograma desta imagem (quantizada em 8 bits) revela que a frequência de níveis digitais diferente de 0 inicia-se a partir do nível digital 7. Esta informação fundamentou a primeira binarização da imagem, saturando-a em 0 para valores abaixo do nível digital 7, e em 255 para valores acima de 7. Contudo, comparando-se as manchas urbanas observáveis em imagens TM-Landsat, com aquelas delineadas a partir das luzes DMSP, observou-se que a última indicou áreas urbanas muito mais extensas que a realidade.

Para preservar a identificação correta dos limites dos grandes centros urbanos, evitando-se que as pequenas cidades deixassem de ser detectadas, a literatura sugere um limiar de 89%, acima do qual seriam registrados os centros urbanos (Imhoff et

al., 1997b). Esta metodologia porém foi desenvolvida para um mosaico realizado ao longo de 1 ano (236 imagens), o que aumenta a possibilidade de imagear áreas com cobertura de nuvem e, para este trabalho, a imagem DMSP resulta de um mosaico de poucos dias (16) numa região onde a cobertura de nuvens é frequente.



Figura 3.1 - Imagem DMSP/OLS com realce linear de contraste.

Avaliando-se diferentes limiares de corte em relação às manchas urbanas resultantes, um limiar de 30% foi definido como suficiente para manter o compromisso entre a detecção de pequenas cidades e o "borramento" e a saturação da ocorrência de luzes nos grandes centros urbanos.

A Figura 3.2 a seguir ilustra o efeito dos diferentes limiares na delimitação de regiões urbanizadas a partir da imagem DMSP utilizada.

Observa-se um detalhe da região de Belém, onde os pixels de luz DMSP delimitam uma mancha urbana maior (branco) do que a definida a partir do nível digital 30 (limites em azul).

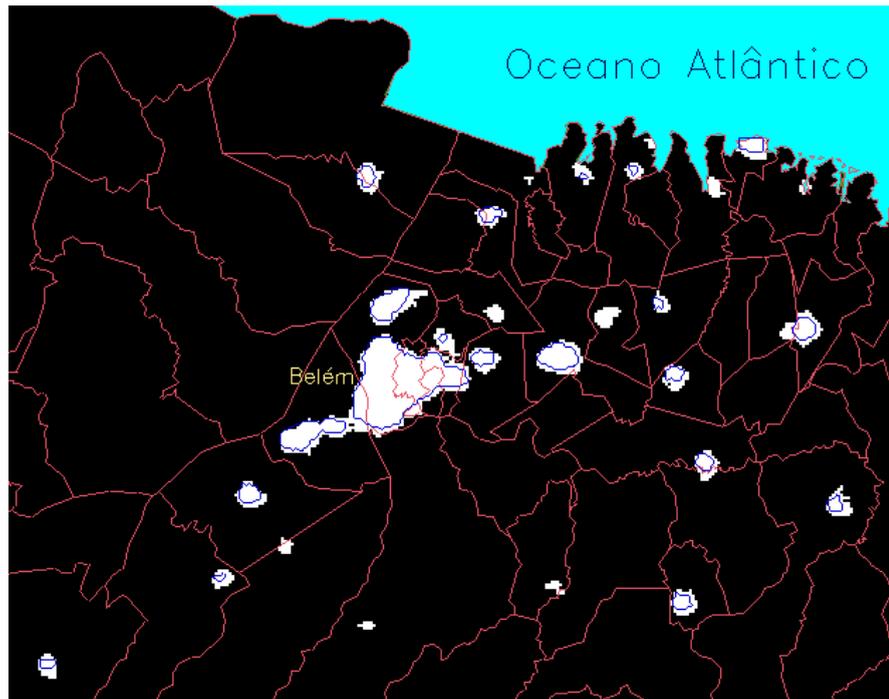


Figura 3.2 - Imagem DMSP/OLS binarizada: em branco, considerando limiar de Nível Digital = 7 e em azul, Nível Digital = 30.

A imagem binarizada foi classificada de modo a disponibilizar um mapa temático com os focos de luzes identificados a partir da imagem DMSP. Este procedimento permitiu a extração de polígonos que descrevem as áreas das localidades de atividade humana que tiveram suas luzes captadas em mais de 30% do total de imagens disponíveis para a região.

BANCO DE DADOS

Utilizando-se a representação dos municípios a partir da malha municipal de 1997 e dos centros urbanos de 1998, um banco de dados geográfico foi estruturado para os 749 municípios da Amazônia Legal. Neste banco, para cada município há um registro que contém, além das informações de censo populacional e de área do município, a área correspondente às luzes noturnas detectadas pelo sensor DMSP.

O cálculo das luzes DMSP por município foi realizado através de técnica de manipulação geográfica, na qual a área dos focos de luz DMSP da imagem classificada é computada por município considerando-se a divisão política como restrição espacial. O resultado deste procedimento é a atualização do atributo "Luzes-DMSP" para cada município do banco de dados.

Dados de consumo de energia elétrica por município também foram incorporados ao banco de dados, sendo estes provenientes das diferentes companhias de eletricidade que abastecem a região amazônica para os estados do Pará, Amazonas, Acre, Amapá e Rondônia. A tabela abaixo ilustra o tipo de dado fornecido pelas companhias de eletricidade.

Desta forma, cada município no banco de dados corresponde a um registro que possui atributos referentes aos dados censitários, aos dados de energia elétrica, com o detalhamento similar ao apresentado na Tabela acima, e com o número de pixels detectados como foco de luz na imagem DMSP.

Tabela 3.1 - Exemplo de dado de energia elétrica, fornecido pelas companhias estaduais, consumo em kWh.

RELATÓRIO DE FATURAMENTO POR MUNICÍPIO										
Empresa: CELPA										ANO: 1999
Município	Sist.	Resid.	Industr.	Comerc.	Rural	Ilum. Pública	P. Público	Serv. Público	Próprio	Total
ABAETETUBA	HIDR	17.029.961	2.237.555	3.936.932	49,06	2.020.896	1.696.873	1.496.516	131.396	28.599.191
ABEL IGUEIREDO	HIDR	1.032.632	772.190	355.073	0	224.781	118.160	17.092	0	2.519.928
ACARÁ	HIDR	1.991.727	195.806	552.986	275	226.423	431.462	324.687	1.700	3.999.831
AFUÁ	TERM	1.494.461	877	360.067	0	111.865	147.401	6.121	10.048	2.130.840

Os focos de luz da imagem DMSP, após a binarização também foram transformados em polígonos e cada foco recebeu uma identificação única, constituindo-se em objetos também armazenados no banco de dados. Este procedimento facilitou a verificação da consistência entre os focos de luz DMSP e o tipo de cobertura correspondente na superfície, bem como o cálculo de população estimada na análise de regressão entre luzes e população.

VERIFICAÇÃO DOS FOCOS DE LUZ DMSP E DADOS AUXILIARES

Alguns dados auxiliares foram decisivos para a verificação dos focos de luz DMSP que não estavam inicialmente associados a nenhuma sede de município. O foco de luz indicava a presença de ocupação humana, mas a localização das sedes, fornecidas pelo IBGE, indicavam regiões sem nenhum indício de ocupação, como áreas de mata contínua ou mesmo corpos d'água.

Os mosaicos de imagens TM/Landsat de 1998 e 1999, a imagem de radar JERS, bem como a imagem de luz DSMP e os limites municipais e estaduais, disponíveis no Mosaico do Brasil (www.dpi.inpe.br/mosaico), permitiram a verificação destes erros, uma vez que as sedes de município IBGE também encontram-se posicionadas no mosaico e apresentavam o mesmo problema de posicionamento. Os focos de luzes DMSP indicavam o local correto das sedes municipais e as imagens possibilitaram a confirmação desta posição.

Esta verificação de consistência dos focos de luzes DMSP trouxe como resultado secundário a atualização e correção da localização geográfica das sedes de município que tiveram suas luzes detectadas e para os quais haviam imagens Landsat disponíveis.

IMAGENS TM/LANDSAT

Imagens do satélite Landsat/TM foram utilizadas como dado auxiliar para a verificação das relações entre focos de luz na imagem DMSP e a extensão da mancha urbana. Estas imagens permitem a distinção clara das manchas urbanas, tanto pelo detalhe, fornecido pela resolução espacial de 30m, quanto pela separabilidade espectral de áreas urbanas, facilmente discerníveis com o uso da banda TM-3, referente ao comprimento de onda do vermelho (0.63 μm a 0.69 μm), na faixa visível do espectro eletromagnético.

A ausência de imagens no banco de dados para cobertura de todos os municípios do Pará impossibilitou que esta análise fosse realizada para este estado. O estado do Mato Grosso foi o eleito, uma vez que todas as imagens estavam disponíveis e o estado possui um grande número de municípios (118), o que garante a representatividade estatística da análise.

Desta forma, as imagens referentes ao estado do Mato Grosso, banda TM-3 do satélite Landsat5, referentes à época seca do ano de 1999 (várias datas), foram registradas para projeção Policônica, de acordo com a base de dados existente. Dentre as técnicas de processamento de imagem, realizou-se apenas um realce linear de contraste para evidenciar as manchas urbanas.

A extração das manchas urbanas foi feita diretamente sobre a imagem digital, através de interpretação visual da banda 3. Esta interpretação foi orientada pela localização dos centros urbanos fornecida pelo IBGE e utilizou como dado auxiliar a imagem Landsat de 1999, composição colorida TM3, TM4 e TM5, nos canais azul, verde e vermelho respectivamente, do mosaico do Brasil (www.dpi.inpe.br/mosaico).

Assim sendo, para cada município, um polígono referente à mancha urbana foi definido, e o valor de área da mancha urbana, calculado automaticamente pelo SIG, tornou-se mais um atributo do município na estrutura do banco de dados para ser comparado a área dos focos de luz DMSP, também armazenada como atributos no banco de dados.

Resultados

DETECÇÃO DE FOCOS DE LUZ DMSP E LOCALIZAÇÃO DAS SEDES DE MUNICÍPIOS

Para a imagem DMSP que foi binarizada a partir do nível digital (ND) 7, foram encontrados 560 focos de luz na Amazônia Legal, e apenas 261 focos, considerando-se o limiar de ND maior que 30.

Uma análise visual preliminar da correspondência espacial entre os centros urbanos e as áreas das luzes da imagem DMSP indicou uma adequada sobreposição espacial dos dados, conforme ilustra a Figura 3.3. Nesta, verifica-se o mesmo detalhe da Figura 3.2, com as posições das sedes de municípios fornecidas pelo IBGE sobrepostas. Visualmente, observa-se que a maioria das manchas de luz contém um centro urbano correspondente.

Conforme citado anteriormente, nenhuma transformação de geometria foi realizada sobre a imagem DMSP para que as feições da base cartográfica e a imagem fossem perfeitamente ajustadas. Desta forma, definiu-se como focos de luz válidos não somente aqueles que continham os centros urbanos, de posição geográfica (latitude e longitude) fornecida pelo IBGE, mas também os focos de luz que encontravam-se a menos de 5km dos centros urbanos.

Dos 261 focos de luz DMSP identificados, 149 contém os centros urbanos IBGE e 64 estão a menos de 5km dos centros, somando um total de 213 focos coincidentes

com os centros urbanos. Dos 261 focos de luz, 48 focos não corresponderam à restrição espacial proposta - conter centros ou estar a menos de 5 km de um centro urbano. Utilizando-se do mosaico de imagens TM/Landsat de 1999, disponível para grande parte da Amazônia Legal, estes focos foram então verificados se correspondiam a algum alvo que emitisse luzes noturnas. O resultado desta análise encontra-se resumido na Tabela 3.2 a seguir.

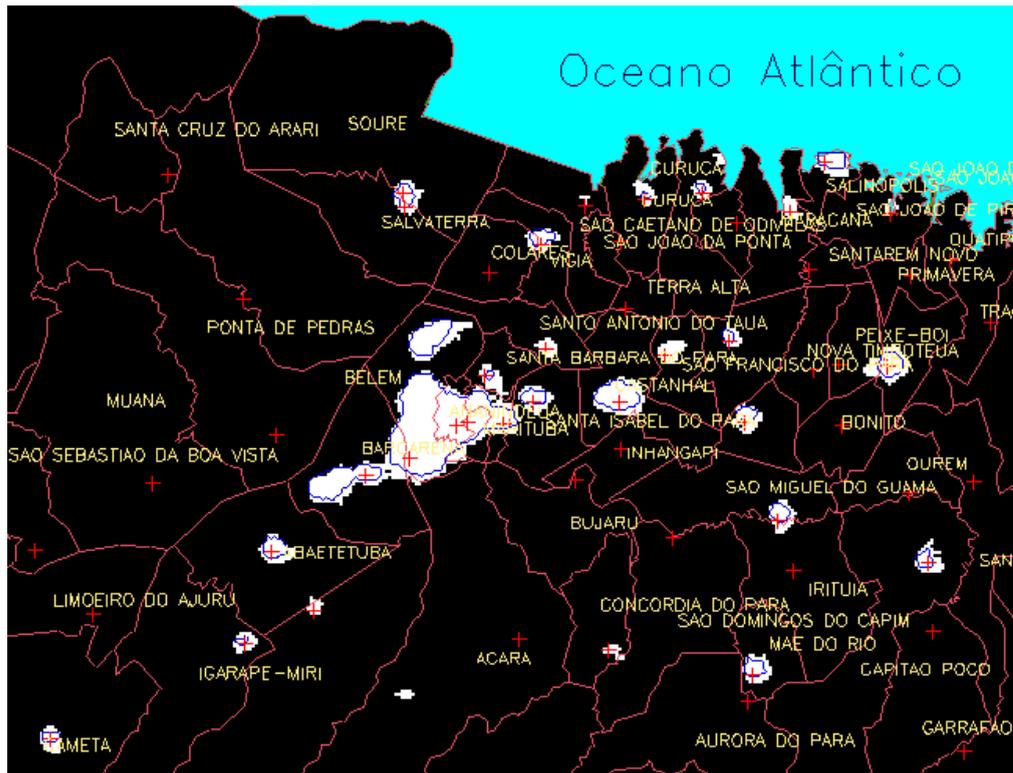


Figura 3.3 - Imagem DMSP e sedes de municípios (cruces vermelhas) sobrepostas.

Estes resultados garantem que a detecção de luzes a partir de imagens DMSP está associada à presença da atividade humana, mesmo em locais aos quais não se pode atribuir uma população residente, as luzes estão indicando uma atividade que requer infra-estrutura, como mineração ou pólo petroquímico.

Durante o procedimento para gerar o mosaico de imagem DSMP alguns efeitos são introduzidos na imagem, o que pode comprometer a análise comparativa dos focos de luz com outros dados. Como estes efeitos não são facilmente eliminados e estão presentes na imagem utilizada, apresenta-se a seguir uma descrição dos mesmos.

Tabela 3.2 - Descrição dos focos de luz DMSP não coincidentes com centros urbanos.

Descrição - observado no mosaico TM/Landsat	Nº de focos
Assentamentos urbanos Vilas/povoados não discriminados pelo IBGE	9
Vilas reconhecidas - IBGE	3
Núcleos urbanos próximos a grandes centros	4
Vilas próximas à barragens	2
Áreas de mineração/garimpo	3
Pólo Petroquímico/similar (URUCU-AM)	1
Erro de localização dos Centros Urbanos nos dados fornecidos pelo IBGE	16
Impossibilitados de verificação - Ausência de imagens TM/Landsat ou JERS	7
Fora dos Limites da Amazônia Legal	3

Expansão de bordas - como a imagem mosaico resulta de várias cenas de diferentes datas, a localização geográfica dos pixels de borda pode ter variações de uma cena para outra ocasionando a expansão do limite real do foco de luz, aumentando cidades pequenas e expandindo as bordas de cidades grandes (Figura 3.4).

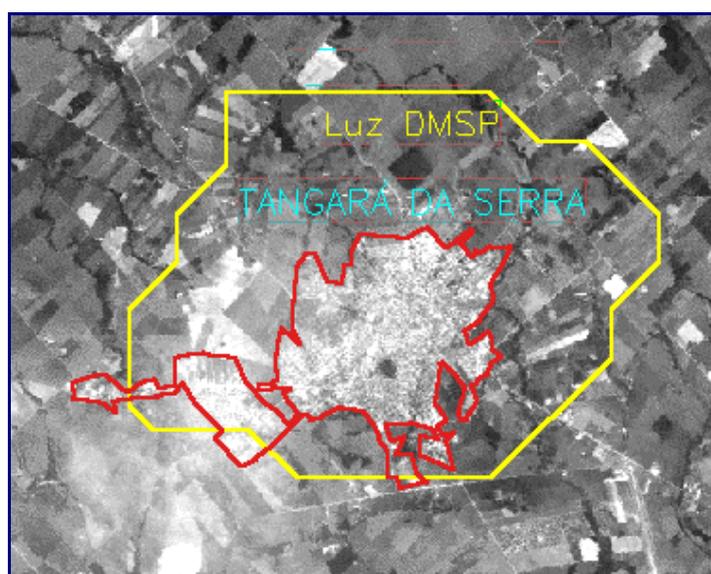


Figura 3.4 - Efeito da expansão de bordas do foco de luz DMSP no limite da área urbana.

Contaminação - fontes luminosas próximas podem ser unidas pelo efeito do mosaico, e eventualmente apresentar focos maiores dos que o seriam identificados se estivessem mais distantes (Figura 3.5).

Deste efeito resulta a verificação de focos únicos que representam dois ou mais municípios, principalmente nas regiões metropolitanas, num fenômeno semelhante

à conurbação. A Serra dos Carajás é um exemplo onde o foco de luz da vila é contaminado pela mina de ferro, muito iluminada e próxima a vila.

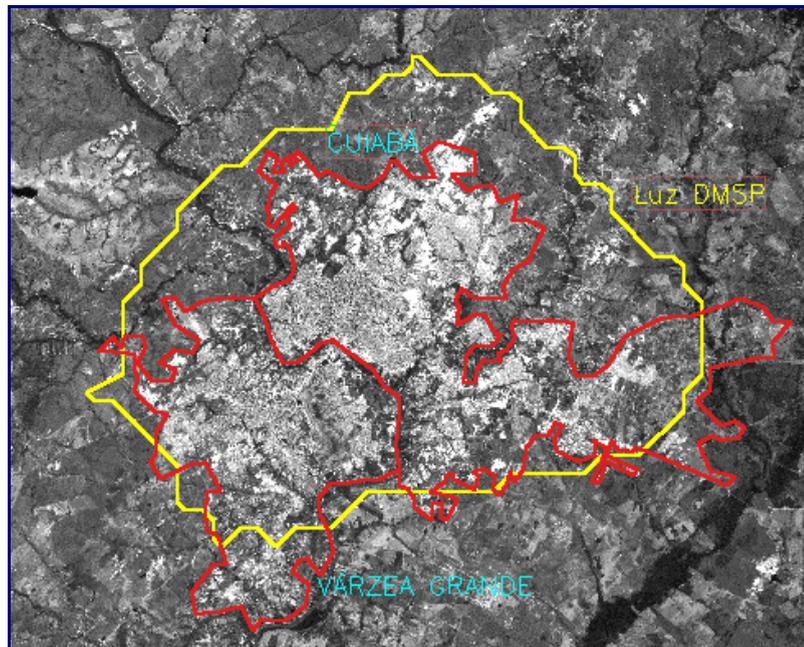


Figura 3.5 - Efeito da contaminação de luzes DMSP e conurbação.

Borramento - margens de rios/mares - focos de luz próximos a margens de rios ou na costa, definem uma fronteira abrupta entre as luzes, intensas na orla, e a água, que não deveria ter foco de luz detectado. Estas feições configuram um padrão diferente daquele concêntrico normalmente observado em cidades por exemplo. Nestes casos, a imagem DMSP tende a superestimar a área de luz para estas fontes emissoras, conforme apresentado na Figura 3.6.

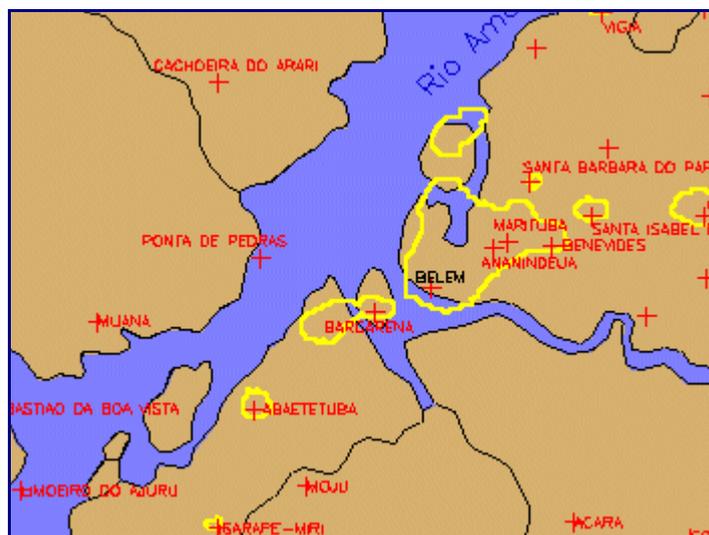


Figura 3.6 - Efeito de "Borramento" do foco de luz DMSP - margens dos rios.

Todos estes efeitos devem ser considerados ao se utilizar imagens DMSP, uma vez que podem mascarar os resultados provenientes dos focos de luz.

ÁREA DA MANCHA URBANA E FOCOS DE LUZ DMSP/OLS

Conforme descrito na metodologia, a análise a seguir refere-se à área das manchas urbanas dos municípios do Mato Grosso, identificadas à partir da banda TM3 do satélite Landsat, que tiveram focos de luz identificados na imagem DMSP.

Dos 118 municípios do estado do Mato Grosso, 56 deles apresentaram focos de luzes DMSP, com o limiar de nível digital utilizado (30) para binarização. O resultado da comparação de área pode ser observado na Figura 3.7, onde se evidencia a relação linear entre a área urbana e os focos de luz DMSP, com $R^2 = 0,91$.

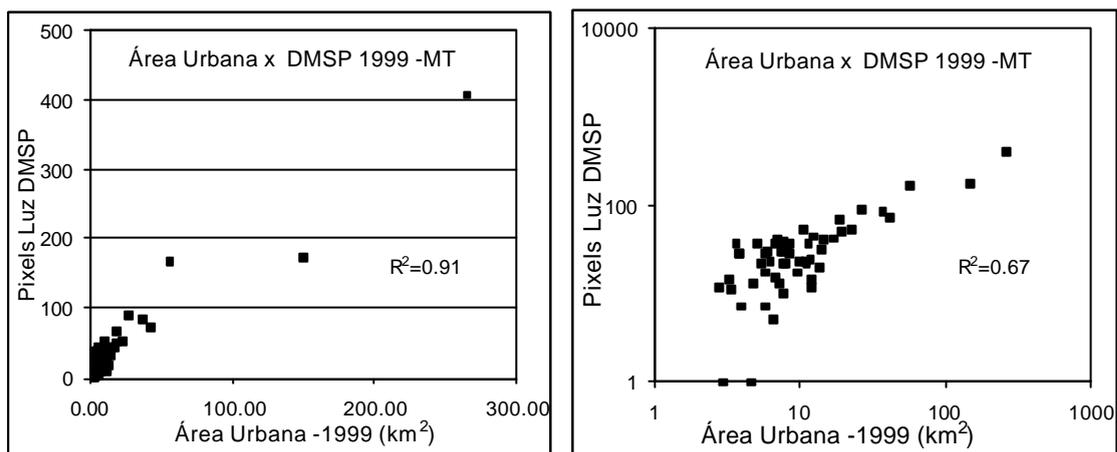


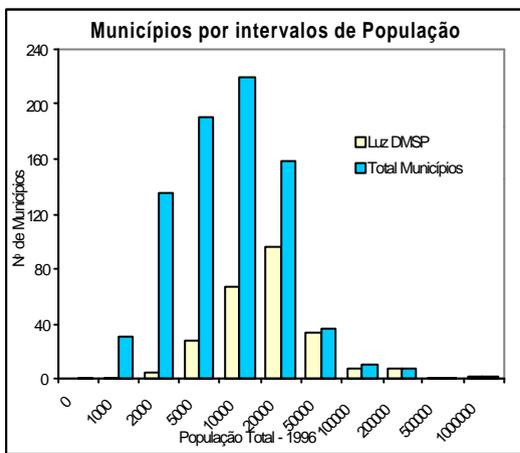
Figura 3.7 - Relação entre área da mancha urbana e luzes noturnas DMSP.

