



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/08.29.17.26-TDI

**REVISITANDO A "FLORESTA URBANIZADA": AS  
DINÂMICAS ATUAIS DE URBANIZAÇÃO E  
CONVERSÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA  
PARAENSE"**

Renata Maciel Ribeiro

Dissertação de Mestrado do  
Curso de Pós-Graduação em  
Sensoriamento Remoto, orientada  
pelos Drs. Silvana Amaral Kampel,  
e Antônio Miguel Vieira Monteiro,  
aprovada em 24 de agosto de 2018.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3RNESLE>>

INPE  
São José dos Campos  
2018

**PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Gabinete do Diretor (GBDIR)  
Serviço de Informação e Documentação (SESID)  
CEP 12.227-010  
São José dos Campos - SP - Brasil  
Tel.:(012) 3208-6923/7348  
E-mail: pubtc@inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO  
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos  
Climáticos (CGCPT)

**Membros:**

Dra. Carina Barros Mello - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Alisson Dal Lago - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas  
(CGCEA)

Dr. Evandro Albiach Branco - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (COCST)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia e Tecnologia  
Espacial (CGETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação-Geral de Observação da Terra  
(CGOBT)

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação - (CPG)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação  
(SESID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Murilo Luiz Silva Gino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/08.29.17.26-TDI

**REVISITANDO A "FLORESTA URBANIZADA": AS  
DINÂMICAS ATUAIS DE URBANIZAÇÃO E  
CONVERSÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA  
PARAENSE"**

Renata Maciel Ribeiro

Dissertação de Mestrado do  
Curso de Pós-Graduação em  
Sensoriamento Remoto, orientada  
pelos Drs. Silvana Amaral Kampel,  
e Antônio Miguel Vieira Monteiro,  
aprovada em 24 de agosto de 2018.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3RNESLE>>

INPE  
São José dos Campos  
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Ribeiro, Renata Maciel.

R354r Revisitando a "Floresta Urbanizada": as dinâmicas atuais de urbanização e conversão florestal na Amazônia paraense" / Renata Maciel Ribeiro. – São José dos Campos : INPE, 2018.  
xxvii + 126 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/08.29.17.26-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018.

Orientadores : Drs. Silvana Amaral Kampel, e Antônio Miguel Vieira Monteiro.

1. Amazônia. 2. Urbanização. 3. Desmatamento. 4. Pará.  
5. Padrões espaço-temporais. I. Título.

CDU 502.15:528.8

---



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

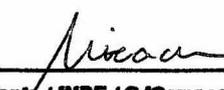
This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aluno (a): **Renata Maciel Ribeiro**

Título: "REVISITANDO A "FLORESTA URBANIZADA": AS DINÂMICAS ATUAIS DE URBANIZAÇÃO E CONVERSÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA PARAENSE"

Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de **Mestre** em **Sensoriamento Remoto**

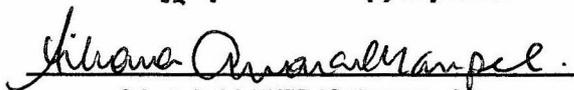
Dra. Maria Isabel Sobral Escada

  
\_\_\_\_\_  
Presidente / INPE / SJCampos - SP

( ) Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado ( ) Reprovado

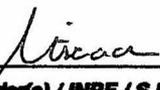
Dra. Silvana Amaral Kampel

  
\_\_\_\_\_  
Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

( ) Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado ( ) Reprovado

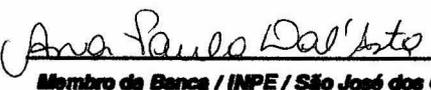
Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro

pl:   
\_\_\_\_\_  
Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado ( ) Reprovado

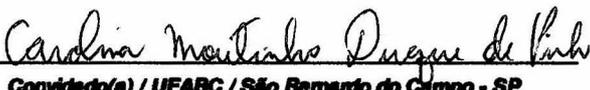
Dra. Ana Paula Dal'Asta

  
\_\_\_\_\_  
Membro da Banca / INPE / São José dos Campos - SP

( ) Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado ( ) Reprovado

Dra. Carolina Moutinho Duque de Pinho

  
\_\_\_\_\_  
Convidado(a) / UFABC / São Bernardo do Campo - SP

( ) Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado ( ) Reprovado

Este trabalho foi aprovado por:

( ) maioria simples

unanimidade

São José dos Campos, 24 de agosto de 2018



*“ Não destruir os recursos naturais, acabar com o desperdício, desenvolver as tecnologias e **olhar para o território com as suas diferenciações e desigualdades**. Essas coisas são princípios fundamentais para o Brasil. ”*

**Bertha Becker**



Dedico à estrela mais brilhante do céu, minha  
madrinha, Fernanda (*in memoriam*).



## AGRADECIMENTOS

Ao iniciar esta jornada, tudo era pouco familiar para mim. Mal conhecia o Sensoriamento Remoto, desconhecia o que era reflectância, assinatura espectral, plano celular, regressões ponderadas e Curvas de Kuznets. Assustei-me e fascinei-me ao ter o primeiro contato com as obras da querida e saudosa Bertha Becker. Refleti sobre a urbanização. Refleti mais um pouco sobre a urbanização. Conheci a Amazônia. Apaixonei-me por ela.

Mergulhei no mundo da pesquisa científica de cabeça! Chorei. Chorei bastante. Mas, ainda assim, mais sorri do que chorei. A superação, sem dúvida, sempre foi o meu Norte. Durante estes quase três anos, pude ver e reconhecer meu processo de amadurecimento pessoal e profissional. Às vezes pensei que falharia, que isso simplesmente “não era para mim”. Mas, nos momentos de maior cansaço, mãos se estenderam. Abraços surgiram. E piadas e risadas e cafés.

Às minhas mãos amigas, e abraços, eu agradeço. Obrigada, Bruna. Obrigada, Catherine. Obrigada, Lidiane. Obrigada, Vini. Obrigada, Gabi Banon. Obrigada, Thales, Teh, Celso, Quel e Alindomar. Obrigada, a todos os amigos da 2C!

Àqueles que conseguiram ser mais que mãos e abraços, foram apoio, exemplo e força, Dra. Silvana Amaral, Dr. Antônio Miguel Monteiro e Dra. Ana Paula Dal’Asta, gratidão. Sem vocês nada disso seria possível.

Agradeço também à Dra. Maria Isabel Escada e Dra. Carolina Pinho, por aceitarem fazer parte desta trajetória e contribuírem com tanto carinho e dedicação para o meu aprimoramento profissional.

À instituição que abrigou este sonho, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela infraestrutura e suporte financeiro, muito obrigada.

Aos meus alicerces, meus pais Eugênia e Edson, agradeço pelo incentivo, pela paciência, pelo perdão na ausência, pelo carinho na presença. Amo muito vocês.

Ao meu ‘paidrinho’ (isso mesmo, *paidrinho*) Quim, agradeço por ser tão presente mesmo na distância. Por acreditar em mim, cuidar de mim e me amar tanto. Saudade, Quindim!

Aos meus sogros Verônica