Este resultado confirma a hipótese de que a presença de luzes noturnas, detectadas pelo sistema DMSP encontra-se diretamente relacionada com a extensão da mancha urbana, uma vez que dificilmente na zona rural, a presença de luzes seria tão intensa em potência ou extensa em área ocupada para sensibilizar um pixel de 1km na imagem.

Desta forma, pode-se então inferir que os focos de luz referentes a assentamentos humanos ou cidades contém dimensão (área) proporcionais à área de infra-estrutura urbana, tais como arruamento, casas e construções civis que emitem luz.

POPULAÇÃO RESIDENTE E LUZES NOTURNAS DMSP

Analisando-se sobre a ótica dos municípios, dos 749 da Amazônia Legal, 186 municípios estão contidos nos focos de luz e 62 estão a menos de 5km dos focos, perfazendo um total de 248 municípios detectados pelas luzes do sistema DMSP. A tabela abaixo apresenta a distribuição dos municípios da Amazônia Legal de acordo com intervalos de população total. Observa-se que a partir da classe 2.000-5.000 habitantes, o município pode ser detectado através da imagem DMSP. Porém, apenas a partir de 100.000 habitantes, todas os municípios foram detectados na imagem DMSP. Municípios com população entre 5.000 e 100.000 foram parcialmente detectados corretamente nas imagens DMSP.



População 1996	Número de Municípios	
	Total AmzL	Luz DMSP
0 - 2000	32	1
2.000 - 5.000	133	5
5.000 - 10.000	180	28
10.000 - 20.000	206	67
20.000 - 50.000	145	96
50.000 - 100.000	36	34
100.000 - 200.000	7	7
200.000 - 500.000	7	7
500.000 - 1.000.000	1	1
> 1.000.000	2	2
Total Municípios	749	248

Figura 3.8 - Frequência de Municípios da Amazônia Legal e municípios que apresentaram luzes noturnas DMSP, por intervalos de População Total - 1996.

Deste resultado, obtém-se 544 municípios cujos centros urbanos não foram detectados pela imagem DMSP utilizada. Destes 501 centros urbanos, o município mais populoso, Santa Luzia no Maranhão, contém 53.287 habitantes, sendo 19.450 habitantes na área urbana. Observa-se que não há imagem TM/Landsat referente a este município, o que indica forte cobertura de nuvens o ano todo. Alta Floresta (MT) foi o município de maior população urbana, 35.053 habitantes urbanos do total de 42.852, que não teve suas luzes detectadas pela imagem DMSP. Esta região sofre anualmente com as queimadas e freqüentemente tem seu aeroporto fechado nesta época do ano pela ausência de visibilidade, o que poderia ter impedido a detecção das luzes noturnas. Utilizando-se uma limiar de binarização no nível digital

7 para a mesma imagem DMSP, as luzes da cidade foram detectadas, o que contribui para comprovar esta teoria.

Ainda deste total de 501 municípios sem focos de luz DMSP, apenas 25 deles possuem população urbana maior que 10.000 habitantes, e com exceção de Alta Floresta e Rosário do Oeste no Mato Grosso, os demais municípios encontram-se nas regiões mais ao norte, nos estados do Acre, Amapá, Pará e Maranhão onde a cobertura de nuvens é mais freqüente.

Por sua vez, dentre os 248 municípios com registro de luzes DMSP, o que apresentou menor população urbana - 1095 habitantes, foi Paço do Lumiar (MA), que define uma "mancha urbana" com São José do Ribamar e São Luís, decorrente de uma "conurbação" destas sedes de município.

A cidade de menor população urbana, detectada independentemente de outro centro foi Alto Alegre (RR) que possui 3.292 habitantes na área urbana.

A relação entre os focos de luz DMSP e os valores de população total e população urbana dos municípios para os quais foram identificados focos de luzes noturnas DMSP, são apresentadas nas Figuras 3.9 e 3.10 respectivamente.

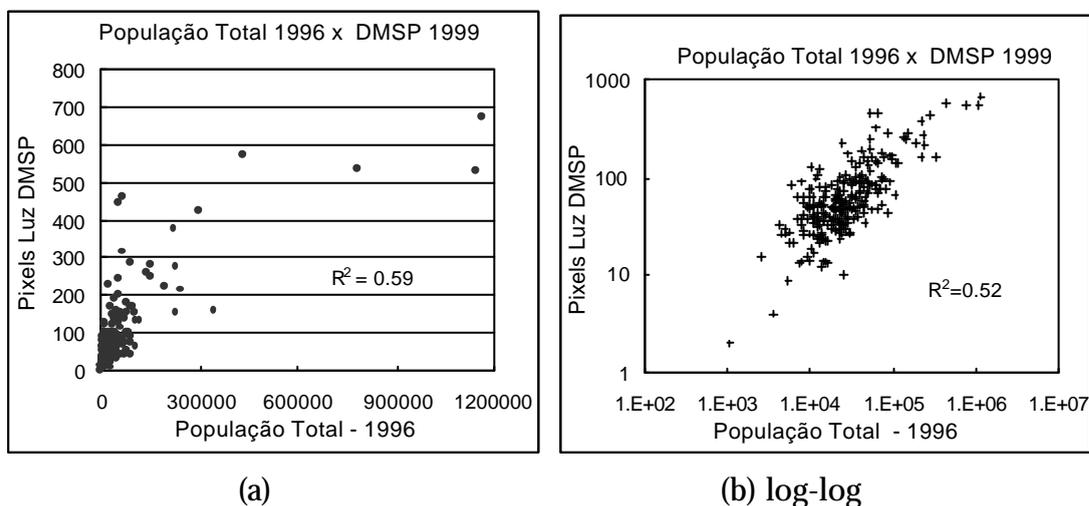


Figura 3.9 - População Total contra pixel de luz DMSP por município.

O número de pixels de luzes noturnas DMSP não se mostrou linearmente relacionado com os valores de população total ($R^2=0,59$) e tão pouco com população urbana ($R^2=0,6$). Dois fatores contribuem para este resultado: a grande variabilidade dos dados, para os municípios de população urbana menores que

200.000 habitantes (ou população total menor 300.000); e pelo efeito de "saturação" do número de pixels DMSP para municípios de população urbana maiores que 400.000 habitantes. A transformação dos dados para escala logarítmica comprova a heterocedasticidade dos valores de população em relação ao número de pixels DMSP de luzes noturnas detectados.

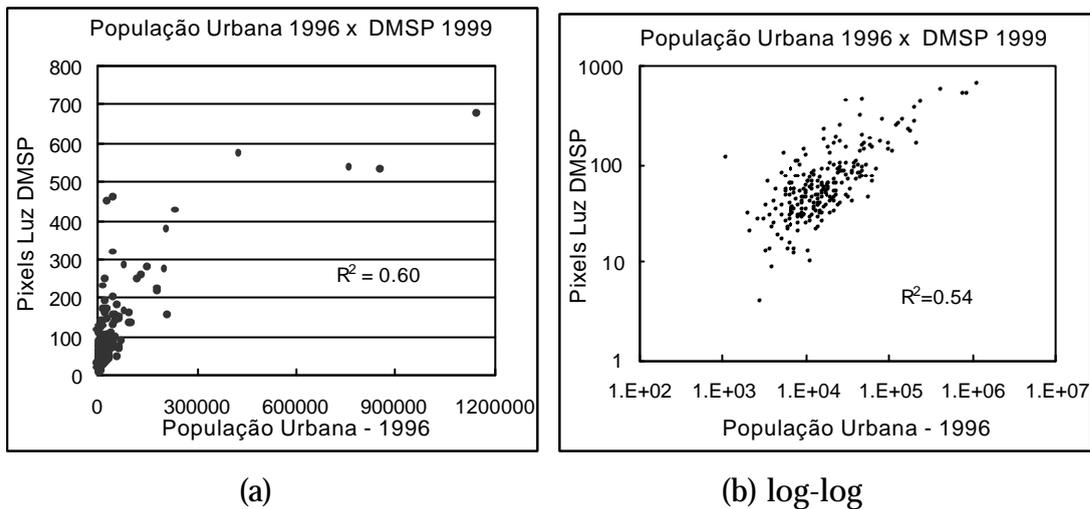


Figura 3.10 - População Urbana contra pixel de luz DMSP por município.

O efeito de grande dispersão dos dados pode ser melhor observado na Figura 3.11, onde apenas os municípios de população urbana menores que 200.000 habitantes são apresentados. Ressalta-se ainda que a relação linear neste caso torna-se praticamente inexistente.

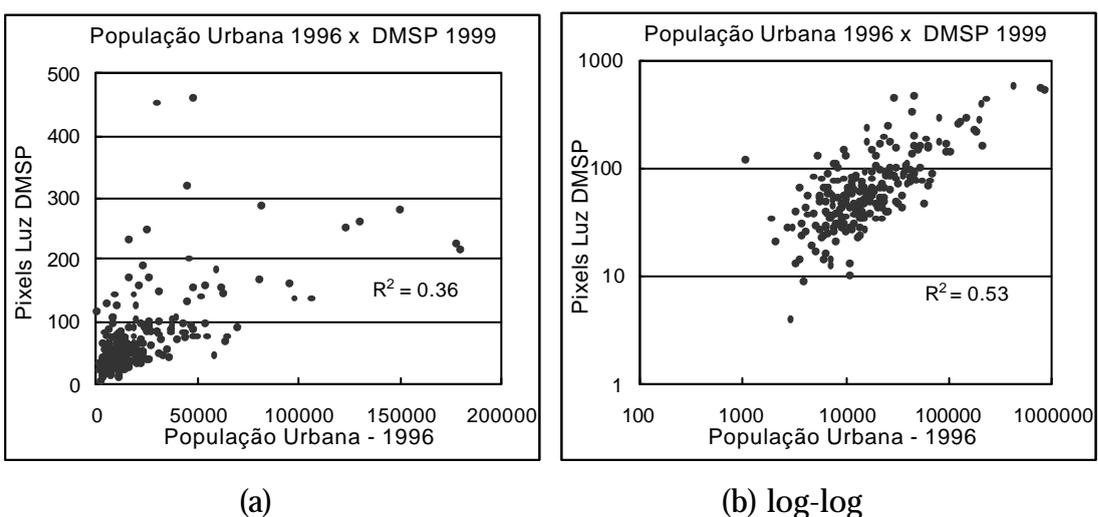


Figura 3.11 - População Urbana menor que 200000 habitantes e pixel de luz DMSP por município.

Desta análise geral, partiu-se para uma investigação mais criteriosa, restringindo-se a área de estudo ao estado do Pará, que contém 142 municípios dos quais 54 registraram focos de luz DMSP. As relações entre população total e os pixels DMSP registrados podem ser observadas na Figura 3.12.

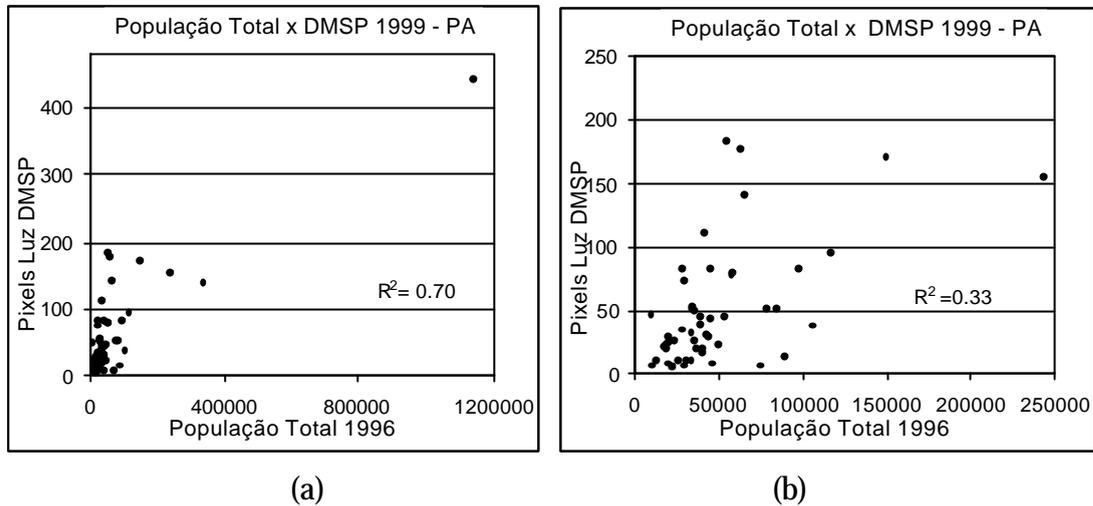


Figura 3.12 - População Total e pixels DMSP por município com luz DMSP no Pará: (a) para todos os municípios, (b) excluindo-se Belém.

A mesma tendência geral observada para a Amazônia Legal mantém-se ao analisar o estado do Pará. Contudo, ao se verificar os pontos extremos de dispersão, verificou-se dois grupos de "outliers": o primeiro refere-se aos municípios onde o número de pixels DMSP ou seja, a área do foco de luz detectada é muito superior à população correspondente. Neste caso incluem-se os municípios de Belém, Ananindeua, Bacarena, Paragominas e Parauapebas que ou apresentam áreas conurbadas com outros centros urbanos, ou referem-se a áreas de mineração/garimpo que são iluminadas.

O segundo grupo de "outliers" referem-se aos municípios onde há muito menos registro de luz que população. Estes municípios, observados nos dados auxiliares utilizados (mosaico TM/Landsat e JERS), constituem dúvidas, uma vez que em alguns casos praticamente não se identificou áreas urbanas, questiona-se se estes não seriam casos de população dispersa ao longo de rios, são exemplos: Oriximiná, Breves, Cametá e Abaetetuba.

Assim sendo, considerando estes municípios casos extremos ("outliers") difíceis de serem analisados com o conjunto, estes foram eliminados, e os resultados podem ser observados na Figura 3.13.

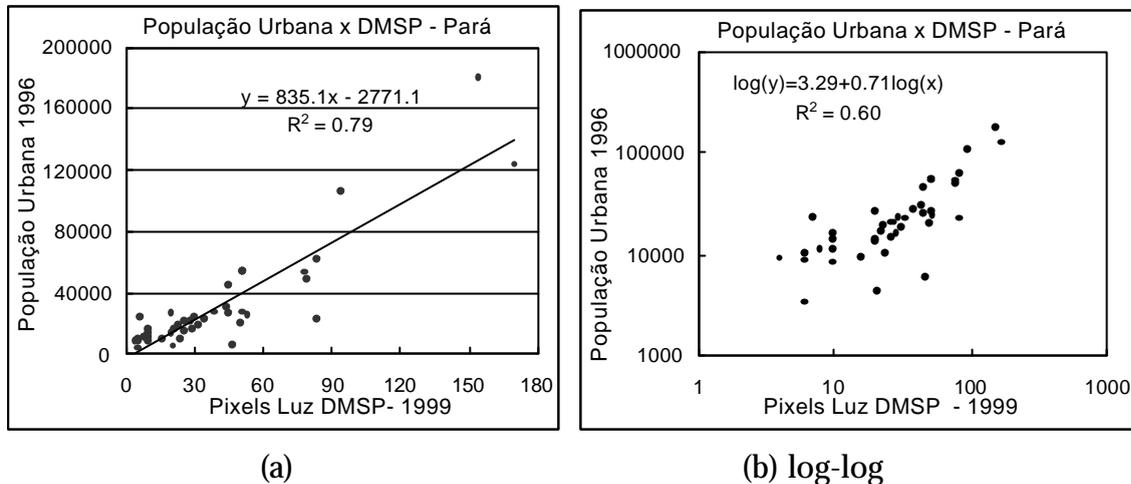


Figura 3.13 - População Urbana e pixels DMSP por município com luz DMSP no Pará sem "outliers".

Observa-se que a exclusão dos municípios considerados "outliers" permitiu a definição de uma relação linear entre população urbana e as luzes da imagem DMSP com $R^2 = 0,79$, e uma relação logarítmica com $R^2 = 0,60$. Este resultado é compatível com o obtido por Elvidge et al. (1997b), que encontrou $R^2 = 0,85$ para uma relação log-log entre população e luzes noturnas DMSP, ao trabalhar em escala mais global considerando 21 países,.

Considerando o modelo de relação linear obtido um resultado satisfatório, procedeu-se um exercício de estimar as populações urbanas para localidades onde foi registrada a ocorrência de foco de luz DMSP e para os quais não se dispunham de informações de população a priori.

Para a vila de Lourenço (AP), a regressão linear estimou uma população de 1.100 habitantes. Através de "testemunhas-chaves" da prefeitura de Calçoene (município que compreende a vila), obteve-se a informação de 1.203 residentes.

Para a vila de Mosqueiro (PA), a regressão calculou inicialmente 72.388 habitantes, porém a vila encontra-se às margens do rio Amazonas, o que faz com que o foco de luz seja superestimado através do efeito de "borramento" extrapolando o foco de luz para dentro do leito do rio. Corrigindo este efeito através da redução do foco pela

metade, a população urbana estimada é de 34.808, compatível com o que foi informado pela prefeitura de Belém - 30.000 habitantes aproximadamente.

Para a vila Ligação (PA), no limite entre os municípios de Dom Eliseu e Ulianópolis, a população estimada pela regressão foi de 11.100 habitantes, por sua vez, a informação obtida junto a prefeitura de Dom Eliseu é de 6.355 habitantes para o ano de 1995.

Para o município de Parauapebas, o total de luzes observado corresponderia a uma população de 144.200 habitantes urbanos, contudo, esta população estaria distribuída em 3 focos - o da área urbana efetivamente, que estimaria 48.690 habitantes, outro referente à vila da Serra dos Carajás e à mina de ferro, de 81.260 habitantes, e o menor deles, referente a mineração de ouro (6.936 habitantes estimados). A população urbana na sede do município é de 45.649 habitantes na contagem populacional de 1996 (contabilizada em 59.148 habitantes no censo de 2000), valor próximo ao estimado pela regressão. Contudo os valores de população para os outros dois focos são irrealistas. A companhia Vale do Rio Doce que explora as minas em Parauapebas informou que a vila de Serra dos Carajás foi construída para suportar uma população de 7.000 habitantes, e esta vila corresponde a apenas uma parte da luz registrada em um grande foco na imagem DMSP que também engloba a mina de ferro - a maior e mais iluminada da região. O foco de luz da mineração de ouro não pode ser associado à população uma vez que não há residência (casas/vilas) oficial da companhia nesta região, apenas a iluminação própria da mina.

Para o município de Oriximiná foram identificados três focos de luz: um referente a sede do município, e outros dois para os quais não haviam imagens TM/Landsat, apenas imagem do radar JERS para se investigar a fonte de luz. Para a sede do município as luzes DMSP estimariam através da regressão proposta, uma população urbana de 23.638 habitantes, o IBGE divulgou 23.540 habitantes na zona urbana em 1996 (29.171 habitantes no censo de 2000), o que pode-se considerar uma boa aproximação.

A prefeitura do município de Oriximiná informou que a Mineração Rio do Norte é a responsável pela vila de Porto de Trombetas, situada às margens do rio

Trombetas, que constitui o segundo foco de luz. Esta vila foi planejada para suportar até 6.500 habitantes, e atualmente contém 5.500 residentes. O foco de luz DMSP, através da regressão linear superestimou a população em 26.979 habitantes. Contudo, dois fatores podem ser questionados: a vila encontra-se às margens do rio Trombetas, o que nos remete ao problema da "extrapolação" da luz para a água, descrito anteriormente para Mosqueiro e soube-se que a estrada que liga a mina à vila é intensamente iluminada, o que pode ter contribuído para ampliar o foco de luz da vila.

O outro foco de luz, no município de Oriximiná, situa-se no interior da floresta e corresponde à área de mineração da Companhia Rio do Norte, constituída por duas frentes de lavra: Saracai e Papagaio para exploração de bauxita, distantes 9 km uma da outra. Estas frentes são intensamente iluminadas por holofotes em função do trabalho contínuo de 24hs por dia. O foco de luz da imagem DMSP calcularia uma população de 32.825 habitantes, o que não reflete a realidade, uma vez que não há população residente, apenas iluminação da mina, semelhante ao observado para as minas do município de Parauapebas.

Outro foco de luz analisado, próximo à barragem de Tucuruí, refere-se à Vila de Tucuruí, no município de Breu Branco, e teve a população estimada em 16.123 habitantes através da regressão, e a informação obtida junto à Eletronorte é de uma população de aproximadamente 14.000 habitantes. Acrescenta-se também o fato de próximo à vila estarem sendo utilizadas lâmpadas de alta potência para iluminação do canteiro de obras que poderiam estar contribuindo para aumentar o foco de luz.

Estes resultados indicaram que a regressão linear é uma aproximação razoável para estimativa de população, mesmo utilizando o modelo obtido para o estado do Pará e aplicando-o para uma vila no Amapá (Lourenço), e fazendo-se algumas correções para centros urbanos cujo padrão difere em muito do concêntrico, caso comum na região pela presença de cidades às margens de rios.

A presença de focos de luz para a região Amazônica, mais do que uma variável potencial para estimar população, deve ser considerada uma variável indicadora de atividade humana, sejam estas vilas, povoados, ou atividades que demandam infraestrutura, como as minas e canteiros de obras detectados.

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E FOCOS DE LUZ DMSP

Ao interpretar os focos de luzes detectados através da imagem DMSP, naturalmente questiona-se se destas informações poderiam se obter dados derivados como o consumo de energia elétrica para os municípios. Pela disponibilidade atual de dados apenas ao estado do Pará, da mesma forma como na análise anterior, restringiu-se a análise apenas para este estado.

Inicialmente verificou-se a relação entre população e o consumo de energia para cada município, excluindo-se do total, o consumo do setor industrial (Figura 3.14). Os dados estão em kWh, referem-se ao ano de 1999 e foram cedidos pela CELPA (Centrais Elétricas do Pará).

O gráfico sugere uma tendência linear entre o consumo de energia elétrica e a população residente nos municípios ($R^2 = 0,91$). Se os valores de luzes e consumo de energia elétrica para Belém fossem incluídos, a relação linear teria um $R^2 = 0,96$. Este fato, adicionado aos resultados de possível relação linear entre luzes DMSP e população urbana, motivou a exploração de possíveis relações entre as dimensões dos focos de luz registrados nas imagens DMSP e o consumo de energia elétrica dos municípios.

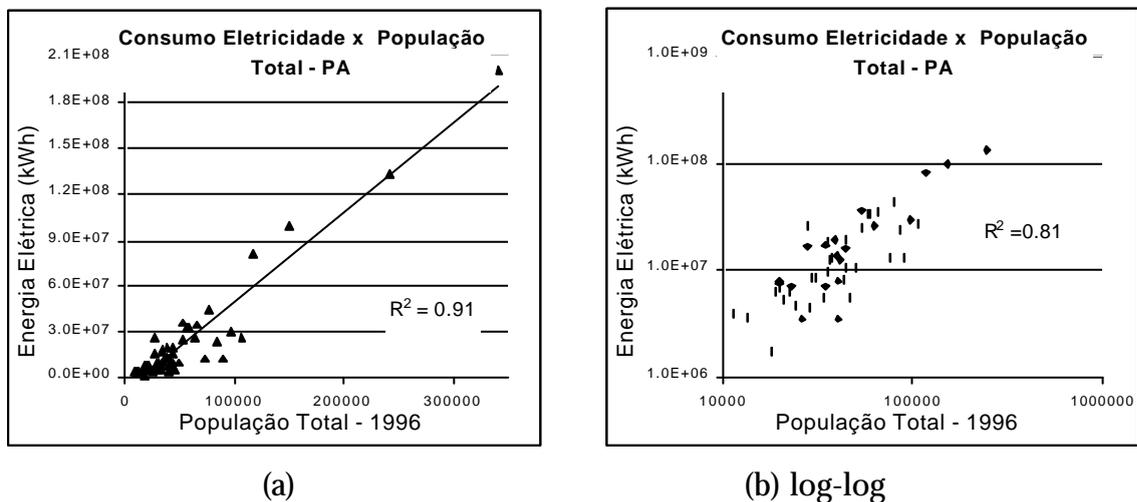


Figura 3.14 - Consumo de Energia Elétrica total(kWh) para 1999, excluindo-se o consumo Industrial, contra População total - 1996 para os municípios do Pará, excluindo-se Belém.

As luzes detectadas pelo sensor OLS/DMSP podem ser comparadas àquelas observáveis pela visão humana durante um vôo noturno, de onde se postulou que

os focos de luz DMSP poderiam estar associados à iluminação das ruas, iluminação externa de residências, estacionamentos, e centros comerciais. Assim sendo, a primeira relação explorada foi entre dimensão dos focos de luz na imagem DMSP, obtida através do número de pixels sensibilizados, e o consumo de energia da Iluminação Pública e Comercial, apresentado na Figura 3.15.

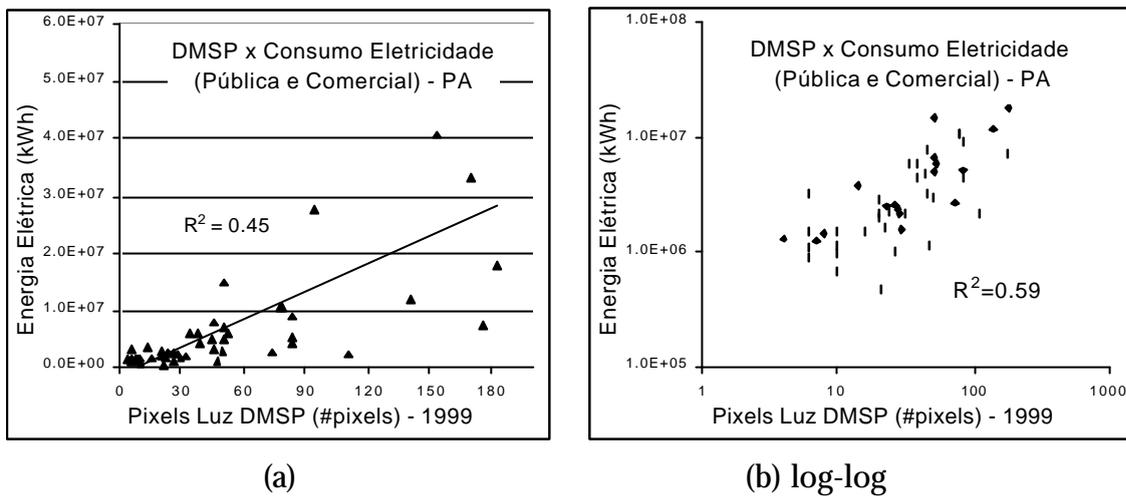


Figura 3.15 - Energia Elétrica gasta em Iluminação Pública e Comercial (kWh) - 1999 e número de pixels de luzes DMSP para os municípios do Pará, excluindo-se Belém.

O consumo de energia elétrica em iluminação pública e comercial não se mostrou relacionado com os pixels de luz DMSP, devido principalmente à dispersão observada nos dados para os municípios com área de luz DMSP maiores que 100 pixels. Contudo, eliminando-se os mesmos municípios que foram considerados "outliers" na relação entre população urbana e luzes DMSP, os dados de energia elétrica mostram-se correlacionados com os focos de luz DMSP, como apresenta a Figura 3.16.

Observa-se assim que é possível inferir o consumo de energia elétrica a partir da detecção dos pixels de luz na imagem DMSP, desde que algumas considerações iniciais sejam feitas para eliminar os casos anômalos. Do mesmo modo, a inferência do consumo de energia total torna-se viável com a eliminação destes "outliers", como mostra a Figura 3.17.

Estes resultados podem ser comparáveis aos obtidos por Elvidge et al. (1997b), que encontraram um melhor ajuste ($R^2 = 0.96$) com modelo logarítmico entre consumo

de energia elétrica e número de pixels de luzes noturnas DMSP, para 21 países. Deve-se ressaltar a diferença de escala de trabalho, enquanto o autor utilizou dados agregados por país, neste trabalho foram computados valores para a escala mais detalhada possível, ou seja, municípios.

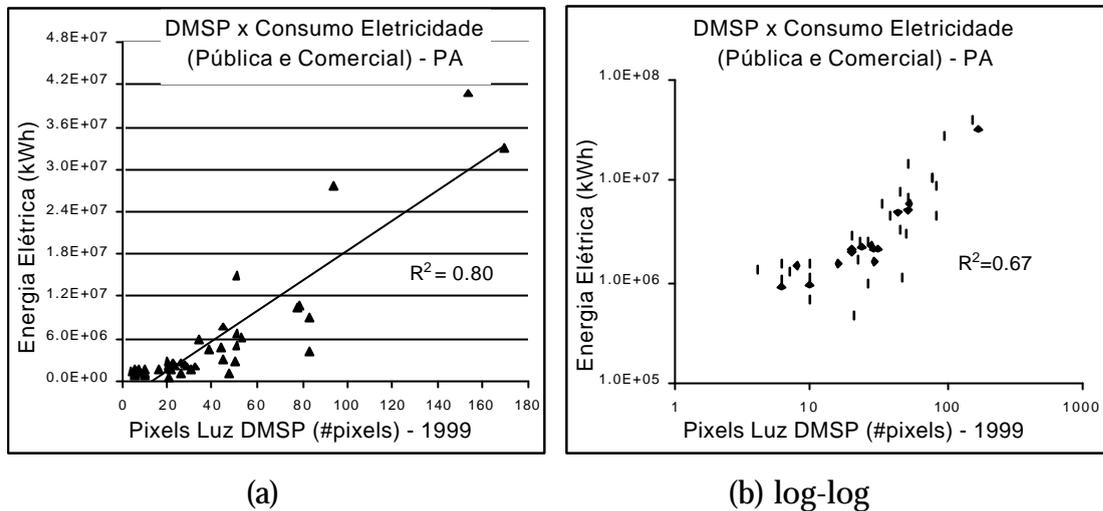


Figura 3.16 - Energia Elétrica - Iluminação Pública e Comercial e número de pixels de luzes DMSP para os municípios do Pará, eliminando-se "outliers".

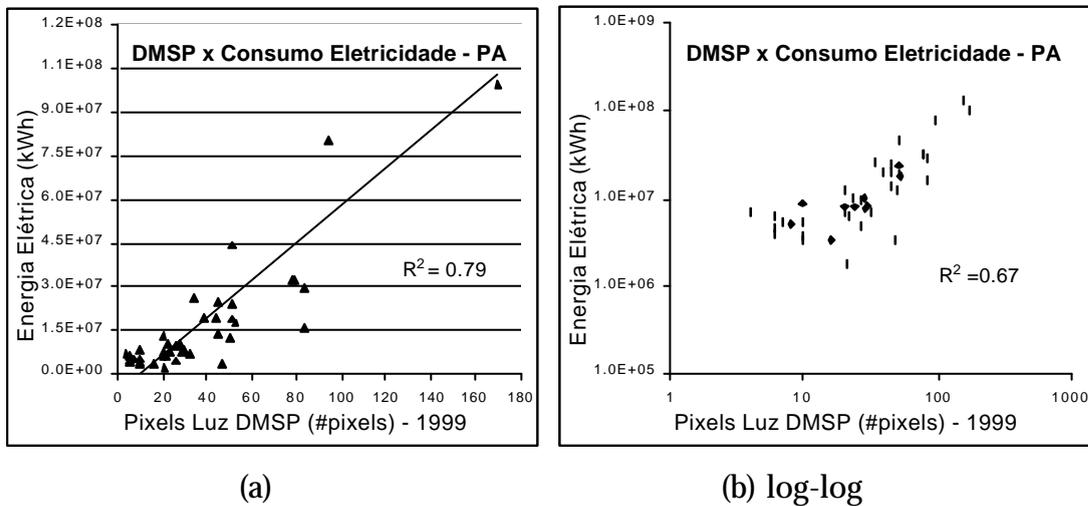


Figura 3.17 - Energia Elétrica Total em relação ao número de pixels de luzes DMSP para os municípios do Pará, eliminando-se "outliers".

Por sua vez, Sutton et al. (1997) ajustaram pixels de luzes noturnas DMSP para agrupamentos de áreas urbanas para todo Estados Unidos, obtendo bons resultados tanto com o modelo linear ($R^2=0.84$) quanto exponencial ($R^2=0.93$). Neste caso, as diferenças podem ser atribuídas às diferenças social e econômica significantes entre os assentamentos urbanos nos EUA e na Amazônia.

Considerações do capítulo

Os resultados aqui obtidos indicam que os focos de luz noturnas presentes nas imagens DMSP podem ser considerados um elemento consistente para construção de proxies ou de uma variável que descreva a presença da atividade humana na região Amazônica. A ocorrência de focos de luz indica com precisão a existência de atividades que demandam energia elétrica como infra-estrutura, sejam núcleos urbanos, canteiros de obras ou minerações e está diretamente relacionada com a área dos centros urbanos.

O diagnóstico de população urbana a partir destes focos, é factível desde que os municípios que contenham mais de um foco de luz e que se configurem como "outliers" sejam filtrados, obtendo-se regressões com R^2 da ordem de 0,8. Estes resultados são semelhantes aos obtidos para os Estados Unidos com imagem DMSP resultantes de mosaico de 236 imagens, e resolução "smooth".

Sítios urbanos a partir de 1.000 habitantes podem ser detectados, mas apenas aqueles com população a partir de 100.000 habitantes foram todos registrados com a imagem disponível. Ressalta-se que a região amazônica tem porções caracterizadas por cobertura constante de nuvem, e a imagem refere-se a poucos dias na estação seca e de queimadas na região.

Da mesma maneira que o obtido para população, a inferência do consumo, ou demanda de energia pode ser obtido a partir dos focos de luz da imagem DMSP, desde que os casos anômalos sejam filtrados, com ajuste linear de R^2 da ordem de 0,8. Os focos de luz DMSP seriam dados alternativos para estimativa de demanda de energia elétrica para locais carentes de informação, ou desatualizados quanto a população.

O uso de imagens mosaico DMSP que compreendesse um número maior de passagens, observando a sazonalidade da região, deve proporcionar melhores resultados. Adicionalmente, ao invés da simples ocorrência de luz, houvesse a disponibilidade de uma imagem de reflectância, poderia-se modelar melhor a questão de consumo de energia e a extensão das manchas urbanas.

IV. Regionalização na Amazônia - explorando a heterogeneidade espacial

Introdução

Apenas a dimensão da Amazônia Legal, com seus 5 milhões de km², seria um fator suficiente para proporcionar a variabilidade de condições ambientais atribuindo a heterogeneidade espacial da região. Fatores como a presença de várias etnias e culturas, o histórico de ocupação com as conseqüentes ondas migratórias, programas de desenvolvimento regional, entre outros, contribuem significativamente para a existência de muitas "Amazônias" neste vasto território.

Este capítulo tem por objetivo abordar a regionalização do território Amazônico em escala global, para salientar as principais heterogeneidades espaciais existentes e dar suporte para análises futuras sobre o processo de urbanização na região.

Assim sendo, apresenta-se inicialmente duas propostas recentes de regionalização do território Amazônico correntes na literatura e a seguir, apresenta-se um exercício de uso de técnicas de análise espacial para propor regionalizações da Amazônia, baseando-se no processo de desmatamento ocorrido durante o período de 1991 e 1992 e de 1992 a 1994.

Regionalizações da Amazônia

Alguns estudos recentes procuraram destacar estas configurações territoriais na Amazônia. Devido a abrangência, importância estratégica e de contribuição para o conhecimento geopolítico da região dois deles serão apresentados: o estudo das configurações territoriais associadas às ações do governo federal e de outras entidades públicas realizado por Hervé (1998); e o novo macrozoneamento da Amazônia, baseado no tempo, espaço e processos condicionantes, apresentado por Becker (2001).

O estudo das configurações territoriais de Hervé (1998) se propôs a fornecer informações à Secretaria de Coordenação da Amazônia para a implantação da Política Nacional Integrada para a Amazônia Legal. Através de dados provenientes do IBGE e outras instituições, este estudo procurou determinar pontos, eixos e

áreas de concentração das políticas atuantes e representá-los através de mapas e modelos gráficos.

Inicialmente o trabalho situa a Amazônia no contexto nacional através dos seguintes indicadores: (1) percentuais da participação da Amazônia quanto ao PIB, telefones, população urbana, eleitorado, população, migrantes, estradas, municípios, superfície e mortes em conflitos fundiários; (2) mapas com os indicadores sociais de renda familiar, anos de estudo, analfabetismo e mortalidade infantil; (3) mapa de densidade de ocupação de domicílios; (4) mapa de taxa de natalidade; (5) mapa do peso dos migrantes; (5) mapa da esperança de vida.

Numa etapa posterior o autor identifica as principais formas de organização espacial existentes, pontos nodais, eixos de força, zonas estratégicas sobre as quais as políticas públicas normalmente interferem, traduzindo-as nos seguintes mapas: transportes, população 1996, densidade rural, rede urbana, bovinos e soja, extrativismos (castanha, borracha, madeira, açaí, babaçu e palmito) e produção de madeira e minérios.

Faz uso de modelos gráficos para resumir estas formas nos principais traços da organização territorial da Amazônia, delineando um modelo global da região, apresentado na Figura 4.1, estruturado em 4 quadrantes,:

- (a) sudeste - mais densamente povoado, com maior número de vias de transporte e com frente pioneira ativa.
- (b) noroeste - vazio populacional
- (c) sudoeste - dependente e estruturado pela BR364
- (d) nordeste - prolongamento do sudeste, com perspectiva de desenvolvimento futuro.

Destaca, dentre os 7 modelos identificados, o modelo das frentes pioneiras, por ser o mais complexo, novo e ativo da Amazônia atual. Este modelo indica vários processos que se sucedem no tempo e a marca espacial se inscreve desde indicadores precoces até indicadores de situação bem consolidada: chegada da população jovem, seguida pelas produções agrícolas (arroz), produção madeireira e agrícola, pecuária, e finalmente indicadores de concentração fundiária (proporção

dos estabelecimentos rurais > 5.000 ha e proporção dos assalariados na mão-de-obra).

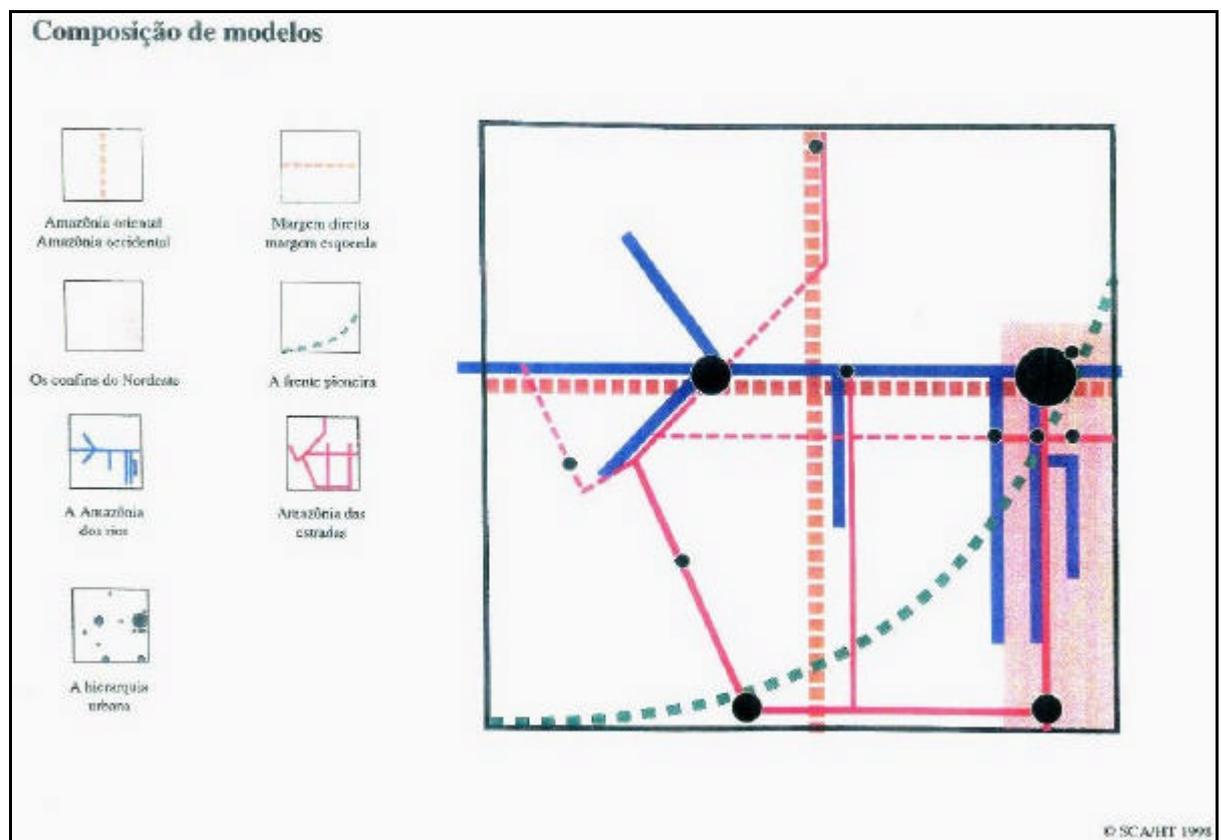


Figura 4.1 - Modelo de organização territorial da Amazônia Hervé (1998).

Como este estudo foi voltado para definição de políticas públicas, numa terceira etapa o autor define a geografia da ação do Estado de acordo com a atuação em: (A) ação genérica, representada através dos mapas de parques e reservas, energia, e política de transportes; (B) ação específica - produtiva, social e pioneira, representada através dos mapas de empréstimos liberados pelo BNDES, do programa de apoio à pequena produção agrícola - PRONAF, da concentração das atividades da Comunidade Solidária e das famílias assentadas pelo INCRA; (C) ação do Programa Piloto do G7 (PPG7), que investiu recursos para influenciar o desenvolvimento da região, através dos mapas dos municípios beneficiados pelos diversos programas do PPG7, e do mapa de localização dos projetos de gestão integrada.

O estudo finaliza por apresentar a planificação por eixos do passado, presente e futuro. O mapa das áreas de colonização pública e programas especiais, e o mapa de

IIPND, refletem os programas de planificações das décadas de 70 e 80. Para representar as estratégias atuais, o autor organiza os mapas do Programa Brasil em Ação, dos eixos nacionais de integração e desenvolvimento, propostos pelo BNDES e Ministério do Planejamento e Orçamento, e o mapa da comparação entre os eixos propostos com as ações do PPG7, identificando conflitos. Para resumir a análise anterior e indicar as perspectivas para a região, apresenta um mapa síntese das intervenções estatais e mutações do espaço amazônico (Figura 4.2) e o mapa dos eixos de ontem hoje a amanhã, resumindo cinco séculos de história (Figura 4.3).

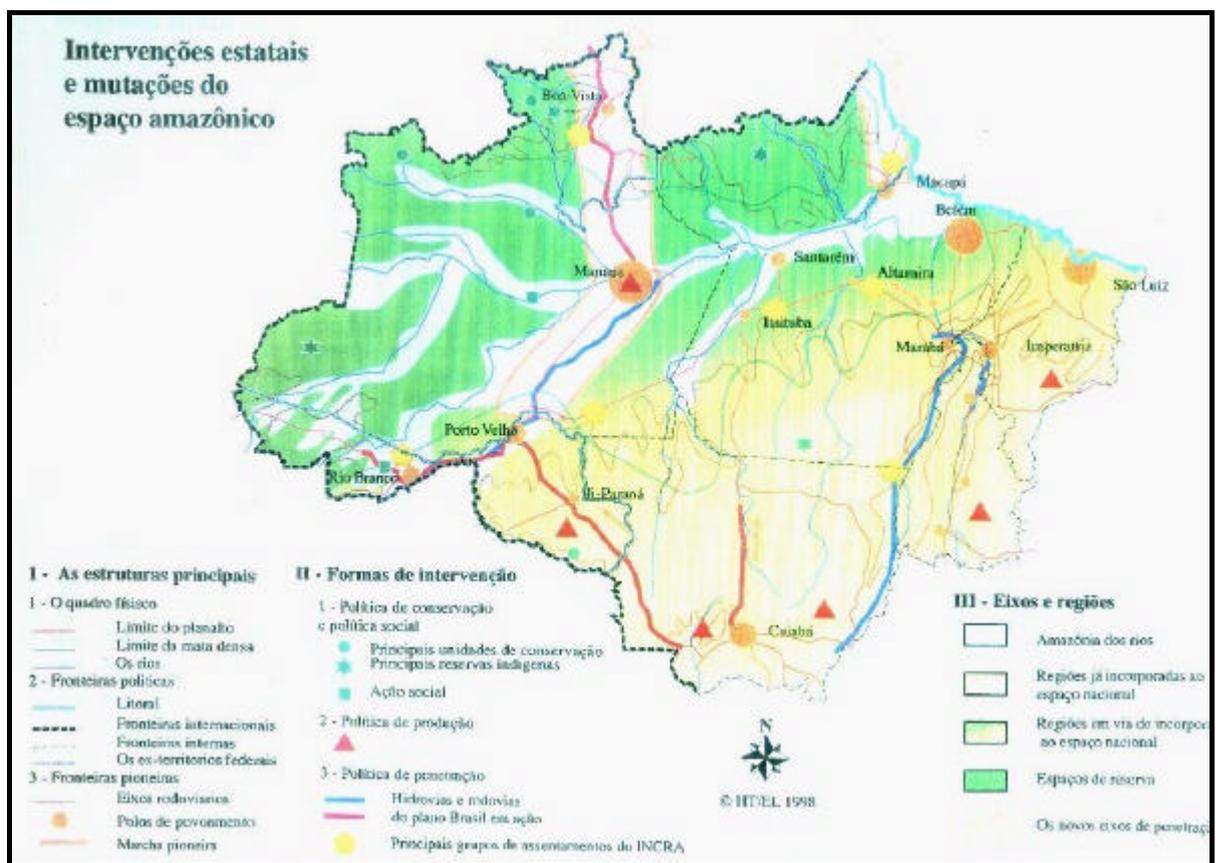


Figura 4.2 - Mapa síntese das intervenções estatais Hervé (1998).

Um novo macrozoneamento da Amazônia, baseado no processo de ocupação em curso e nos eixos de desenvolvimento programados, é proposto identificando três grandes regiões: a Amazônia Oriental e Meridional, a Central e a Oriental.

A macroregião da Amazônia Oriental, corresponde às áreas desmatadas do sudeste do Pará e a agroindústria do cerrado matogrossense, com expansão para o Tocantins e Rondônia, de limites em Açailândia no Maranhão e Cacoal em Rondônia. A autora sugere a exclusão desta unidade da Amazônia Legal, uma vez

foi uma construção geo-política, que não corresponde à presença de ecossistemas florestais. Esta macroregião seria contemplada por políticas de "consolidação de áreas dinâmicas", ou seja recuperação de áreas degradadas e apoio aos pequenos produtores, pela construção de vicinais e disponibilização de equipamento social dos núcleos urbanos, para lhes garantir estabilidade. Se a soja por exemplo, ocupar esta região como extensão das culturas do Mato Grosso, os pequenos produtores aumentarão a pressão de desmatamento.

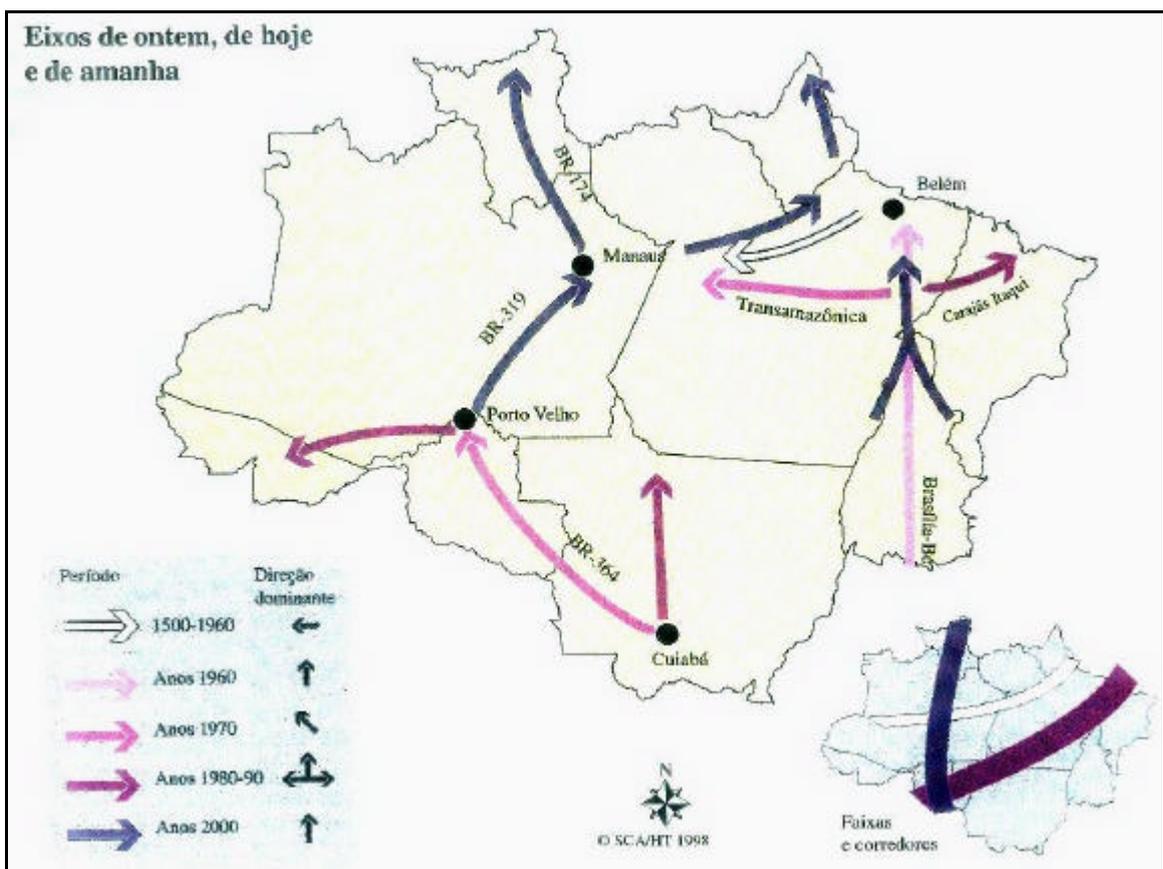


Figura 4.3- Eixos do passado, presente e futuro Hervé (1998).

A macroregião da Amazônia Central, constituída principalmente pelo estado do PA, é a região mais vulnerável, uma vez que são previstos os eixos para Santarém, Tapajós, e Transamazônica, através de corredores vindos do Mato Grosso para o norte. A existência de várias unidades de conservação e terras indígenas requer políticas conservacionistas para garantir a demarcação de terras e a fixação das unidades de conservação.

A macroregião da Amazônia Ocidental ainda não possui eixos estabelecidos ou programados, e assim deveria ser objeto de política de desenvolvimento sustentável,

baseado na circulação fluvial modernizada e na exploração racional produtos para mercados sofisticados como biotecnologia, madeira certificada, perfumes, óleos, essências, aromas, pesca, e na criação de áreas especiais para fortalecimento e defesa das fronteiras. Estas grandes regiões serão futuramente detalhadas em sub-regiões.

A diferença entre as duas regionalizações apresentadas encontra-se nas perspectivas futuras principalmente para a Amazônia Ocidental, para a qual Hervé (1998) prevê a consolidação do eixo de Rondônia a Roraima para os anos 2000, enquanto que Becker (2001) espera que esta região possa ser destinada ao desenvolvimento sustentável. Contudo, há uma concordância geral, considerando que ambos exploram o processo histórico de ocupação e contextualizam os processos diante das políticas públicas previstas para a região. Ambos estudos utilizam mapas para apresentar os dados ou o resultado das análises, nenhuma informação é contudo proveniente de medidas realizadas diretamente sobre os mapas, ou de procedimentos da integração dos mesmos.

Uma proposta de Regionalização da Amazônia a partir de Análise Espacial de taxas de desmatamento

A intensa atividade de desmatamento e conversão das áreas de floresta em pastagem e áreas agrícolas surgiu na Amazônia a partir de 1960 como decorrência do processo de colonização da região. As taxas de desmatamento estabilizaram no início dos anos 90, porém a pressão de mudanças é ainda atuante, destacando-se o crescimento da população da região e planos para abertura de novas rodovias (Frohn et al., 1990).

Vários são os fatores condicionantes no processo de desmatamento, sendo comum a combinação de alguns, sejam eles: crescimento populacional, necessidade de terra, desigualdades sociais, política fundiária e regime de direito de propriedade, políticas governamentais, tecnologia inadequada, relações de comércio internacional, corrupção no setor florestal, entre outros (Myers, 1989; Burgess, 1993, citados em Lambin, 1994).

O processo de desmatamento na Amazônia brasileira acontece espacialmente concentrado na região da fronteira da Amazônia Legal. Este fato é evidente ao se constatar que para fins de monitoramento de queimadas, o IBAMA (Instituto

Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis) definiu uma região denominada Arco do Desflorestamento, constituída pelos estados do Pará, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Maranhão, Amazonas, Rondônia, Acre e Tocantins (IBAMA, 1997).

O Projeto de Desmatamento PRODES do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) vem monitorando o processo de desmatamento da Amazônia desde 1984. Áreas desflorestadas são identificadas através de interpretação visual de Imagens orbitais do sistema sensor TM/Landsat, na escala de 1:250.000, e o incremento anual de desflorestamento é registrado e computado (Alves et al., 1991). Desflorestamento é neste caso conceituado como "a conversão de áreas de fisionomia florestal primária por ações antropogênicas, para desenvolvimento de atividades agrosilvopastoris, detectada a partir de plataformas orbitais" (INPE, 1999).

Os termos desmatamento e desflorestamento serão usados indistintamente, seguindo o conceito do INPE (1999) e referem-se a um fenômeno dinâmico, de conseqüências das mais variadas naturezas, de causas integradas e complexas, e espacialmente estruturado. Assim sendo, constitui-se um objeto de estudo adequado para a exploração de relações espaciais com outras variáveis e investigação de possíveis regionalização da Amazônia.

Propõe-se então explorar inicialmente as características espaciais das taxas de desmatamento para os períodos de 1991-92 e 1992-94, através das seguintes métricas de análise espacial:

- Avaliação da dependência espacial através da média móvel;
- Verificação de autocorrelação espacial através de índices globais: I de Moran e c de Geary, avaliando suas significâncias estatísticas;
- Verificação de associações espaciais locais, através do uso e comparação de indicadores espaciais locais: Moran Local e estatística G_i e G_i^* ;

Numa segunda abordagem, propõe-se verificar as possíveis influências de alguns parâmetros sócio-econômicos nas atividades de desmatamento, através regressão espacial.

Destas análises serão obtidas regionalizações baseadas nas taxas de desmatamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados dados de desflorestamento da Amazônia Legal, provenientes do Projeto de Desmatamento - PRODES do INPE (1999), na forma de taxa de desmatamento (km^2/ano) sobre a malha municipal do IBGE de 1994. Os dados referem-se às taxas de desflorestamento obtidas para os períodos de 1991 a 1992 e de 1992 a 1994, denominadas neste trabalho por TX91_92 e TX92_94.

Dados de censo agropecuário de 1991 e 1994, dados do censo demográfico de 1991, com dados sócio-econômicos foram extraídos da base de dados disponibilizada pelo IBGE, ORSTOM e CREDAL (1997), através do software "SAMBA" de seleção de dados. Dados do IBGE, referentes à contagem 1996 foram utilizados como dados auxiliares, associados à malha municipal de 1994.

A Tabela 4.1 apresenta o subconjunto de variáveis selecionadas. Os valores de cada variável foram atribuídos aos municípios da malha municipal brasileira de 1994.

Tabela 4.1 - Variáveis demográficas e sócio-econômicas selecionadas.

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO
DENS_POP	Densidade populacional - contagem 1996
TX91_92	Taxa de desmatamento entre 1991 e 1992 (km^2/ano)
TX92_94	Taxa de desmatamento entre 1992 e 1994 (km^2/ano)
PHOMENS	População de homens - contagem 1996
PMULHERE	População de mulheres - contagem 1996
PURBAN	População urbana - contagem 1996
PRURAL	População rural - contagem 1996
EMPDORES	Número de empregadas domésticas residentes - 1996
AROZ94	Quantidade de ARROZ produzido - 1994
MAND94	Quantidade de MANDIOCA produzida - 1994
SOJA94	Quantidade de SOJA produzida - 1994
BOVI94	Quantidade de BOVINO (unidade) - 1994
LEIT94	Quantidade de LEITE produzido (ml) - 1994
MADEI94	Quantidade de MADEIRA extraída (m^3) - 1994

Foram utilizados os seguintes softwares: SAMBA (IBGE, ORSTOM e CREDAL, 1997); ARC-INFO, ARC-VIEW-3.0, SPRING-3.4 e SpaceStat (acrescenta-se ainda ACCESS e EXCEL para suporte na edição de tabelas do banco de dados).

Os dados vetoriais, referentes à malha municipal brasileira de 1994, juntamente com os valores das variáveis demográficas e sócio-econômicas para cada município foram integrados, compondo um banco de dados geográfico.

Os atributos dos municípios e a matriz de proximidade espacial, gerada a partir de todas as direções possíveis (Queen Weights), foram utilizados para a análise espacial realizada no SpaceStat. Os resultados foram visualizados com auxílio do ARC-View.

A primeira análise exploratória do padrão espacial dos dados foi a visualização da média móvel. Seguiu-se o cálculo das seguintes estatísticas:

- Índice I de Moran (global)
- Índice c de Geary
- Diagrama de Dispersão de Moran (Moran "Scatterplot")
- Moran Local
- Estatística G_i e G_i^* e nova estatística G_i e G_i^*

Considerando-se TX92_94 uma variável dependente e as variáveis DENS_POP, TX91_92, PHOMENS, PMULHERES, PURBANA, PRURAL, AROZ94, MAND94, SOJA94, BOVI94, LEIT94 e MADEI94 variáveis explicativas, procedeu-se a análise de regressão linear através dos mínimos quadrados. O objetivo foi verificar se a ocorrência do desflorestamento entre 1992-94 poderia ser explicada por algum subconjunto das variáveis disponíveis.

Para se verificar a influência da heterogeneidade dos dados, outra análise de regressão considerando-se apenas o estado de Rondônia, através do logaritmo das variáveis.

RESULTADOS

Análise da dependência espacial das taxas de desmatamento

Como primeira abordagem para verificação de padrões de agregação espacial, procedeu-se a comparação entre a visualização estatística (classes de desvio-padrão em relação à média) e a média móvel, com coeficiente de média móvel igual a 4, para as variáveis de desmatamento (Figuras 4.4 e 4.5).

A visualização da média móvel para as taxas de desflorestamento de 91-92 e 92-94 acentuou esta atividade na região da fronteira da Amazônia Legal, apresentando configurações espaciais muito semelhante para as duas datas.

As Figuras de média móvel ressaltam ainda as regiões de não-floresta, com suas taxas de desflorestamento abaixo da média, correspondendo ao leste de Tocantins e norte do Maranhão.

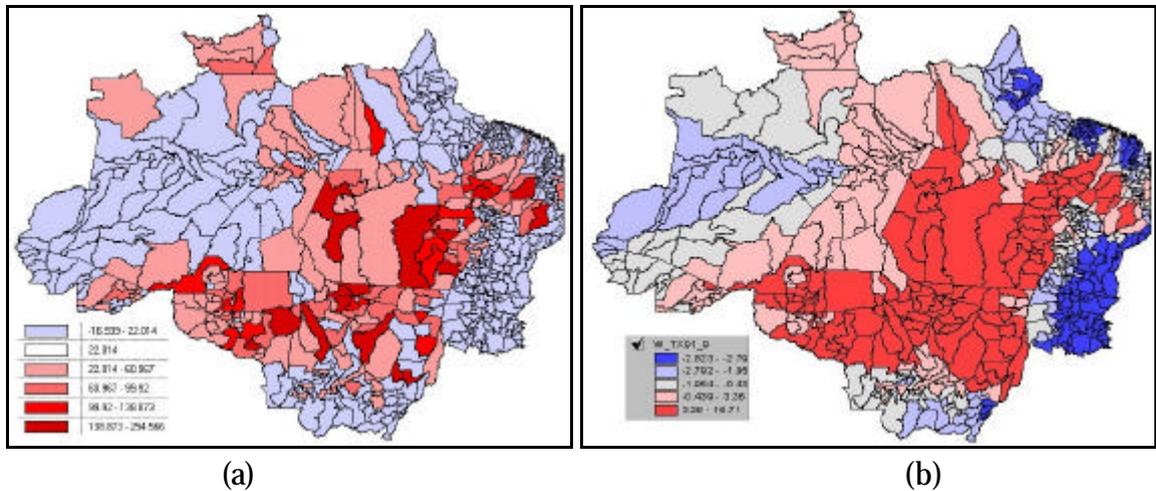


Figura 4.4 - TX91_92 - (a) Visualização estatística - desvios da média e (b) Média Móvel - valores padronizados.

Por outro lado, algumas regiões têm seu valor de desflorestamento atenuado através da ponderação dos valores de sua vizinhança, como pode ser observado por exemplo em São Gabriel da Cachoeira - AM (região conhecida como "cabeça do cachorro") para as duas datas.

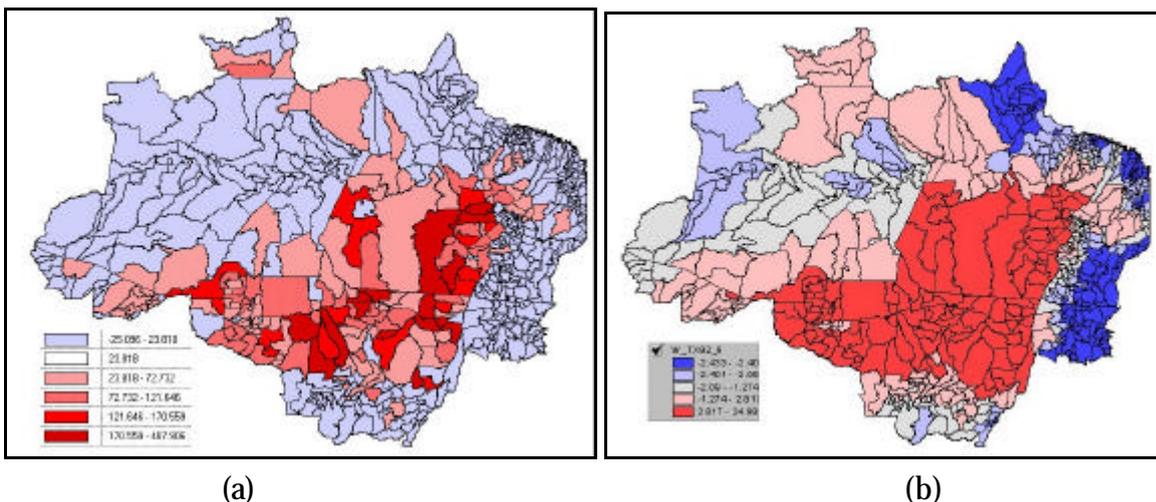


Figura 4.5 - TX92_94 - (a) Visualização estatística - desvios da média e (b) Média Móvel - valores padronizados.

Os valores de índice de correlação espacial global de Moran e Geary testados encontram-se nas Tabelas 4.2 e 4.3. As variáveis destacadas nas tabelas

correspondem àquelas cujos testes de probabilidade indicaram valores não significativos (probabilidade maior ou igual a 0,05), o que sugere ausência de autocorrelação espacial ou seja, aleatoriedade.

Tabela 4.2 - Índice I de Moran.

VARIÁVEL	I de Moran	Normal Padrão		Randomização		Permutação
		Valor z	Prob	Valor z	Prob	Prob
DENS_POP	0,242	9,594	0,000	12,073	0,000	0,010
TX91_92	0,459	18,120	0,000	18,252	0,000	0,010
TX92_94	0,616	24,283	0,000	24,671	0,000	0,010
PHOMENS	0,043	1,754	0,079	1,991	0,047	0,040
PMULHERE	0,041	1,677	0,093	1,913	0,056	0,040
PURBAN	-0,011	-0,362	0,718	-0,418	0,676	0,380
PRURAL	0,366	14,470	0,000	16,159	0,000	0,010
EMPDORES	0,018	0,770	0,441	1,021	0,307	0,030
AROZ94	0,209	8,290	0,000	8,871	0,000	0,010
MAND94	0,294	11,617	0,000	11,914	0,000	0,010
SOJA94	0,273	10,787	0,000	11,254	0,000	0,010
BOVI94	0,394	15,537	0,000	15,773	0,000	0,010
LEIT94	0,333	13,163	0,000	13,332	0,000	0,010
MADEI94	0,312	12,341	0,000	17,594	0,000	0,010

As variáveis PHOMENS, PMULHERE, PURBANA e EMPDORES apresentaram valores I de Moran próximos a zero, valores de z abaixo de 1,96, para as aproximações Normal Padrão e Randomização. Estes valores indicam ausência de autocorrelação espacial, aceitando-se a hipótese de aleatoriedade (com significância de 95%). A aproximação de permutação apenas rejeitou a variável EMPDORES, o que pode ser um indício de que 99 permutações não foram suficientes para representar toda a heterogeneidade do dado.

Valores positivos de z para o índice c de Geary, comprovam a inexistência de autocorrelação espacial para as variáveis PHOMENS, PMULHERE, PURBANA e EMPDORES. Observa-se ainda que as aproximações de randomização e permutação apresentaram valores mais restritivos, incluindo as variáveis AROZ94, SOJA94 e MADEI94 entre aquelas que não possuem autocorrelação espacial significativa. Ressalta-se ainda a diferença entre os valores significativos dependendo da abordagem escolhida.

Tabela 4.3 - Índice c de Geary.

VARIÁVEL	c de Geary	Normal Padrão		Randomização		Permutação
		Valor z	Prob	Valor z	Prob	Prob
DENS_POP	0,646	-12,615	0,000	-2,735	0,006	0,010
TX91_92	0,622	-13,477	0,000	-10,069	0,000	0,010
TX92_94	0,502	-17,771	0,000	-10,781	0,000	0,010
PHOMENS	1,073	2,616	0,009	0,717	0,473	0,320
PMULHERE	1,074	2,639	0,008	0,712	0,476	0,350
PURBAN	1,117	4,174	0,000	1,082	0,279	0,210
PRURAL	0,691	-11,017	0,000	-3,194	0,001	0,010
EMPDORES	1,050	1,796	0,072	0,362	0,718	0,340
AROZ94	0,894	-3,783	0,000	-1,340	0,180	0,070
MAND94	0,789	-7,520	0,000	-3,909	0,000	0,010
SOJA94	0,883	-4,182	0,000	-1,787	0,074	0,020
BOVI94	0,655	-12,296	0,000	-7,574	0,000	0,010
LEIT94	0,732	-9,562	0,000	-6,186	0,000	0,010
MADEI94	0,707	-10,446	0,000	-1,941	0,052	0,020

Os diagramas de dispersão de Moran realizado sobre as variáveis TX91_92 e TX91_92 são apresentados nas Figuras 4.6 e 4.7. Os números referentes aos municípios citados a seguir são apresentados na Figura 4.7.

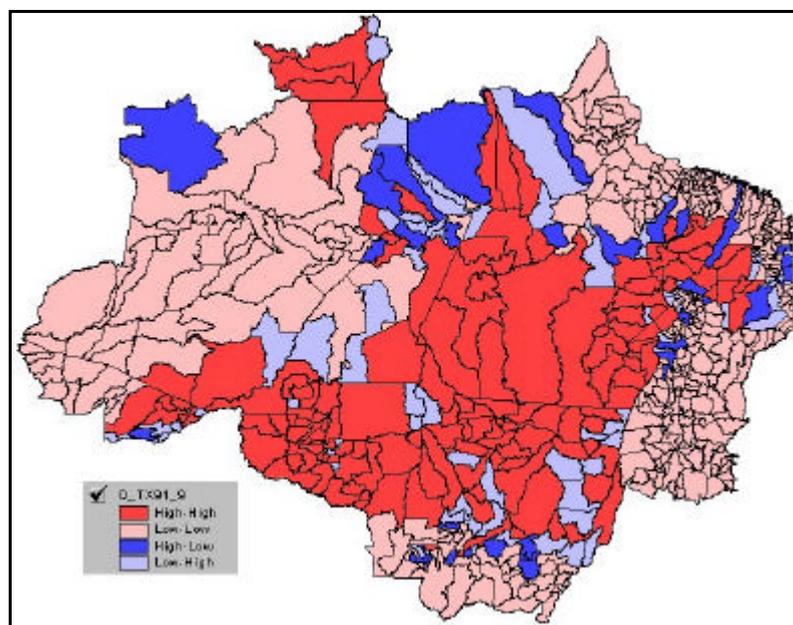


Figura 4.6 - Diagrama de Dispersão de Moran - TX91_92.

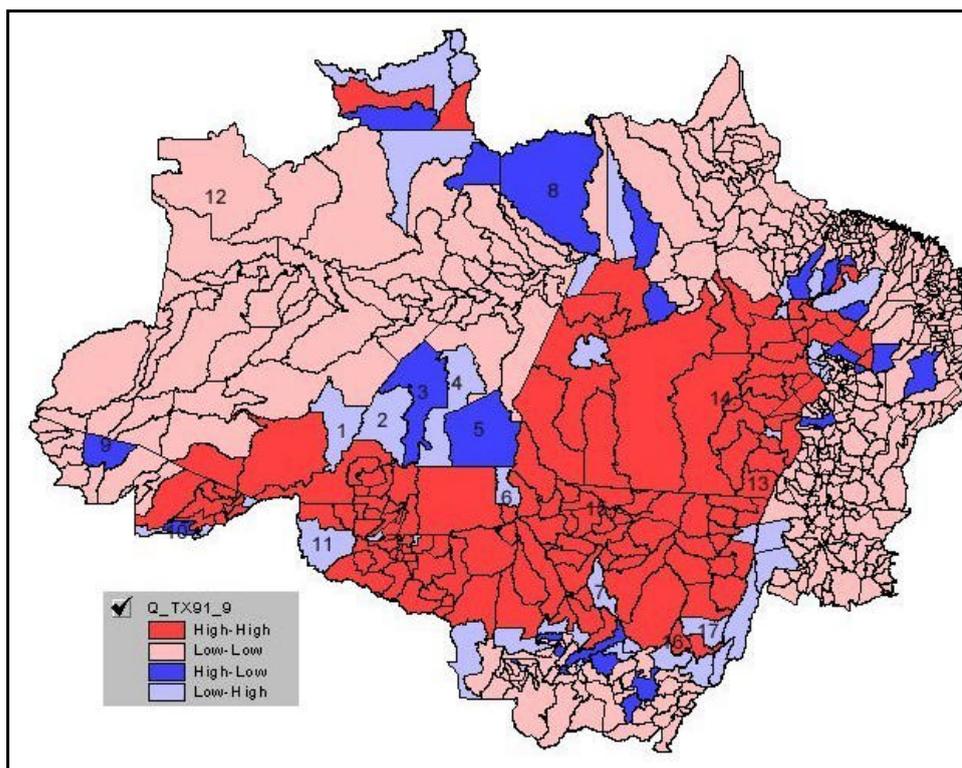


Figura 4.7 - Diagrama de Dispersão de Moran para TX92_94 e localizações dos municípios citados no texto.

Nos estados do Amazonas, norte do Acre, norte do Pará e Amapá foram detectadas associações espaciais negativas, indicando que nestas regiões os valores de desmatamento são baixos e de seus vizinhos também, e correspondem às áreas de floresta ombrófila, de difícil acesso e portanto mais conservadas. No Sul do Mato Grosso e Tocantins também se observa associação espacial negativa porém estas regiões correspondem ao domínio de não-floresta, características que excluem estas regiões para as análises relacionadas às variáveis de desflorestamento.

Roraima e a região do "arco" da Amazônia (leste do Acre, Rondônia, norte do Mato Grosso e Pará) apresentam associação espacial positiva.

Verifica-se regiões de transição de regime, tanto para a TX91_92 como para TX92_94, exatamente nos locais de borda, contato entre a fronteira da Amazônia Legal e as áreas de fraca atividade de desflorestamento. Os municípios de Camutanga (1), Humaitá (2), Novo Aripuanã (4) (Figura 4.7) no sul do Amazonas, indicam regiões de transição, confirmadas pelo aumento da atividade de desflorestamento (TX92_94) dos municípios de Manicoré (3) e Apuí (5) vizinhos. A região do município de Oriximiná-PA (8), por seus valores altos em relação à

vizinhança nas duas datas, e seus arredores, poderia ser indicado como região de transição, assim como o sul do Acre, em Brasiléia (10).

Alguns municípios poderiam ser apontados visualmente como "outliers", pela ocorrência de valores discrepantes de sua vizinhança homogênea: valores altos numa vizinhança de baixos valores, por exemplo São Gabriel da Cachoeira-AM (12) e Tarauaca-AC (9); e valores baixos entre altos valores, como Cotriguaçu-MT (6), Sorriso-MT (7) e Guajará-Mirim-RO(11).

A análise quantitativa dos valores extremos do diagrama de dispersão de Moran ("outliers") é apresentada na Tabelas 4.4 que apresenta os valores de resíduo máximo normalizado para as 10 observações mais extremas.

Tabela 4.4 - "Outliers" do Diagrama de Dispersão de Moran - Resíduo Máximo normalizado para TX91_92 e TX92_94.

Município	UF	Resíduo Máx. Norm	
		TX91_92	TX92_94
SANTANA DO ARAGUAIA	PA	0,012	0,017
TUCUMÃ	PA	0,011	0,018
JACAREACANGA	PA	0,011	
NOVA GUARITA	MT	0,010	0,010
BRASNORTE	MT	0,010	
TRAIRÃO	PA	0,010	
ABEL FIGUEIREDO	PA	0,010	
JACUNDA	PA	0,009	
CAMPINÁPOLIS	MT	0,009	0,015
ÁGUA BOA	MT	0,008	0,009
SÃO FÉLIX DO XINGU	PA		0,017
PARAUPEBAS	PA		0,015
PORTO ALEGRE DO NORTE	MT		0,011
CURIONÓPOLIS	PA		0,010
SÃO DOMINGOS DO ARAGUAIA	PA		0,009

Observa-se que Santana do Araguaia (13), Tucumã (14), Nova Guarita(15), Campinópolis (16) e Água Boa (17) foram valores extremos para as duas datas consideradas. Estes municípios não foram espacialmente identificados (no diagrama de dispersão de Moran) como diferentes das observações vizinhas, mas são extremos de valores em relação à tendência central: Água Boa, Nova Guarita e Tucumã apresentaram baixos valores para TX91_92 e TX92_94, diferentemente de

seus vizinhos, com altas taxas, são municípios de pequena extensão territorial. Em Campinápolis e Santana do Araguaia ocorre o oposto, altas taxas de desmatamento observadas e vizinhos com taxas pequenas.

A Figura 4.8 apresenta os resultados do método LISA - Moran Local aplicados sobre as variáveis TX91_92 e TX92_94.

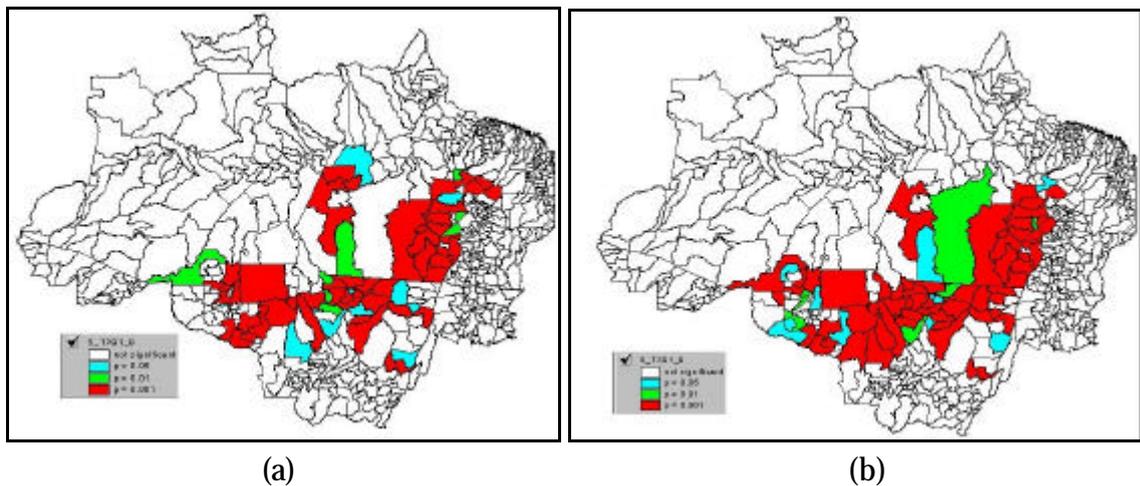


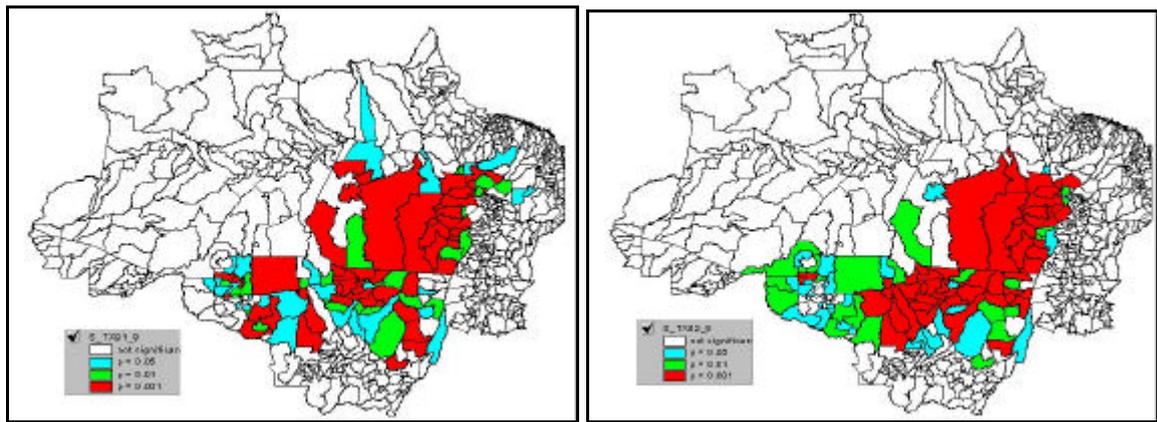
Figura 4.8 - Moran Local - (a) TX91_92 e (b) TX92_94.

Os municípios com valores do índice de Moran Local com significância estatística (cor azul equivale a $p= 0,05$, cor verde a $p=0,01$ e a cor vermelha a $p=0,001$) ressaltam o desflorestamento na região de fronteira da floresta amazônica.

Observa-se ainda uma tendência de aumento das áreas de desflorestamento, uma vez que os valores para TX91_92 assemelham-se a uma expansão dos resultados obtidos para TX91_92, como registrado em Rondônia e no Pará, através da incorporação de Altamira ($p= 0,01$).

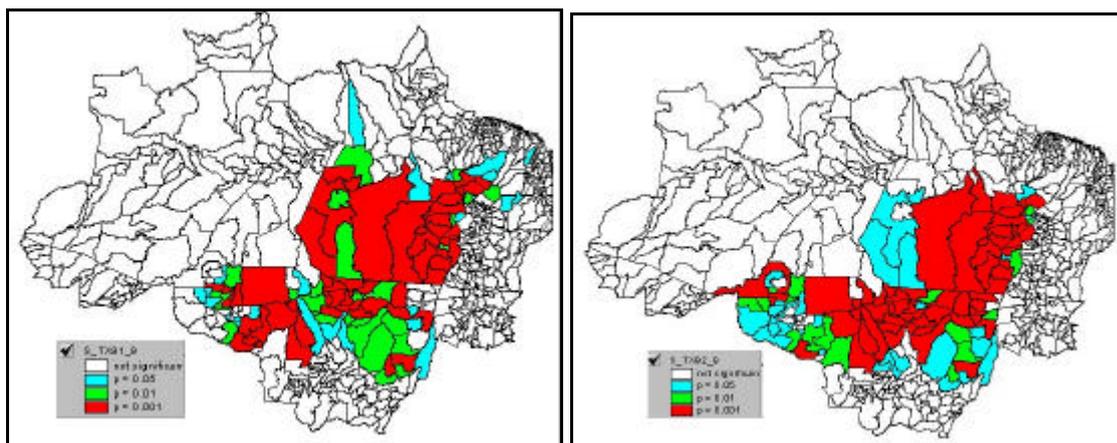
A Figura 4.9 apresenta os resultados da nova estatística G_i para as variáveis TX91_92 e TX91_92 .

De um modo geral, a introdução do valor para o município que está sendo calculado através do cálculo de G_i^* , aumenta a significância e inclui uma vizinhança maior de valores significantes (Figura 4.10).



(a) (b)
 Figura 4.9 - Nova estatística G_i para (a) TX91_92 e (b) TX92_94.

Observa-se ainda, comparando-se a estatística G_i^* para TX91_92 e para TX91_92 a inclusão de áreas no oeste de Rondônia e a união dos dois principais núcleos (leste de Rondônia e Mato Grosso e outro no sul do Pará), contíguos em 1994.



(a) (b)
 Figura 4.10 - Nova estatística G_i^* para (a) TX91_92 e (b) TX92_94.

Comparando-se aos resultados obtidos para o Moran Local, os valores da estatística G_i , por ser uma medida associada a distâncias, apresenta uma área de abrangência maior.

Observa-se ainda que na região de Roraima, apesar de valores indicativos de associação espacial para a variável TX91_92 no diagrama de dispersão de Moran, estes valores não são significativos para a estatística de autocorrelação global, como observado nos valores de Moran Local e das estatísticas G_i .

Regressão entre taxa de desmatamento 1992-1994 e demais variáveis

A Tabela 4.5 apresenta o resultado da análise de regressão, considerando a variável TX92_94 como variável dependente e as demais como variáveis explicativas. Nesta encontram-se destacadas as variáveis que contribuíram para a regressão.

Tabela 4.5 - Valores de b, desvio padrão, t-Student e probabilidade para regressão linear entre TX92_94 e demais variáveis

Variável	b Estimado	Desvio Padrão	t-Student	
			t	Prob
TX91_92	1,053	0,0332	31,67	0,00
DENS_POP	0,027	0,0224	1,19	0,24
PHOMENS	0,001	0,0007	1,56	0,12
PMULHERE	0,000	0,0008	0,08	0,93
PURBAN	-0,001	0,0003	-2,38	0,02
PRURAL	-0,001	0,0002	-3,30	0,00
AROZ94	0,000	0,0001	-0,03	0,98
MAND94	0,000	0,0000	-0,11	0,92
SOJA94	0,000	0,0001	0,85	0,40
BOVI94	0,000	0,0000	0,35	0,73
LEIT94	0,000	0,0005	-0,52	0,61
MADEI94	0,000	0,0000	-2,00	0,05

Foram observados valores de $R^2 = 0,68$, e $R_a^2 = 0,67$, indicando um ajuste linear. Observa-se que apenas TX91_92, PURBAN, PRURAL e MADEI94 apresentaram valores de teste t de Student abaixo de 5% de probabilidade, sendo estas as variáveis que contribuem para a regressão linear. Contudo, excluindo-se a variável TX91_92 para a explicação da TX92_94, obtém-se $R^2 = 0,15$ e um $R_a^2 = 0,13$, indicando inexistência de um ajuste linear entre os dados.

Avaliando-se a regressão quanto aos pressupostos necessários (Tabela 4.6) observou-se que há multicolineariedade nos dados, ou seja, há correlação espacial entre as variáveis explicativas. Os erros não possuem distribuição normal, há heterocedasticidade e dependência espacial dos erros das variáveis.

Os resultados da análise de regressão sugerem a existência de regimes espaciais diferentes no conjunto de dados. Este fato se confirma pela heterogeneidade da Amazônia Legal no que se refere à estratégia de ocupação do solo e conseqüentemente, na atividade de desflorestamento.

Este resultado era esperado, uma vez que diversos são os fatores e agentes que atuam na região condicionando diferentes velocidades e padrões de desmatamento.

Tabela 4.6- Análise dos pressupostos da regressão entre TX92_94 e demais variáveis.

Multicolineariedade			
Número Condicional	84,24		
Normalidade			
TESTE	DF	Valor	Prob
Kiefer-Salmon	2	15868,11	0,000
Heteroscedasticidade: AREA POPULA DENS_POP			
TESTE	DF	Valor	Prob
Koenker-Bassett teste	3	9,89	0,019
Dependência Espacial			
TESTE		Valor	Prob
I de Moran (erro)	0,308	12,46	0,000
	DF		
Multiplicador Lagrangeano (erro)	1	145,37	0,000
Kelejian-Robinson (erro)	13	102,26	0,000
Multiplicador Lagrangeano ("lag")	1	198,80	0,000

Difícilmente um modelo de regressão simples como o aplicado aqui seria capaz de representar a complexidade de desmatamento para toda a Amazônia Legal. Uma regressão que considerasse este aspecto, e que incluísse a definição dos diferentes regimes espaciais poderia apresentar resultados mais condizentes com a realidade.

Análise de Regressão considerando apenas o Estado de Rondônia

Na tentativa de minimizar os efeitos da heterogeneidade observada na análise para a região da Amazônia Legal como um todo, e os erros de amostragem, tornando os dados com distribuição próxima do normal e eliminando valores com zero, procedeu-se um teste para o estado de Rondônia. Neste estado a atividade de desmatamento é intensa e as demais variáveis foram corretamente amostradas (não há municípios com valores de censo ausentes). As variáveis tiveram o logaritmo de seus valores obtidos, e estes foram utilizados no modelo de regressão.

Como resultado obteve-se um $R^2 = 0,70$ e R^2 ajustado = 0,64 (estatística F = 10,9 com probabilidade de 5,9 e-07), as demais estatísticas são apresentadas nas Tabelas 4.7 e 4.8 abaixo.

Tabela 4.7- Valores de b, desvio padrão, t-Student e probabilidade para regressão linear entre TX92_94 e demais variáveis para Rondônia.

Variável	b Estimado	Desvio Padrão	t-Student	
			t	Prob
LOGTX91	0,700	0,138	5,08	0,00
LOGPURB	-0,087	0,065	-1,35	0,19
LOGPRUR	0,319	0,142	2,24	0,03
LARoz94	-0,041	0,086	-0,48	0,64
LBOV94	0,275	0,126	2,18	0,04
LLEIT94	-0,356	0,098	-3,62	0,00
LMADEI94	0,029	0,044	0,67	0,51

Observou-se então que em Rondônia, a atividade de desmatamento foi associada à pecuária e produção leiteira, e indiferente à produção de madeira e à produção agrícola (arroz, no caso), o que é coerente com o principal uso da terra que se observa na região (pastagens). Adicionalmente, o desmatamento também pôde ser explicado pela população rural, e não pela população urbana, o que estaria de acordo com o sistema fundiário de pequenas propriedades e produção familiar, típicos da colonização do estado de Rondônia.

Observa-se que a multicolineariedade persiste (valor maior que 30, na Tabela 4.8), mas os pressupostos de normalidade, homocedasticidade e ausência de dependência espacial são preservados, o que permite considerar os valores de R^2 e o valor de b estimado (para as variáveis explicativas indicadas pelo teste t de Student) como válidos.

O pressuposto de multicolinearidade é inerente aos dados, uma vez que, por exemplo a produção de leite e de bovinos são diretamente correlacionados. A inclusão de novas variáveis, e a utilização de procedimentos para eliminação de correlação, como análise de principais componentes, seriam procedimentos alternativos que resultariam em melhores estatísticas.

Tabela 4.8- Análise dos pressupostos da regressão entre TX92_94 e demais variáveis para Rondônia.

Multicolinearidade			
Número Condicional	109,21		
Normalidade			
TESTE	DF	Valor	Prob
Kiefer-Salmon	2	0,63	0,73
Heteroscedasticidade: AREA POPULA DENS_POP			
TESTE	DF	Valor	Prob
Koenker-Bassett teste	3	3,08	0,38
Dependência Espacial			
TESTE	DF	Valor	Prob
I de Moran (erro)	-0,023	0,003	0,99
DF			
Multiplicador Lagrangeano (erro)	1	0,07	0,79
Kelejian-Robinson (erro)	13	10,84	0,21
Multiplicador Lagrangeano ("lag")	1	1,09	0,29

Considerações do Capítulo

O uso da média móvel mostrou-se um recurso eficiente para salientar as regiões de desflorestamento e produtividade agropecuária, homogeneizando os dados, tornando semelhante os mapas de desmatamento para as duas datas utilizadas. Pode ser útil nos casos de ausência de dados para se ter uma primeira abordagem sobre o comportamento da variável.

Dentre as variáveis utilizadas, PHOMENS, PMULHERE, PURBANA e EMPDORES não apresentaram autocorrelação espacial significativa, quantificada através do Índice I de Moran. O Índice c de Geary mostrou-se mais restritivo, incluindo as variáveis AROZ94, SOJA94 e MADEI94 às variáveis anteriores. Alerta-se para o fato de que resultados distintos são obtidos de acordo com a abordagem adotada para avaliar a significância estatística.

Da análise do diagrama de dispersão de Moran pode-se identificar visualmente os municípios constituintes das regiões de transição de regime no Amazonas, Pará e Acre. A análise quantitativa dos "outliers" permitiu identificar municípios extremos em relação à tendência central.

Os resultados da análise de Moran Local evidenciaram apenas a região de fronteira da Amazônia Legal como observações significantes para a estatística global de associação. Regiões da Amazônia oriental (Amazonas, Acre, Roraima e Amapá) não

contribuíram significativamente para a autocorrelação espacial do desmatamento, apesar de alguns "focos" indicados no diagrama de dispersão de Moran. A região de não-floresta também não contribuiu para a associação espacial. A tendência da evolução espacial do desmatamento também pode ser observada na comparação entre os mapas de Moran Local para as taxas de 1991-92 e 1992-94.

As estatísticas G_i e G_i^* apresentaram uma abrangência maior na identificação de municípios significativos para a autocorrelação global, que os observados no Moran Local, o que era esperado, por se tratar de uma estatística de medida associada à distância.

A regressão dos mínimos quadrados entre os valores de desmatamento de TX1992-94 e as demais variáveis resultou em um fraco ajuste linear ($R^2=0,68$), e pressupostos não satisfeitos (multicolineariedade, ausência de normalidade, heterocedasticidade e dependência espacial). Deste resultado confirma-se a grande variabilidade dos dados e da presença de diferenças regionais ou seja, regimes espaciais para as taxas de desmatamento.

Considerando-se apenas o estado de Rondônia, e normalizando-se as variáveis, a regressão apresentou um ajuste linear da mesma ordem ($R^2=0,70$). O pressuposto de multicolineariedade persistiu, indicando a forte correlação linear entre as variáveis, porém os pressupostos de normalidade, heterocedasticidade e dependência espacial foram válidos. As variáveis TX91_92, PRURAL, BOVI94 e LEIT94 podem ser consideradas explicativas da taxa de desmatamento de 1992-94 com nível de significância de 5%.

A autocorrelação espacial global e a análise dos indicadores de autocorrelação local indicaram diferentes regiões na Amazônia Legal quanto aos regimes de desmatamento. A presença destes regimes é enfatizada pelos resultados decorrentes da análise de regressão realizada para a região como um todo, e confirmada ao se estudar o estado de Rondônia isoladamente. Como as heterogeneidades foram minimizadas, ao se restringir a abrangência espacial e com a normalização das variáveis (log-normal), as variáveis analisadas apresentaram resultados mais compatíveis com o esperado. Ou seja, a análise espacial do desflorestamento da

Amazônia permitiu identificar regimes espaciais distintos, que refletem as diferentes dinâmicas de ocupação.

Para continuidade deste trabalho, sugere-se que análises de regressão sejam realizadas considerando os diferentes regimes espaciais de desmatamento apresentado nos mapas de Moran Local, ou Média Móvel.

Ainda como resultado adicional da análise apresentada, a variável PURBANA, não apresentou autocorrelação espacial significativa, nos Índice I de Moran e c de Geary. A população urbana também não contribuiu para explicar as taxas de desmatamento de 1992-94, conforme apresentado na análise de regressão. Ao compararmos a regionalização do desmatamento (Figuras 4.5 por exemplo) com os padrões obtidos na análise de superfície por kernel da população urbana e da razão população urbana/população total (Figuras 2.13 e 2.14), observa-se a nítida relação inversa entre desmatamento e urbanização (medida através da população urbana como indicadora do processo).

Considerando os quatro sistemas de redes urbanas definidos por Hervé (1998), observou-se que:

1. O Sistema de Belém mais denso quanto ao número de municípios, não se destaca quanto a proporção da população urbana em relação ao total e atividade de desmatamento menos intensa.
2. Ao longo da BR364, entre Cuiabá e Rio Branco, observa-se intensa atividade de desmatamento porém a população não está concentrada nas cidades, apesar do número de municípios ter aumentado significativamente desde 1993;
3. O sistema Manaus apesar de fraca conectividade, expressa pela precariedade de acesso viário, destaca-se pela importância da população urbana em relação ao total, e apresenta indícios de ligação com a fronteira norte, em direção a Boa Vista. Ao mesmo tempo, não há desmatamento intenso na região, a urbanização é decorrente da instalação da Zona Franca e industrialização.
4. O sistema periférico e localizado de São Luís, por não estar no domínio das florestas não se caracteriza como região de desmatamento, e apesar da concentração de municípios, a população urbana pouco contribui para a população total.

Desta forma, a relação desmatamento-urbanização não encontra-se bem definida quanto a seus padrões espaciais reconhecidos através das regionalizações das taxas de desmatamento realizadas. A criação de novos municípios poderia estar associada às atividades de desmatamento. A concentração da população nas cidades por sua vez, ocorre apenas após a instalação da fronteira agrícola, como no Mato Grosso, Tocantins e Belém, ou por outros processos, como a industrialização no caso de Manaus, ou a concentração nas capitais como observado no Amapá e Roraima.

Uma análise espacial que considerasse a distribuição de pontos - sedes de município considerando a população urbana, poderia detalhar o comportamento desta variável, indicando por exemplo se não há um intervalo de distância entre sedes de município para a qual a autocorrelação espacial seja significativa.

Estudos de regionalização aplicando as técnicas de regressão espacial devem ser efetuados para o processo de urbanização contemporânea.

V. A articulação entre o Espaço dos Lugares e o Espaço das Redes na Urbanização Contemporânea da Amazônia.

Introdução

Este capítulo propõe o desenvolvimento de uma metodologia de análise espacial para inferir as relações entre o espaço das redes, a partir do espaço dos lugares, estabelecendo uma estratégia para integrar regionalizações dos processos de urbanização com modelos de interação espacial, que quantificam fluxos em redes. Esta metodologia será aplicada ao processo recente de urbanização da Amazônia.

A motivação básica para a metodologia proposta é a visão geopolítica proposta por Becker (2001), que propõe uma interpretação para o processo histórico de ocupação da região e seus condicionantes políticos e econômicos externos e internos. Sua visão contrapõe dois modelos de ocupação territorial: (a) o modelo exógeno, baseado numa visão externa ao território, que afirma a soberania privilegiando as relações com a metrópole; (b) o modelo endógeno, baseado numa visão interna do território, e privilegiando a autonomia local.

Partimos ainda da premissa que a Amazônia é uma floresta urbanizada onde a 79.5% da população é urbana (Becker, 1995 e 2001), e pelo menos 70% vive em núcleos urbanos (IBGE, 2001). Segundo Becker (2001), o processo de urbanização contemporânea na Amazônia continua intenso, sem indícios de reversibilidade, com características de desconcentração e interiorização da população. O padrão do povoamento regional estrutura-se principalmente ao longo dos eixos viários, e a população urbanizada não encontra-se apenas nas sedes dos municípios, mas também nas periferias e em aglomerados rurais. Desta diversidade resultam diferentes padrões de urbanização e diferentes funções das cidades na rede urbana.

As cidades são de fundamental importância para a integração da região: representam 12 milhões de consumidores, são a sede das instituições públicas e privadas, oferecem alternativa de emprego e renda reduzindo a migração para a floresta, são base para beneficiamento de produtos florestais e idealmente devem fornecer serviços para as populações das unidades de conservação e ser os centros

dos assentamentos da Reforma Agrária (Becker, 2001). As cidades são os nós das unidades regionais de transportes, e de comunicação, fundamentais para a conexão e geração de fluxos na região através de suas características de atratividade.

Adicionalmente, Becker (2001) e Hervé (1998) indicam que a política de investimentos do governo (Projetos Brasil em Ação e Avança Brasil - IPAN e ISA, 2000) com o planejamento de novas vias de acesso, os "Eixos Nacionais de Integração e Desenvolvimento", não é dirigida para o desenvolvimento regional, mas para o escoamento da produção, garantindo a conectividade da região com níveis globais, dinamizando os pontos extremos. Em contraste com a estratégia do governo federal, as responsáveis pela capilaridade do sistema urbano da região são as cidades e as estradas vicinais. Sem uma política específica para estas cidades, seu desenvolvimento continuará a exibir as marcas de uma evolução desordenada.

Nossa proposta de trabalho baseia-se no cenário proposto por Becker (2001), onde as cidades são os nós que garantem: (a) conectividade e difusão a partir dos eixos; e (b) as interações com os processos locais como conversão de uso do solo, mudança de atividade preponderante, ou mesmo a presença de ação endógena de interesses ambientais e sociais. Desta forma, será postulada uma metodologia para gerar a geometria das redes a partir da geometria das áreas, integrando o "espaço de lugares" e o "espaço de fluxos" e (Castells, 1999), ou ainda o "espaço de fixos" e de "fluxos" (Santos, 1978).

Este capítulo discute a seguir a questão das redes urbanas na Amazônia, seguido de uma descrição genérica sobre os modelos de interação espacial, finalizando com uma proposta metodológica inicial, que será melhor definida ao longo do desenvolvimento da tese.

As redes urbanas na Urbanização Contemporânea da Amazônia

Bases teóricas estão se desenvolvendo para entender e descrever o processo de urbanização contemporânea (a partir de 1990) na Amazônia. A questão tornou-se complexa quanto a seus elementos, relações, funcionalidade e arranjos espaciais resultantes, uma vez que a maioria dos núcleos são pequenos, com funções similares e distribuição desigual, com fracas articulações entre os núcleos e forte primazia. A Rede Urbana Regional passou a ser um dos focos centrais de discussão sendo

questionada quanto a sua existência, articulação e implicações no processo de ocupação e urbanização do território (Becker, 1998).

Há autores que explicam o fenômeno de urbanização através da ação de forças atuantes no nível de análise local (comunidade-município), regional (estado e instituições de governo regional) e global (empresas transnacionais), constituindo uma urbanização regional desarticulada (Browder e Godfrey, 1997). Conforme os centros urbanos são incorporados a economia nacional, tornam-se também localmente desarticulados das metrópoles regionais tradicionais, criando um mosaico de espaços sociais fragmentados. A construção sócio-espacial resultaria em dois tipos básicos de fronteiras de urbanização: (a) populista - onde o espaço social é dominado por trabalhadores autônomos, atraídos pela oportunidade de exploração de recursos naturais; e (b) corporativista - resultante de projetos de desenvolvimento planejados pelo Estado (Browder e Godfrey, 1997).

Em contrapartida, outro grupo de autores defende a existência de uma rede urbana regional, responsável pelo processo de urbanização, onde as cidades crescem e interagem e vários sistemas isolados realizam suas funções, completando a rede (Matzenetter, 1981; Corrêa, 1987). Nesta perspectiva, a rede urbana na Amazônia caracterizava-se por um padrão espacial dendrítico até 1960, comandada por Belém. A partir de 1970, as transformações ocorridas na região geraram novos padrões espaciais, produzindo uma rede cuja topologia não pode ser reduzida a um padrão dendrítico tradicional (Corrêa, 1997).

Em seu estudo das configurações territoriais da Amazônia, Hervé (1998) divide a rede urbana Amazônica em quatro sistemas:

- Sistema Belém, estradas Transamazônica e Belém - Brasília, o mais completo e mais denso;
- Ao longo da BR364, entre Cuiabá e Rio Branco;
- O sistema de Manaus e da calha do rio Amazonas, menos denso e menos integrado;
- O sistema periférico e localizado de São Luís, na transição entre o Nordeste e Amazônia.

Ribeiro (1998) utilizou-se das redes de produção, de distribuição e de gestão para identificar o papel e a organização espacial dos centros urbanos da Amazônia de

1960 a 1990. Definiu uma tipologia dos nós da rede urbana a partir da posição dos centros urbanos nas três redes analisadas e verificou que em cada rede, os centros apresentam desempenhos diferenciados. Observou por exemplo que na *Rede de produção* os principais centros se destacam pela comercialização das atividades agropecuária, extrativa vegetal e exploração mineral. Estes mesmos centros, na *Rede de distribuição* correspondem a centros de baixa hierarquia, onde predominam os centros locais, e na *Rede de gestão* expressam limitada ou ausente função.

Nesta visão, na rede urbana da Amazônia cada cidade teria um papel geral e outro específico, relacionando-se com cidades próximas e distantes diferentemente em função da intensidade dos fluxos entre elas.

Becker (2001) ao identificar modelos do processo de ocupação do território Amazônico identifica dois modelos de ocupação que se expressam em modelos espaciais distintos:

- (1) No modelo de visão externa ao território, que afirma a soberania e privilegia as relações com a metrópole, também chamado de *modelo exógeno*, o modelo espacial básico é o das redes de articulação externa. Estas redes são formadas por vias de circulação e seus nós – núcleos de produção e concentração para exportação. São as redes de transporte e de telecomunicações pelas quais trafegam os fluxos de mão-de-obra, capital e informação;
- (2) No modelo de visão interna do território, que privilegia o crescimento e a autonomia locais, também chamado de *endógeno*, o modelo espacial baseia-se em áreas, relativamente extensas e isoladas, com produção e população local.

A região Amazônica é marcada atualmente pela coexistência conflitiva dos modelos endógeno e exógeno. Ainda segundo Becker (2001), o ano de 1996 estabelece um marco na evolução do interesse nacional e das políticas públicas contemporâneas: a formação de imensos corredores ecológicos para proteção ambiental pelo o que ela chama de vetor técnico-ecológico (VTE) – vetor entendido como força resultante da coalescência de múltiplos projetos que dominaram a dinâmica regional entre 1985 e 1986. Ao mesmo tempo o governo federal retoma o planejamento através do projeto Brasil em Ação, dinamizando o chamado vetor técnico-industrial (VTI) propondo implantação de grandes corredores de desenvolvimento, os corredores de

transportes. Políticas paralelas e conflitantes que expressam as forças econômicas e político-ideológicas diversas, em parcerias externas e domésticas que interferem na apropriação e uso do território.

Modelos de interação espacial

Pode-se definir *interação espacial* como o movimento de pessoas, mercadorias, capital e informação através do espaço geográfico resultante de um processo de decisão (Batten e Boyce, 1986, citados em Fisher, 2000), o que incluiria vários comportamentos tais como migração, "viagem-para-o-trabalho", compras, fluxo de mercadorias, de capital, de comunicação, entre outros.

Um modelo de interação espacial é geralmente empregado para prever o tamanho e a direção de fluxos espaciais usando variáveis independentes que medem alguma propriedade estrutural da área que está sendo modelada, em termos de origem, destino e fatores de separação espacial. Por exemplo o padrão do fluxo "viagem-para-o-trabalho" pode ser predito através de variáveis estruturais tais como a distribuição de trabalhadores, a distribuição dos empregos e os custos da viagem.

Um tipo de modelo de interação espacial são os modelos gravitacionais que baseiam-se na lei de atração gravitacional de Newton - a força de atração F entre dois corpos é produto de suas massas m_1 e m_2 , dividido pelo quadrado da distância entre eles d_{12} , ou seja:

$$F = G m_1 \cdot m_2 / d_{12}^2$$

onde G é a constante universal da gravidade.

No contexto geográfico, a F corresponde a um número que reflete o fluxo entre duas regiões (número de viagens por exemplo), e a massa seria uma variável estrutural, como população. Pode-se então estimar a capacidade de uma região gerar ou atrair fluxos, representando a distância em termos físicos ou formas alternativas tais como tempo ou custo da viagem. Há vários pressupostos para o modelo gravitacional que devem ser observados:

- (a) O tamanho do fluxo é proporcional à variável estrutural que mede a capacidade da região de origem gerar fluxos e à variável estrutural que mede a capacidade de atração de fluxo pela região de destino;
- (b) A interação entre a região de origem e destino decai com o quadrado da distância entre elas. Para ter sentido geográfico pode ser utilizada qualquer

outra potência desde que a evidência empírica assim o descreva, o que é chamado de efeito da fricção espacial .

Variações deste modelo básico são os modelos com as restrições de origem ou produção (fluxo de origem conhecido), de destino ou atração (fluxo no destino conhecido), de restrição dupla - produção e atração (ambos fluxos conhecidos) e o modelo de máxima entropia. Para descrição detalhada destes modelos, recomenda-se a leitura de Bailey (1995).

O modelo de interação espacial pode ser utilizado por exemplo para representar os fluxos de viagens e atividades entre as áreas na cidade, nos "land-use-transportation models", que são modelos de simulação urbana usados para estudo e manejo de sistemas urbanos. Estes por sua vez são compostos de modelos independentes de uso do solo e de modelos de viagem, com mecanismos integrados ou mais lassos de conexão entre eles. Os modelos de uso do solo são usados para prever medidas demográficas e econômicas de atividades provenientes do uso da terra que descrevem a população (normalmente em termos de renda e emprego) e ambiente construído, para uma dada área urbana. Modelos de viagem são usados para prever padrões de viagem na rede de transporte, simulando padrões de viagem em função de atividades humanas, comumente consideradas em termos de uso do solo, assim como características da rede de transportes, comumente considerados em termos de acessibilidade (Miller et al., 1998, citado em Torrens, 2000).

Baseados também na aplicação do Modelo Gravitacional, Lemos et al.(2000) identificaram uma configuração regional brasileira atual, através dos pólos econômicos e suas áreas de influência. Estas áreas foram identificadas através do uso de Sistema de Informações Geográficas, com base no potencial de interação econômica entre as unidades espaciais e na correspondente hierarquia de poder de atração econômica no espaço. Neste caso utilizaram a variável estoque no modelo gravitacional como *proxy* do fluxo de população e de mercadorias. Definiram a hierarquia dos pólos a partir da massa salarial dos setores agropecuário, industrial e de serviços. Mediram o índice de interação espacial das microrregiões geográficas (MRGs) com os pólos estimando a força de atração de um pólo perante as demais MRGs na razão direta da massa salarial total e inversa do quadrado da distância.

Definiram 11 áreas de polarização, três delas na Amazônia, dominadas por Manaus, Belém e Brasília/Goiânia.

Para gerar cenários da evolução espacial da atividade econômica na China, Plutzer et al. (2000) utilizaram imagens de luzes noturnas do sistema DMSP como indicadores de atividade socioeconômica. Com uso de Sistema de Informação Geográfica, integraram informações de topografia, infra-estrutura (rodovias e ferrovias) e demografia, representados em grades de densidade, para gerar superfícies de probabilidade de mudança. A simulação da evolução temporal desta superfície de probabilidade foi realizada através do Modelo Gravitacional de Interação Espacial, implementado no sistema através de técnicas de autômatos celulares. Vários cenários foram gerados, e o mérito do trabalho está nas técnicas desenvolvidas para auxiliar o planejamento urbano e de recursos tais como infra-estrutura e energia.

Metodologia

A integração entre modelos de fluxo e estudos de área é um desafio metodológico importante na área de Análise Espacial. Os principais exemplos da literatura dizem respeito a modelos combinados de uso do solo e transporte urbano. No domínio de planejamento regional, não conhecemos referências que indiquem como esta integração deve ser realizada. Deste modo, consideramos que este trabalho poderá contribuir para o avanço do conhecimento e de desenvolvimento de ferramentas nesta área de estudo.

Do ponto de vista de Análise Espacial, o desafio é encontrar formas de transformação entre as representações computacionais associadas aos espaços de fluxo (modelos de interação espacial) e aquelas associadas aos espaços de lugares (modelos de regressão espacial e indicadores de autocorrelação espacial), mantendo a consistência com os fenômenos socioeconômicos representados.

A metodologia proposta considera que é conveniente considerar a existência de uma escala intermediária entre a escala de áreas (local) e as escalas de fluxos inter-regionais. Esta escala intermediária corresponde a redes de fluxos locais em sub-regiões, e nosso trabalho buscará computar estes fluxos locais a partir da “escala de lugares”.

Nosso postulado é que, em uma sub-região da Amazônia, as técnicas de “clustering” espacial e regressão espacial (discutidas no capítulo 4) podem ser usadas para definir regiões homogêneas na área de estudo. Estas regiões podem ser representadas por “lugares centrais”, que consolidam os fluxos locais. A integração deste “lugares centrais” em escala regional irá produzir uma rede local.

Deste modo, nossa metodologia pretende passar da escala local, representada através de regionalizações de áreas, para a escala regional através de uma proposta de topologia de redes, inferindo as conexões e nós da rede a partir das áreas. Pretende-se ainda, a partir da definição de uma rede regional, integrá-la às redes macrorregionais.

A Figura 5.1 apresenta uma visão pictórica da proposta: (a) inicialmente, partindo-se da escala municipal, define-se regiões homogêneas ; (b) para cada região um centro será selecionado como nó da rede, definindo-se a escala subregional; (c) as conexões e fluxos serão estabelecidos a partir das regiões; (d) finalmente esta rede poderá ser integrada às redes de escala macrorregionais, com conexões também externas à Amazônia.

Pretende-se estudar o processo de urbanização na década de 90, para os quais acredita-se ser viável o levantamento e aquisição de dados censitários, sócio-econômicos e de imagens de satélite necessários.

Inicialmente pretende-se trabalhar com regionalizações utilizando variáveis pertinentes ao processo de urbanização contemporânea, trabalhando-se em **escala local**.

Para esta primeira fase a escolha de variáveis é fundamental. Baseados na literatura corrente pretende-se definir quais variáveis serão indicadoras do processo de urbanização (variável dependente) e quais variáveis poderiam ser utilizadas para explicar e/ou sustentar este processo (variáveis explicativas). Desta seleção, decorre que estaremos trabalhando com um modelo reduzido, simplificado, do complexo processo de urbanização. A definição destas variáveis será também restrita pela disponibilidade de dados.

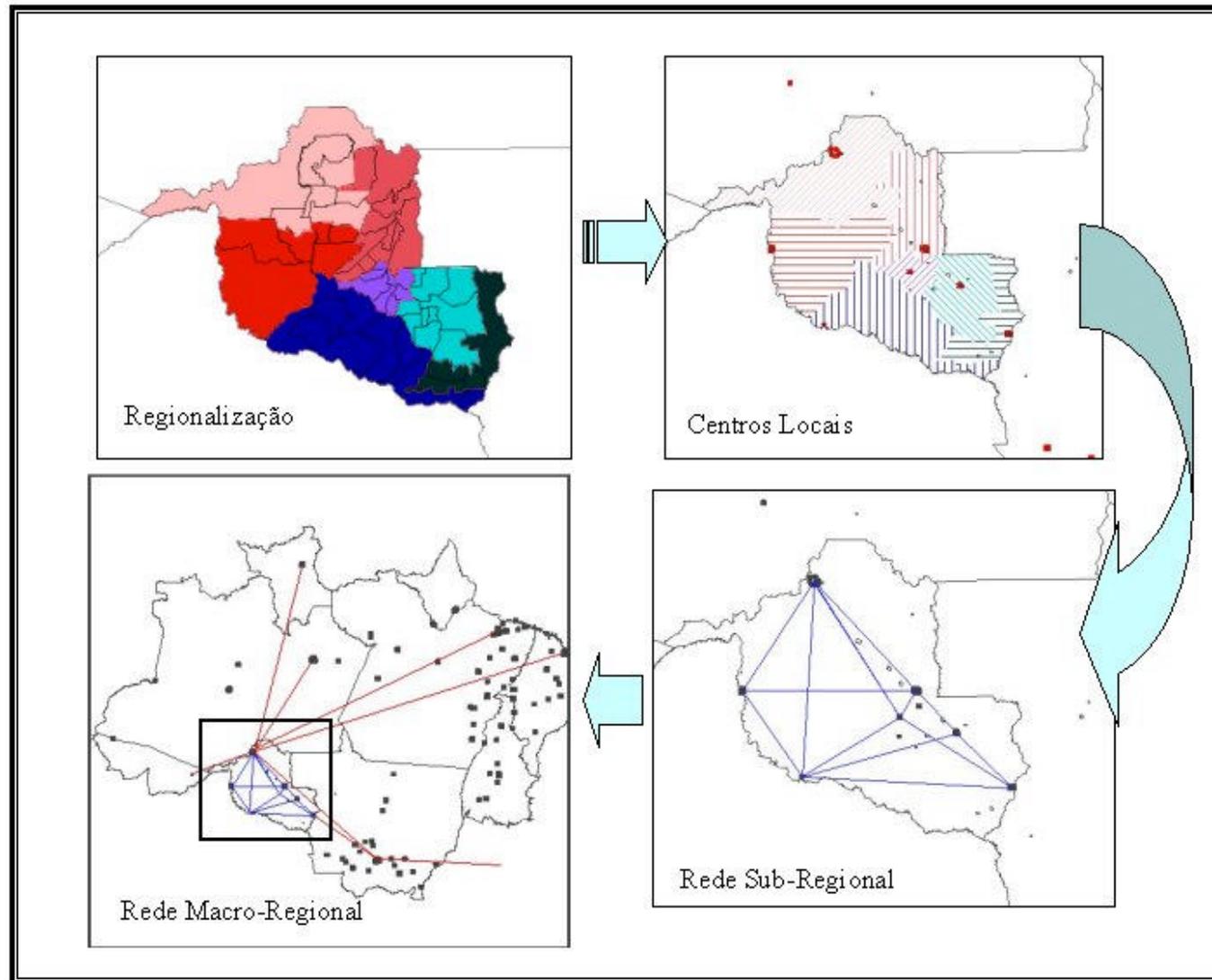


Figura 5.1 - Exemplo hipotético - Interações entre a escala local, representada por regionalizações de áreas, e as escalas sub-regional e macro-regional, representadas por topologias de redes.

Assim como realizado no capítulo 4 para as taxas de desmatamento, espera-se definir regiões com processo de urbanização similar, descrito através de variáveis indicadoras. Desta forma, a Amazônia será compartimentada em áreas a partir da escala local (municípios), utilizando para tanto, as estatísticas de autocorrelação espacial.

Estas regiões definirão regimes espaciais distintos com os quais pretende-se verificar a regressão espacial entre as variáveis indicadoras de urbanização e as variáveis explicativas.

Da análise de regressão espacial com regimes espaciais distintos, espera-se selecionar, dentre o conjunto de variáveis utilizadas, aquelas que explicam o processo de desmatamento e assim poderiam ser *proxies* de demanda ou geradoras de fluxo.

Nesta segunda fase de desenvolvimento metodológico, espera-se utilizar técnicas que permitam a definição de uma rede em **escala regional**, a partir da regionalização efetuada para áreas na escala local.

Para caracterizar a rede urbana na escala regional, identificando as posições dos “lugares centrais”, ou os nós regionais, este trabalho fará uso de imagens de luzes noturnas do sensor DMSP/OLS. Como mostrado no capítulo 3, as luzes noturnas constituem-se indicadores de localidades com atividade humana intensa, relacionada à população urbana e consumo de energia elétrica.

A conectividade entre estes centros regionais será definida a partir da regionalização anterior e os fluxos serão modelados através do uso de modelos de interação espacial. A partir da formulação geral de modelos de interação espacial (Haynes e Fortheringham, 1984; Fortheringham, 1989), pretende-se definir parâmetros de demanda e atratividade em função das variáveis explicativas do processo de urbanização.

Para evoluir para o nível **macro-regional**, a rede regional deverá, além de ser simplificada, ter incluídos os nós externos à região que representam os condicionantes exógenos ou seja, as forças atuantes sobre os nós e as conexões, que interferem nos fluxos regionais.

Referências Bibliográficas

- Alves, D.; Meira Filho, L. G.; D'alge, J.C.; Mello, E.M.K.; Moreira, J.C.; De Medeiros, J.S. (1991) The Amazonia Information System. *In: ISPRS Archives, Commision VI*, 259-266
- Amaral, S.; Câmara, G.; Quintanilha, J.A. (2000) Análise Exploratória das relações espaciais do desflorestamento na Amazônia Legal Brasileira. *In: GISBRASIL 2000*, Salvador-BA.
- Andersen, L.E.; Reis, E.J. (1997) Deforestation, development and government policy in the Brazilian Amazon: an econometric analysis. Texto para discussão n° 513. Rio de Janeiro, IPEA.
- Antoniazzi, M. (1980) A Ocupação Rural e o Novo Sistema Urbano nas Áreas de Colonização ao Longo da BR-364 em Rondônia. Tese de Mestrado em Planejamento Regional, IPPUR, UFRJ.
- Aragón, L.E. (1983) Mobilidade Geográfica e Ocupacional no Norte de Goiás: Um exemplo de Migração por Sobrevivência. *In: Mougeot, J.A.; Aragón, L.E., O Despovoamento do Território Amazônico. Cadernos NAEA*, Belém, UFPa/NAEA.
- Aragón, L.E. (1989) Recent Urbanization and Rural Urban Migration in the Brazilian Amazon Region. *In: Acta Latinoamericanas de Varsóvia, Regionais, Publicações do Departamento da Escola de Geografia e Estudos*, Varsóvia.
- Bachi, R. (1957). Statistical Analysis of Geographical Series. *Central Bureau of Statistics, Kaplan School, Hebrew University*.
- Bailey, T.C.; Gatrell, A.C. (1995). *Interactive spatial data analysis*. Essex, England. Longman Scientific & Technical.
- Bak, P. (1996). *How Nature Works: The Science of Self-organized Criticality*. New York. Copernicus.
- Ball, G.H.; Hall, D.J. (1970). A clustering technique for summarizing multivariate data. *Behavioural Science*, 12:153-155.
- Batten, D.F.; Boyce, D.E. (1986) Spatial interaction, transportation, and interregional commodity flow models. *In: Nijkamp, P., Handbook of regional and urban economics*, North Holland, Amsterdam, Regional Economics. 357-406.
- Becker, B. K. (1977) A implantação da Rodovia Belém-Brasília e o Desenvolvimento Regional. Rio de Janeiro, IGEO/UFRJ.
- Becker, B. K. (1985). Fronteira e Urbanização Repensadas. *Revista Brasileira de Geografia*, 51 (3-4):357-371.
- Becker, B. K. (1995) Undoing Myths: The Amazon - An Urbanized forest. *In: Clüsener, G. M. , Sachs, I., Brazilian Perspectives on sustainable development of the Amazon region - Man and Biosphere Series*, Paris, UNESCO e Parthenon Publish Group Limited. 53-89.
- Becker, B. K. (1998) A Especificidade do Urbano na Amazônia: Desafios para políticas Públicas Consequentes. Estudo elaborado para a Secretaria de Coordenação dos Assuntos da Amazônia. Legal - Ministério do Meio Ambiente. Rio de Janeiro, Ministério do Meio Ambiente. 60p.
- Becker, B. K. (2001a) Mesa Redonda: Sensoriamento Remoto e a questão urbana na Amazônia. *In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Foz do Iguaçu - PR.

- Becker, B. K. (2001b) Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários? (versão preliminar), Rio de Janeiro, Laboratório de Gestão do Território/UFRJ.
- Becker, B. K. with collaboration of Miranda, M.P. (1987) O papel das cidades na ocupação da Amazônia. *In: Seminário de tecnologias para os assentamentos humanos no trópico úmido*, IPEA/ECLAC, Manaus.
- Bitoun, 1980 (1980) Urbanização e Dinâmica Obrigatória: Imperatriz, João Lisboa e Montes Claros, 1970-1980. IPSA.
- Browder, J.O.; Godfrey, B.J. (1997). *Rainforest Cities: Urbanization, development, and globalization of the Brazilian Amazon*. N.Y. Columbia University Press.
- Burgess, J.C. (1993). Timber production, timber trade and tropical deforestation. *AMBIO*, 22 (2-3):136-143.
- Burt, E.; Barber, M. (1996). *Elementary Statistics for Geographers*. New York. The Guilford Press.
- Castells, M. (1999). *A sociedade em rede*. São Paulo. Paz e Terra.
- Corrêa, R.L. (1997). *Trajetórias Geográficas*. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil.
- Coy, M. (1989) Relações entre Campo e Cidade e áreas de Colonização Governamental e Particular. Os Exemplos de Rondônia e Norte Mato-Grossense. *In: Actas Latinoamericanas de Varsóvia, Regionais*, Departamento da Escola de Geografia e Estudos, Varsóvia.
- Croft, T.A. (1978). Nighttime images of the earth from space. *Scientific America*, 239:86-98.
- Ebdon, D. (1988). *Statistics in Geography* Oxford. Blackweell.
- Elvidge, C.D.; Bauhg, K.E.; Dietz, J.B.; Bland, T.; Sutton, P.; Kroehl, W. (1999). Radiance Calibration of DMSP-OLS Low-Light Imaging Data of Human Sttlements. *Remote Sensing of Environment*, 68:77-88.
- Elvidge, C.D.; Bauhg, K.E.; Kihn, E.A.; Kroehl, H.W.; Davis, E.R. (1997a). Mapping city lights with nighttime data from the DMSP Operational Linescan System. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63 (6):727-734.
- Elvidge, C.D.; Bauhg, K.E.; Kihn, E.A.; Kroehl, H.W.; Davis, E.R.; Davis, C.W. (1997b). Relation between satellite observed visible-near infrared emissions, population, economic activity and electric power consumption. *International Journal of Remote Sensing*, 18 (6):1373-1379.
- Faissol, S. (1979). As grandes cidades brasileiras. Dimensões básicas de diferenciação e relações com o desenvolvimento econômico. Um estudo de análise fatorial. *Revista Brasileira de Geografia*, 32:87-129.
- Fisher, M. M. (2000) Spatial Interaction Models and the role of Geographic Information Systems. *In: Fotheringham, A.S. & Wegener, M., Spatial Models and GIS*, London, Taylor & Francis. 33-43.
- Fotheringham, A.S.; Kelly, M.E. (1989). *Spatial Interaction Models: Formulation and Applications*. Dordrech. Kluwer Academic Publishers.
- Frohn, R.C., Dale, V.H., Jimenez, B.D. (1990). Colonization, road development and deforestation in the brazilian Amazon Basin of Rondonia. *Environmental Sciences Division Publication No. 3394. ORNL/TM-11470*.

- Gaile, G.L.; Burt, E. (1980). *Directional Statistics. Concepts and Techniques in Modern Geography: GeoBooks*. Norwich, England. Institute of British Geographers.
- Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R.L. (Eds.). (1996). *Amazonian Deforestation and Climate*. Chichester: John Wiley.
- Godfrey, B.J. (1990). Boom towns of the Amazon. *Revista Geográfica*, 80 (2):
- Haynes, K.E.; Fotheringham, A.S. (1984). *Gravity and Space Interaction Models*. London. Sage.
- Hervé, T. (1998). *Configurações Territoriais na Amazônia*. Paris. École Normale Supérieure.
- IBAMA, 1997 (1997). PROARCO.
- IBGE (2001). Censo Demográfico 2000.:
- IBGE, ORSTOM; CREDAL; (1997) SAMBA 2000 CD-ROM,
- Imhoff, M.L.; Lawrence, W.T.; Elvidge, C.D.; Paul, T.; Levine, E.; Privalsky, M.V.; Brown, V. (1997a). Using Nighttime DMSP/OLS Images of City Lights to Estimate the Impact of Urban Land Use on Soil Resources in the United States. *Remote Sensing of Environment*, 59:105-117.
- Imhoff, M.L.; Lawrence, W.T.; Stutzer, D.C.; Elvidge, C.D. (1997b). A Technique for Using Composite DMSP/OLS "City Lights" Satellite Data to Map Urban Areas. *Remote Sensing of Environment*, 61:361-370.
- INPE, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - (1999) Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite 1997-1998 - Separata. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - (2000) Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite 1999-2000. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- IPAN, Instituto de Pesquisas Ambientais da Amazônia; ISA - Instituto Sócio Ambiental (2000) Avança Brasil: Os custos ambientais para a Amazônia. Relatório do Projeto "Cenários futuros para a Amazônia".
- Kramer, H. J. (1994) A.19 DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) and A.19.1 DMSP data availability: visible and infrared imagery. *In: Observation of the Earth and its environment: Survey of Missions and Sensors*, Berlin, Springer-Verlag. 61-67.
- Krugman, P.R. (1996). *The Self-Organizing Economy*. Cambridge, Mass., and Oxford. Blackwell Publishers.
- Lambin, E.F. (1994). *Modelling Deforestation Processes: A Review*. TREES Series B: Research Report no1. Luxembourg.
- Landis, J.D. (1994). The California Urban Future Model: a new generation of metropolitan simulation models. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 21:399-422.
- Lemos, M. B.; Diniz, C.C.; Guerra, L.P.; Moro, S.; Diniz, B.P.C.; Boschi, R.F. (2000) A nova geografia econômica do Brasil: uma proposta de regionalização com base nos pólos econômicos e suas áreas de influência. *In: IX Seminário sobre a Economia Mineira*, Diamantina.
- Machado, L.O. (1979) Urbanização e Política de Integração no Norte de Goiás. Tese de Mestrado em Geografia, IGEO, UFRJ.
- Machado, L.O. (1982). Urbanização e Migração na Amazônia Legal: Sugestão para uma abordagem geopolítica. *Boletim Carioca de Geografia*, 32:

- Machado, L.O. (1984) Significado e Configuração de uma Fronteira Urbana na Amazônia. *In: IV Congresso Brasileiro de Geografia, AGB, São Paulo.*
- Machado, L.O. (1999). Urbanização e Mercado de trabalho na Amazônia Brasileira. *Cadernos IPPUR*. (1). 109-138.
- Martine, G (1987) Migração e Absorção Populacional no Trópico Úmido. *In: Seminário sobre Tecnologias para os Assentamentos no Trópico Úmido, CEPAL/IPEA, Manaus.*
- Martine, G.; Peliano, J.C. (1978) Migrantes no mercado de trabalho metropolitano, Brasília, IPEA.
- Martine, G; Turchi, L. (1990) A questão da Urbanização na Amazônia: Realidade e Significado. *In: Ciência e Tecnologia no Processo de Desenvolvimento da Região Amazônica. Série Estudo para Planejamento em Ciência e Tecnologia, Brasília, SCT/DR; CNPq; CEST.*
- Matzenetter, J. (1981). O sistema urbano do norte e nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia*, 43 (1):
- Miller, E.J.; Kriger, D.S.; Hunt, J.D. (1998). Integrated Urban Models for simulation of transit and land-use policies. *TCRP Project H-12,:*
- Miranda, E. E. (1999). A floresta Urbanizada. *Revista Brasileira de Ecologia do Século XXI*, 41:9-10.
- Mitschein, T.A.; Miranda, H.R., Paraense, M. (1989). *A Urbanização Selvagem e Proletarização Passiva*. Belém. CESUP.
- Monte-Mór, R.L.M. (1998) Health, the Environment and Urban-Rural Relations in Amazonia. *In: Chatterji, M.; Munasinghe, M.; Ganguly, R., Environment and Health in Developing Countries, New Delhi, India, A.P.H. Pub.Corporation. 149-156.*
- Myers, N. (1989). *Tropical deforestation: rates and causes*. London. Friends of the Earth.
- Oliveira, F.G. (1978) População de Baixa Renda na Cidade de Rio Branco: Situação Anterior, Formas de Inserção/Redistribuição no Mercado de Trabalho. Tese de Mestrado, COPPE, UFRJ.
- Parzen, E. (1962). On the estimation of a probability density and mode. *Annals of Mathematical Statistics*, 33:1065-1076.
- Plutzar, C.; Grübler, A.; Stojanovic, V.; Riedl, L.; Pospischil, W. (2000) A GIS-based Approach for Modeling the Spatial and Temporal Development of Night-time Lights. *In: Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII, Beiträge zum AGIT-Symposium, Strob, Blashke, Griesebner, Salzburg. 389-394*
- Ribeiro, M.A.C. (1998) A complexidade da rede urbana amazônica: três dimensões de análise. Tese de doutorado, Instituto de Geociências - Departamento de Geografia, UFRJ.
- Rodrigues, M de L. (1978) Uma forma de ocupação espontânea na Amazônia - Povoados do Trecho Norte da Belém-Brasília. IGEO, UFRJ.
- Rosemblatt, M. (1956). Remarks on some non-parametric estimates of a density function. *Annals of Mathematical Statistics*, 27:832-837.
- Santos, M. (1978). *Por uma geografia nova*. São Paulo. Hucitec.
- Santos, M. (1982). Organização do Espaço e Organização Social: O Caso de Rondônia. *Boletim Carioca de Geografia*, 32.

- Sawyer, D.R. (1987) Urbanização da Fronteira Agrícola no Brasil. *In: Urbanização da Fronteira*, Rio de Janeiro, PUBLIPUR/UFRJ.
- Sutton, P. (1997a). Modeling population density with night-time satellite imagery and GIS. *Computer Environment and Urban Systems*, 21 (3/4):227-244.
- Sutton, P.; Roberts, D.; Elvidge, C.D.; Meij, H. (1997b). A comparison of Nighttime Satellite Imagery and Population Density for the Continental United States. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 64 (11):1303-1313.
- Torrens, P. M. (2000). *How land transportation models works*. Working Paper Series. London. Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London.
- Torres, H. da G. (1991) Migração e o Migrante de origem Urbana na Amazônia. *In: Léna, P; Oliveira, A.E., Amazônia: a Fronteira Agrícola Vinte Anos Depois*, Belém, SCT/Museu Paraense Emilio Goeldi.
- Wegener, M. (2000) Spatial Models and GIS. *In: A.S., Fotheringham;M., Wegener, Spatial Models and GIS - New Potential and New Models*, London, Taylor & Francis. 279.
- Welch, R. (1980a). Monitoring urban population and energy utilization patterns from satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 9:1-9.
- Welch, R.; Zupko, S. (1980b). Urbanized area energy patterns from DMSP data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 46 (2):201-207.
- Whittle, P. (1958). On the smoothing of probability density functions. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 55:549-557.
- Zipf, G. K. (1949). *Human Behaviour and the principle of least effort*. Cambridge, Massachussets.

Cronograma

Para continuidade deste trabalho prevê-se a realização das seguintes etapas, em 18 meses, a partir do segundo trimestres de 2002 até o terceiro trimestre (setembro) de 2003 - data limite para conclusão do programa, conforme apresentado na Tabela abaixo:

Cronograma de trabalho

Etapa	Descrição	2002			2003		
		2	3	4	1	2	3
1	Definir variáveis para regionalizar urbanização e modelar rede	•					
2	Adquirir dados / Organizar Banco de Dados Geográfico	•	•				
3	Explorar Padrões de Urbanização Regional -1960 a 1990		•	•			
4	Regionalizar urbanização na Amazônia - década de 90		•	•			
5	Regressão com regimes espaciais para urbanização		•	•			
6	Processar imagem DMSP/OLS e identificar centros locais			•	•		
7	Definir topologia de rede - escala sub-regional				•		
8	Definir rede macro-regional					•	
9	Avaliação dos resultados					•	
10	Edição do Documento Final					•	•

Apêndice 1 - Descrição das métricas e estatísticas de Análise Espacial utilizadas.

ANÁLISE DE PONTOS

Propriedades de Primeira-Ordem da distribuição de pontos - Distribuição Espacial Geral de Pontos

As propriedades de primeira-ordem da distribuição de pontos (eventos) são globais, representam o padrão dominante da distribuição, investigando se a distribuição é centralizada, quão dispersa é, e se existe uma orientação ou direção de dispersão.

Estatísticas Centrográficas - índices que estimam os parâmetros básicos sobre a distribuição de eventos pontuais, tais como:

MC - Centro médio

MDN - Centro de distância mínima (centro mediano)

XYD - Desvio padrão das coordenadas X e Y

SDD - Desvio de distância padrão

SDE - Elipse do desvio padrão (desviacional?)

São medidas centrográficas por serem o equivalente em 2 dimensões aos momentos estatísticos básicos da distribuição de uma variável - média, desvio padrão, assimetria e curtose.

Centro Médio - descritor mais simples de uma distribuição. Equivale à média das coordenadas X e Y, também chamado de centro de gravidade - representa o ponto na distribuição onde todos os pontos estão balanceados se existissem em um plano e o centro médio fosse o apoio.

Para o caso de localização que envolve 2 variáveis, o centro médio pode ser o ponto onde a soma de todas as diferenças entre a média da coordenada X e todos os outros X é zero, idem para Y.

Centro Médio Ponderado - obtido através da ponderação de cada coordenada por um peso, como população por exemplo. A vantagem é ter as características de áreas associadas aos pontos e ao centro de gravidade.

Centro de Distância Mínima - ou centro mediano (mas não é uma mediana convencional). Estatística que define o ponto no qual a soma das distâncias à todos os outros pontos é a menor possível. Também chamada de Mediana Euclidiana ou

Centro de rota mínima. (é igual a somatória das mínimas distâncias entre um ponto e o centro de distância mínima, calculado iterativamente). É a localização onde a distância a todos os eventos é a menor (mínima).

Desvio Padrão "bruto" das coordenadas X e Y - medida mais simples para descrever dispersão, orientação e forma da distribuição de uma variável. Indica o grau da dispersão. Representado por um retângulo, que dá as direções E-W e N-S.

Problemas: não dá uma única estatística resumida da dispersão nos locais dos eventos e são 2 estatísticas separadas (dispersão em X e em Y); dá a medida na unidade do sistema de coordenadas, se é esférica, a unidade é grau decimal

Desvio Distância Padrão - ou **Distância Padrão** - dribla os problemas do desvio padrão bruto das coordenadas (acima). É o desvio padrão da distância de cada ponto ao centro médio, expresso em unidades métricas (pés, metros). É o equivalente bi-dimensional do desvio padrão. Pode ser representada por um vetor único. Representado por um círculo. Boa medida única da dispersão dos eventos em volta do centro médio.

Elipse Desviacional Padrão - Estatística para descrever a dispersão em duas dimensões, derivada da distribuição bivariada. Os desvios padrões nas direções X e Y são ortogonais e definem a elipse. Edbon (1988) rotaciona os eixos X e Y de modo que a soma dos quadrados das distâncias entre os pontos e os eixos são minimizadas.

É possível realizar **Testes Estatísticos** entre grupos de dados:

Diferenças entre os centros médios de duas amostras - deve-se testar a diferença entre as coordenadas X e Y. Deve-se pegar o centro médio de X, o centro médio de Y, o desvio padrão de X e o de Y, e aplicar um teste t.

A hipótese nula é que os centros são iguais e H1 que eles são diferentes. H1 deve considerar que X e Y são diferentes ou que pelo menos um deles é diferente.

Níveis de significância: $\alpha = < 0.05$ ou $\alpha = < 0.01$. Para a questão "um ou outro (X ou Y)" deve-se aplicar o critério de Bonferroni que divide o nível de probabilidade crítico pelo número de testes. Se quero $\alpha = < 0.05$ para rejeitar H0, então a probabilidade crítica para cada média deve ser 0.025, diferenças na média de X ou

na média de Y entre dois grupos devem render um nível de significância menor que 0.025. Para o caso de X e Y médios serem significativamente diferentes o nível de probabilidade crítica deve ser multiplicado pelo número de testes. Assim, para rejeitar H0 com $\alpha = 0.05$, então ambos testes (X e Y) devem ser significantes a um nível $\alpha = < 0.10 (0.05 * 2)$

Testes:

Igualdade de variâncias (quadrado dos desvios das amostras)

Variâncias são iguais, teste t para dois grupos de variância desconhecida

Variâncias diferentes, teste t para dois grupos de variância desconhecida e diferentes

Nível de confiança

Rejeita-se H0 se:

I Comparação - valor teste t (t_x ou t_y) é maior que o t crítico para $\alpha/2$.

II Comparação - os dois valores de t crítico são maiores que o t crítico para $\alpha * 2$

Diferenças no Desvio das Distâncias Padrão de duas amostras -Podem ser comparadas com teste de igualdade das variâncias. Calcula-se F, valor de maior variância no numerador. $F = 1.25$ para $p = < 0.05$ e 1.38 para $p = < 0.01$.

Diferenças nas elipses desviacionais padrões de duas amostras

Deve-se comparar: média de X, média de Y, ângulo de rotação, desvio padrão do eixo X transformado, do eixo Y transformado e área das elipses.

Diferença dos centros médios - como descrito anteriormente

Diferença dos ângulos de rotação - não há testes, julgamento subjetivo

Diferença nos desvios padrões dos eixos transformados - teste com variâncias iguais

Diferença de área entre as elipses - sendo área uma variância, a diferença pode ser comparada com um teste de variância igual. ($F = \text{areaA}/\text{AreaB}$)

Níveis de significância - são 6 parâmetros, teste fica complicado. Possível:

I Comparação - as duas elipses diferem em QUALQUER UM dos parâmetros - alfa crítico deve ser dividido pelo número de parâmetros que estão sendo testados

II Comparação - as duas elipses diferem em TODOS os parâmetros - alfa crítico deve ser multiplicado pelo número de parâmetros que estão sendo testados

OBS: Testes Formais são inferência consistente quando amostras são grandes. É comum a tomada de decisão baseando-se em julgamento subjetivo (caso de crimes para o depto de polícia).

Média e Variância Direcional - Métrica para identificar a localização de eventos - sistema de coordenada polar. Há um vetor (linha com direção e comprimento) de referência, normalmente 0 grau a partir do norte, e todas as localizações são definidas como desvios angulares deste vetor de referência. De 0 a 360 sentido horário. Pontos são representados por vetores no sistema de coordenadas polares.

Estatísticas ordinárias não podem ser usadas, deve-se usar funções trigonométricas, onde a entrada é um conjunto de vetores definidos como desvios angulares do vetor de referência. Grau decimal tem que ser convertido para radianos, e pode-se calcular o comprimento de cada vetor. Há várias estatísticas direcionais que usam o deslocamento angular.

Direção média - resultante de todos os vetores, ângulo da direção média: soma de todos os vetores. É o vetor a partir da origem até a resultante de todos os pontos. Num plano cartesiano seria a hipotenusa de um triângulo retângulo onde o valor de X é o comprimento do cateto adjacente e o valor de Y do oposto.

A dispersão ou variância dos ângulos são definidas por funções trigonométricas.

Calcula-se também a variância padronizada de 0 (sem) a 1 (máxima variabilidade).

Propriedades de Segunda-Ordem da distribuição de pontos - Análise de Distâncias

As propriedades de segunda-ordem da distribuição de pontos (eventos) referem-se a padrões sub-regionais ou padrões de "vizinhança" dentro da distribuição global. Identifica por exemplo regiões críticas ou "hot spots" onde o evento ocorre agrupadamente, fornecendo indícios de alguma condição particular do ambiente para que o evento esteja concentrado naquele local.

Índice do Vizinho mais próximo - compara a distância com o vizinho em relação a uma distância que seria esperada por acaso (aleatoriamente). Se a distância média observada for similar à distância esperada aleatoriamente, o índice (razão) deve ser próximo de 1; se for menor, ou seja, os pontos estão mais agrupados, o índice será menor que 1, evidenciando agrupamento (cluster); se for maior que 1, o evento é disperso. É um indicador de aleatoriedade de primeira-ordem.

Vizinhos próximos de Ordem K - depois de comparado a aleatoriedade com o primeiro vizinho mais próximo, qual o grau de aleatoriedade com o segundo vizinho mais próximo?? E o terceiro? E o Késimo vizinho? Este teste é realizado através da distância do vizinho mais próximo de ordem K. É uma medida para compreender a distribuição espacial geral. (não ir além do 100 vizinho, e valor= 1 é o aleatório). É possível comparar 2 distribuições diferentes ou a mesma no tempo.

Índice linear dos Vizinhos próximos - variação do anterior que considera a rede viária para cálculo das distâncias entre os vizinhos (Distância de Manhattan) mais próximos e o comprimento total da malha para cálculo da distribuição aleatória dos pontos.

ANÁLISE DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL

Matriz de Proximidade Espacial

Para estimar a variabilidade espacial de dados de área, uma ferramenta básica é a matriz de proximidade espacial W . Dados um conjunto de n áreas $\{A_1, \dots, A_n\}$, construímos a matriz W ($n \times n$), onde cada um dos elementos w_{ij} representa uma medida de proximidade entre A_i e A_j . Esta medida de proximidade pode ser calculada a partir de um dos seguintes critérios:

$w_{ij} = 1$, se o centróide de A_i está a uma determinada distância de A_j ; caso contrário $w_{ij} = 0$

$w_{ij} = 1$, se A_i compartilha um lado comum com A_j , caso contrário $w_{ij} = 0$

$w_{ij} = l_{ij}/l_i$, onde l_{ij} é o comprimento da fronteira entre A_i e A_j e l_i é o perímetro de A_i

Muitas vezes é importante especificar medidas de proximidade de diferentes ordens, chamados de *faixas de distância* ou de "*lags*". Por exemplo, é muito comum referir-nos às matrizes W^1 , ..., W^n , onde W^1 indica a proximidade espacial de primeira ordem (dentro de uma faixa de distância determinada), W^2 indica a proximidade espacial de segunda ordem (na faixa de distâncias subsequentes) e assim sucessivamente.

Média Espacial Móvel

Uma forma simples e útil de explorar a variação da tendência espacial dos dados é calcular a média dos valores dos vizinhos. Isto produz uma primeira aproximação da variabilidade espacial, pois a operação tende a produzir uma superfície menos descontínua (mais suave) que os dados originais, podendo ainda apresentar indicações de locais de transição entre regimes espaciais. Considerando a matriz de proximidade espacial W , a estimativa da média espacial móvel pode ser expressa como:

$$\hat{\mu}_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} y_j}{\sum_{j=1}^n w_{ij}}$$

Na equação acima, denotamos os valores do atributo em cada área por y_j ; p denominador será necessária se a matriz não tiver sido normalizada

Indicadores Globais de Autocorrelação Espacial

A técnicas de média móvel é útil para estimar variações de primeira ordem, mostrando padrões e tendências espaciais. Para muitos tipos de dados, também é muito importante explorar a dependência espacial, mostrando como os valores estão correlacionados no espaço.

Neste contexto, o conceito mais utilizado é o de *autocorrelação espacial*, que mede quanto o valor observado de um atributo numa região é independente dos valores desta mesma variável nas localizações vizinhas. Se existir uma dependência espacial, dizemos que a variável em questão exibe autocorrelação espacial positiva. Deste modo, o conceito de autocorrelação espacial mede o nível de interdependência geográfica entre as variáveis e a natureza e a força deste relacionamento.

Uma das formas de detecção de similaridade entre áreas é através do índice global de Moran I , dado pela fórmula:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2) \sum_{i \neq j} w_{ij}}$$

Na equação acima, temos:

n → Número de áreas,

y_i → Valor do atributo considerado na área i ,

\bar{y} → Valor médio do atributo na região de estudo

w_{ij} → Pesos atribuídos conforme a conexão entre as áreas i e j

Este indicador é uma medida de correlação espacial usada para detectar afastamentos de uma distribuição espacial aleatória. Tais afastamentos indicam a existência de padrões espaciais, como por exemplo aglomerado ou tendência espacial. Os desvios com relação à média de cada atributo são multiplicados pelos desvios da vizinhança, obtidos pela matriz de proximidade espacial, que representa a estrutura e/ou a dependência espacial das áreas envolvidas.

O índice de Moran testa se as áreas conectadas apresentam maior semelhança quanto ao indicador estudado do que o esperado num padrão aleatório. A hipótese nula é a de completa aleatoriedade espacial, quando o indicador se distribui ao acaso entre as áreas sem relação com a posição. De uma forma geral (embora isto não seja estritamente verdadeiro), o índice de Moran tende a ter valores entre -1 e 1, quantificando o grau de autocorrelação existente, sendo positivo para correlação direta, negativo quando inversa (Carvalho, 1997).

Se alterarmos a matriz de proximidade, de forma que a soma dos elementos de cada linha seja igual a 1, e definirmos uma variável auxiliar que representa desvios em relação à média ($z_i = y_i - \bar{y}$), temos que:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2}$$

Este índice pode ser generalizado para estimar a correlação espacial em diferentes faixas de distância ("*spatial lags*") e assim produzir um gráfico de correlação espacial, chamado de *correlograma*. Neste caso, o cálculo é feito substituindo-se os valores da matriz de proximidade espacial de ordem zero pelos correspondentes valores para a faixa de distância considerada.

Outra forma de detecção de similaridade entre áreas é através do índice **c de Geary** que é dado por:

$$c = \frac{\sum_{i,j} w_{ij} (x_i - \bar{x})^2}{2S_0 \sum_{i,j} w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}$$

O valor esperado para o coeficiente c de Geary é 1. Um valor observado menor do que 1 indica autocorrelação espacial positiva, enquanto que um valor observado maior que 1 indica autocorrelação espacial negativa.

Porém, ao invés dos valores dos índices I e c propriamente ditos, é comum o uso da inferência através do valor z padronizado. O valor de z é obtido através da subtração da média teórica e divisão deste resultado pelo desvio padrão teórico, como por exemplo para o índice de Moran:

$$z_I = (I - E[I]) / DP [I]$$

onde E[I] é a média teórica de I e DP[I] seu desvio padrão.

Um dos aspectos mais relevantes com relação ao índice de Moran e ao índice c de Geary é estabelecer sua validade estatística. Em outras palavras, será que os valores medidos representam correlação espacial significativa? Para estimar a significância do índice, será preciso associar a este uma distribuição estatística; para tanto, três abordagens são possíveis:

Normal Padrão: é a mais comum, e considera a variável em questão como tendo distribuição normal padrão, com média igual a 0 e variância igual a 1, a significância da estatística é obtida através da comparação direta do valor computado de z a sua probabilidade numa tabela normal padrão.

Distribuição aproximada ou Randomização: assume que cada valor observado tem a mesma probabilidade de ocorrência para qualquer localização, ou seja, a localização dos valores e seu arranjo espacial são considerados irrelevantes. Para um número suficiente de sub-regiões, e supondo que as variáveis aleatórias associadas a cada localização de atributo são independentes e normalmente, o índice I tem uma distribuição amostral que é aproximadamente normal com:

$$E(I) = -\frac{1}{(n-1)}$$

$$\sigma^2 = \frac{n^2(n-1)S_1 - n(n-1)S_2 - 2S_0^2}{(n+1)(n-1)^2S_0^2}$$

onde:

w_{ij} = Matriz de proximidade

n = números de regiões

$$S_0 = \sum \sum w_{ij} \quad \text{para } i \neq j$$

$$S_1 = \sum \sum (w_{ij} + w_{ji})^2 \quad \text{para } i \neq j$$

$$S_2 = \sum (\sum w_{kj} + \sum w_{ik})^2$$

Teste de pseudo-significância ou Permutação: neste caso, são geradas diferentes permutações dos valores de atributos associados às regiões. Cada permutação produz um novo arranjo espacial, onde os valores estão redistribuídos entre as áreas. Como apenas um dos arranjos corresponde à situação observada, podemos construir uma distribuição empírica de I . Se o valor do índice I efetivamente medido corresponder a um “extremo” da distribuição simulada, então efetivamente trata-se de evento com significância estatística.

Um valor de z positivo e significativo para o índice I de Moran indica correlação espacial positiva, ou seja, valores altos ou baixos estão mais agregados espacialmente do que estariam simplesmente pelo acaso. O mesmo seria evidenciado por um valor de z negativo e significativo para o índice c de Geary.

Por outro lado, um valor de z negativo e significativo do índice I de Moran e um valor z positivo e significativo do índice c de Geary indicam autocorrelação espacial negativa, isto é, um padrão regular (oposto à agregação).

Diagrama de Espalhamento de Moran

Uma maneira adicional de visualizar o índice de Moran foi proposta por Anselin (1996), e procura visualizar espacialmente o relacionamento entre os valores observados Z e os valores das médias locais WZ . A associação linear entre Z e WZ pode ser explorada para indicar os diferentes regimes espaciais presentes nos dados.

Esta visão formula o índice de Moran, apresentado na forma matricial, é dado por:

$$I = \frac{Z'WZ}{Z'Z}$$

Z é o vetor de desvios, (t indica o vetor transposto).

WZ é o vetor de média ponderada, onde cada elemento contém o valor da média dos atributos dos vizinhos. Este vetor é obtido pela multiplicação da matriz de proximidade espacial, com as linhas normalizadas (soma dos elementos da linha igual a 1), pelo vetor de desvios.

Nesta formulação, I é formalmente equivalente ao coeficiente de regressão linear que indica a inclinação da reta de regressão (β_0) de WZ em Z (Anselin, 1998). A interpretação do índice de Moran como um *coeficiente de regressão*, sugere o uso de um diagrama de espalhamento para visualizar a associação espacial entre o valor do atributo de cada elemento (z_i) com a média dos valores dos vizinhos (Wz_i), denominado de gráfico de espalhamento de Moran (Anselin, 1996).

Há duas maneiras de interpretar as informações do Diagrama de Dispersão de Moran:

1. Identificação de "outliers" - pontos no diagrama de dispersão que são extremos em relação à tendência central, refletida pela inclinação da regressão, podem ser "outliers" no sentido em que não seguem o mesmo processo de dependência espacial como a maioria das outras observações. Estes então podem ser considerados "bolsões" de não-estacionariedade, se estão espacialmente contíguos ou são pontos de borda. A presença de "outliers" pode ainda significar problemas com a

especificação da matriz de proximidade ou com a escala espacial de observação dos dados. Uma medida usada para os "outliers" é o resíduo normalizado (normed residual), que é o valor absoluto do resíduo dividido pela raiz quadrada da soma dos quadrados dos resíduos:

$$e_{i, norm} = e_i / \sqrt{\sum e_i^2}$$

onde e_i é o resíduo da regressão de Wy_i e y_i .

Os pares (Wy_i, y_i) são computados para valores padronizados, e os valores alheios ao intervalo de 2 desvios-padrão são considerados "outliers". Quatro tipos de associações espaciais podem ser obtidas para o par (Wy_i, y_i) : duas associações espaciais positivas - valores similares (altos ou baixos), e duas negativas - valores dissimilares (valores altos e baixos), conforme apresentado na Figura abaixo. Estes tipos de pares podem indicar diferentes regimes de associação em subconjuntos dos dados: associação positiva em uma região e negativa em outra.

A Figura a seguir apresenta como o gráfico de espalhamento é construído.

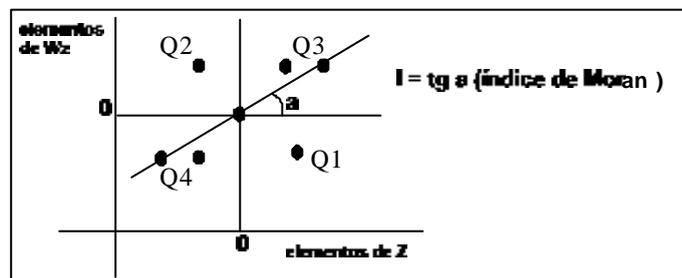


Figura - Construção do gráfico de espalhamento de Moran.

2. O diagrama de espalhamento de Moran - construído tomando-se sempre os valores normalizados (valores de atributos subtraídos de sua média e divididos pelo desvio padrão). Ele nos permite analisar o comportamento da variabilidade espacial, dividindo-a em quatro quadrantes:

Q1 (valores positivos, médias positivas) e Q2 (valores negativos, médias negativas): indicam pontos de associação espacial positiva, no sentido que uma localização possui vizinhos com valores semelhantes.

Q3 (valores positivos, médias negativas) e Q4 (valores negativos, médias positivas): indicam pontos de associação espacial negativa, no sentido que uma localização possui vizinhos com valores distintos.

Os pontos localizados nos quadrantes Q3 e Q4 podem ser vistos com extremos, tanto por estar afastados da reta de regressão linear (cuja tangente é o índice de Moran), como por indicar regiões que não seguem o mesmo processo de dependência espacial das demais observações. Uma possível interpretação é que estes pontos marcam regiões de transição entre regimes espaciais distintos. O diagrama de espalhamento de Moran também pode ser apresentado na forma de um mapa cloroplético bidimensional, no qual cada polígono é apresentado indicando-se seu quadrante no diagrama de espalhamento.

Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA)

Os indicadores globais de autocorrelação espacial, como o índice de Moran, fornecem um único valor como medida da associação espacial para todo o conjunto de dados, que é útil como caracterização de toda a região de estudo. Por contraste, muitas vezes é desejável examinar padrões numa escala de maior detalhe, para verificar se a hipótese de estacionariedade do processo verifica-se localmente.

Para tanto, é preciso utilizar indicadores de associação espacial que possam ser associados as diferentes localizações de uma variável distribuída espacialmente. Quando usados em conjunto com o I de Moran, eles refinam nosso conhecimento sobre os processos que dão origem à dependência espacial, pois nos permitem encontrar "bolsões" de dependência espacial que não são evidenciados pelos índices globais.

Os indicadores locais produzem um valor específico para cada objeto, permitindo assim, a identificação de agrupamentos de objetos com valores de atributos semelhantes (clusters), objetos anômalos (outliers) e de mais de um regime espacial. Segundo Anselin (1995), um indicador local de autocorrelação espacial (LISA) tem de atender a dois objetivos:

- permitir a identificação de padrões de associação espacial significativos;
- ser uma decomposição do índice global de associação espacial.

Vale indicar que o índice global de Moran pode ser visto como um caso particular das estatísticas de produtos cruzados (Haining, 1990):

$$\Gamma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij} \xi_{ij}$$

Este índice expressa a relação entre diferentes variáveis aleatórias como um produto de duas matrizes. A matriz ω_{ij} é uma medida de contiguidade espacial e a matriz ξ_{ij} fornece uma medida de distância entre as variáveis aleatórias x_i e x_j . No caso do índice de Moran, os pesos ω_{ij} são dados pela matriz de proximidade espacial w_{ij} e o ξ_{ij} pela diferença entre o valor da variável e sua média (suposta constante para todo o conjunto de variáveis).

A partir da idéia de estatísticas de produtos cruzados, podemos definir uma forma geral para os indicadores locais de autocorrelação espacial:

$$\Gamma_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} \xi_{ij}$$

Γ_i representa uma medida de associação espacial para a localização i definida em termos da matriz de proximidade e de uma medida de interação entre os valores na localizações i e j . Consideraremos duas famílias de índices locais:

- Os índices locais de Moran (Anselin, 1996).
- Os índices G_i e G_i^* (Getis e Ord, 1992).

Se utilizamos desvios em relação à média, o índice de Moran local pode ser expresso como:

$$I_i = \frac{z_i \sum_{j=1}^n w_{ij} z_j}{\sum_{j=1}^n z_j^2}$$

Esta fórmula computa o índice local do objeto I_i , pela multiplicação do desvio correspondente, z_i , pelo média dos desvios de seus vizinhos. Um dos aspectos mais importantes (e difíceis) do uso do índice de Moran local diz respeito à sua significância estatística. Novamente aqui, podemos utilizar técnicas semelhantes às utilizadas para o índice global de Moran: hipótese de normalidade ou simulação de

distribuição por permutação aleatória nos valores dos atributos. O leitor deve referir-se a Anselin (1995) para detalhes.

Uma vez determinada a significância estatística do índice local de Moran, é muito útil gerar um mapa indicando as regiões que apresentam correlação local significativamente diferente do resto do dados. Estas regiões podem ser vistas como "bolsões" de não-estacionariedade, pois são áreas com dinâmica espacial própria e que merecem análise detalhada. Este mapa é chamado por Anselin (1995) de "LISA map", e na sua geração, e os valores do índice local de Moran são classificados em três grupos: não significantes, com significância de 95% ($1,96\sigma$), 99% ($2,54\sigma$) e 99,9% ($3,20\sigma$).

Apesar da utilidade do índice local de Moran, este apresenta alguns problemas de interpretação, em função de sua distribuição estatística não ser conhecida perfeitamente e ter de ser estimada por simulações. Como alternativa, Getis e Ord (1992) propõem dois índices de autocorrelação local que permitem o teste de hipóteses sobre a concentração espacial da soma dos valores associados os pontos na vizinhança do ponto considerado.

As estatísticas são computadas para variáveis normalizadas e são:

$$G_i(d) = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}(d)x_j}{\sum_{j=1}^n x_j}, \quad j \neq i \quad G_i^*(d) = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}(d)x_j}{\sum_{j=1}^n x_j}$$

onde:

w_{ij} = valor na matriz de proximidade para a região i com a região j em função da distância d (matriz não normalizada de 1 e 0).

No caso da estatística G_i , o numerador é a soma de todos os valores de todos os vizinhos dentro de uma distância d do ponto considerado. A estatística G_i^* inclui a localização visitada em seu cômputo. Getis e Ord (1992) mostram que, se, em circunstâncias usuais, a distribuição das permutações simuladas de G_i e G_i^* aproxima-se da normal, o que permite um mais fácil aplicação dos testes de significância associados a estas variáveis.

Notemos que os índices G_i e G_i^* são na realidade uma somatória de vizinhos. Para variáveis normalizadas, valores positivos indicam a presença de um “cluster” de valores altos, enquanto que valores negativos a presença de um “cluster” de valores baixos. Na prática, a interpretação dos índices G_i e G_i^* é usualmente mais simples que o índice de Moran local.

Diferentemente do Índice Local de Moran, a estatística G_i e G_i^* apresenta uma interpretação mais direta sobre como os dados estão distribuídos no espaço. Uma vez que estes indicadores são compostos por uma somatória de valores de atributos, a observação de valores significativamente altos de G_i e G_i^* indica a existência de altos índices de ocorrência deste atributo, sendo o oposto um indício de agrupamento de valores baixos.

Uma das comparações mais evidentes entre a estatística G e a Moran é a de que apesar de medirem coisas fundamentalmente diferentes, ambas supõem normalidade em suas distribuições para construir intervalos de confiança para a hipótese nula (total ausência de autocorrelação local). Em circunstâncias típicas, a hipótese nula é a de que os valores x_i dentro de uma distância d sejam uma amostra aleatória independente de sua posição geográfica. Supondo uma distribuição normal dos resultados dos G_i podemos construir intervalos de confiança e indicar valores extremos, que correspondem a regiões com regimes espaciais próprios.

Modelo de regressão padrão

O objetivo geral de uma análise de regressão linear é encontrar uma relação (linear) entre uma variável dependente e um conjunto de variáveis explicativas. Formalizando:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{b} + \mathbf{e}$$

onde \mathbf{y} é a variável dependente (vetor de N linhas), \mathbf{X} é uma matriz com observações de K variáveis explicativas (de N linhas e K colunas), β é vetor com os K coeficientes de regressão, e ϵ é um termo de erro aleatório (vetor com N linhas). β e ϵ são os valores de coeficiente de regressão e erro da população (desconhecidos), e os respectivos \hat{b} e \hat{e} são estes parâmetros estimados.

A análise de regressão tem basicamente 2 objetivos: encontrar um bom ajuste entre os valores de Xb preditos e os valores observados da variável dependente y , e descobrir qual das variáveis explicativas contribuem significativamente para a relação linear.

O método de estimativa dos mínimos quadrados (Ordinary Least Squares - OLS) satisfaz os dois objetivos acima, e é considerado o melhor estimador linear não-viesado (Best linear Unbiased Estimator - BLUE). A estimativa OLS para β é obtida através da minimização da soma dos quadrados dos erros preditos. Para tanto os seguintes pressupostos devem ser observados:

o erro aleatório deve ter média igual a zero: $E[e_i] = 0$ para todo i ;

os termos de erro não são correlacionados e tem variância constante (homocedasticidade): $E[e_i e_j] = 0$ para todo i diferente de j e $E[e_i^2] = \sigma^2$ para todos i ;

o termo aleatório de erro tem distribuição normal $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$.

Estes pressupostos exigem, além do coeficiente de regressão β , a estimativa do parâmetro σ^2 , a variância estimada do erro.

Uma medida de ajuste da regressão é o valor de R^2 , dado por:

$$R^2 = 1 - SSE/SST$$

onde SSE é a soma dos quadrados dos resíduos, RSS é soma dos quadrados da regressão e SST é a soma dos quadrados total para a variável dependente ($SST = SSE + RSS$).

Nem sempre R^2 é um bom indicador de ajuste da regressão, uma vez que seu valor aumenta com a inclusão de novas variáveis explicativas. Uma alternativa é o R^2 ajustado (R_a^2):

$$R_a^2 = R^2 - (1 - R^2) (K - 1) / (N - K)$$

R_a^2 não deve aumentar com o acréscimo de novas variáveis, a menos que estas contribuam suficientemente para o ajuste do modelo, compensando a perda dos graus de liberdade com a inclusão de novas variáveis.

Para inferência estatística, o valor das estimativas de b não é tão importante quanto as conclusões que se deseja sobre o parâmetro β da população. Para isso é necessário assumir a distribuição do termo ε de erro como aleatório e ter uma estimativa da variância do coeficiente de regressão β que corresponde ao elemento diagonal na matriz de covariância para todos os coeficientes. O interesse é descobrir se o valor de β_h é diferente de zero, ou seja, se a variável associada contribui para a equação de regressão. Formalmente, deseja-se testar a hipótese nula: $H_0: \beta_h = 0$, onde aceita-se ou rejeita-se esta hipótese de acordo com o limite de significância definido.

Um teste t pode ser aplicado para testar a significância do coeficiente de regressão, sobre o pressuposto de normalidade do termo de erro:

$$t_b = b_h / SD(b_h)$$

onde SD é o desvio padrão e b_h é o coeficiente de regressão para a variável definida, seguindo a distribuição t de Student (com $N-K$ graus de liberdade). Se a probabilidade da estatística t estiver abaixo de um nível crítico definido, rejeita-se $H_0: \beta_h = 0$, e então o coeficiente da população é diferente de zero.

Com dados reais, os pressupostos de normalidade, **homocedasticidade** e ausência de correlação entre os termos de erro podem não ser satisfeitos, o que compromete a regressão. Com dados espaciais deve-se principalmente observar se há dependência espacial entre as variáveis ou entre os erros do modelo.

A presença de forte correlação entre variáveis explicativas pode invalidar a regressão. No caso de correlação linear perfeita (correlação = 1), diz-se que há **multicolineariedade**. Quando a correlação não é perfeita, mas ainda persiste em certo grau, as estimativas dos parâmetros da regressão terão grande variância estimada. Desta forma, haverá poucos coeficientes significantes, apesar da regressão ter ajuste razoável. Obter um R^2 alto com baixos valores de estatística t são indicativos de problema de multicolineariedade. Outro indício é a grande variação da estimativa com a introdução ou retirada de uma observação.

Uma medida para diagnosticar a multicolineariedade é o chamado número condicional, popularizado por Belsley et al.(1980), onde valores maiores que 20 ou

30 são considerados suspeitos, e um número igual a 1 indica total ausência de multicolineariedade.

A questão de **normalidade** dos erros pode ser testada através dos resíduos do modelo da regressão como o teste proposto por Kiefer e Salmon (1983) (inadequado para conjunto de dados pequenos), que segue a distribuição χ^2 com 2 graus de liberdade. A hipótese nula de distribuição normal do erro é rejeitada para probabilidades baixas. Neste caso, os testes de dependência espacial e heterocedasticidade devem ser analisados com critério, uma vez que pressupõem normalidade. Uma transformação da variável dependente, como logarítmica, poderia induzir à normalidade.

Heterocedasticidade é a situação em que o erro aleatório da regressão não tem variância constante para todas as observações. Por consequência, a indicação da precisão, considerando a variância do erro constante, será enganosa. (inferência baseada nos teste t-Student e F serão enganosas, e R^2 será errado). Este problema é comum em dado espacial, principalmente quando distribuídos em unidades de área diferentes, quando há diferenças regionais sistemáticas nas relações do modelo (por exemplo regimes espaciais), ou ainda quando há uma tendência espacial contínua nos parâmetros do modelo (por exemplo expansão espacial). A indicação da heterocedasticidade sugere a incorporação destes efeitos espaciais no modelo.

Para testar a heterocedasticidade, parte-se da hipótese nula (homocedasticidade) **H0: $E [e_i^2] = s^2$** porém a hipótese alternativa é relacionada a variabilidade na variância do erro para um número de variáveis, através de uma forma funcional que inclui alguns parâmetros:

$$s_i^2 = s^2 f(\alpha_0 + \sum_p \alpha_p z_{pi})$$

onde σ^2 é um simples fator de escala, f é uma forma funcional, α_0 e α_p são parâmetros e z_{pi} são P variáveis da observação i. Um forma funcional comum é a linear, também conhecida como heterocedasticidade aditiva. As variáveis z incluídas na especificação de heterocedasticidade podem ser qualquer variável relevante, sugere-se variáveis relacionadas a área, ou ao tamanho da unidade espacial (população total por exemplo).

Alguns testes podem ser usados para verificar a heterocedasticidade. O teste de Multiplicador Lagrangiano, BP (Breusch e Pagan, 1979) apropriado quando o teste de normalidade de Kiefer-Salmon garante normalidade (para α de 0.01), ou sua versão "studentized" - KB (Koenker, 1981 e Koenker e Basset, 1982) quando não há normalidade nos erros. Ambos seguem a distribuição χ^2 com P graus de liberdade (P é o número de variáveis na especificação da heterocedasticidade).

Quando não se conhece a variável para especificar a heterocedasticidade, o teste de White (1980) pode ser utilizado. Este teste também segue a distribuição χ^2 .

A presença de heterocedasticidade pode ser uma indicação de dependência espacial das variáveis.

A *autocorrelação espacial* ou *dependência espacial*, é a situação onde a variável dependente ou o termo de erro de cada local está correlacionado às observações da variável dependente ou valores do termo de erro para outros locais. As conseqüências de ignorar a dependência espacial dos erros são as mesmas da heterocedasticidade: o estimador de mínimos quadrados mantém-se não-viesado mas não é mais eficiente, uma vez que ignora a correlação entre os termos de erro. Como resultado, as inferências baseadas nas estatísticas t-Student e F serão errôneas e indicações de ajuste baseadas em R^2 serão incorretas.

O índice I de Moran pode ser usado para testar a autocorrelação espacial do termo de erro, e sua interpretação é a mesma descrita anteriormente. Contudo este não é o índice mais apropriado.

Outros testes podem ser considerados como opções:

- teste do Multiplicador Lagrangiano sugerido por Burridge (1980), de distribuição χ^2 ;
- teste de Kelejian e Robinson (1992), ao contrário dos dois anteriores não requer normalidade para o termo de erro. Não é muito indicado para pequenos conjuntos de dados e segue distribuição χ^2 ;
- teste do Multiplicador Lagrangiano para um "lag" espacial, sugerido por Anselin (1988), válido somente com o pressuposto de normalidade, e também segue distribuição χ^2 .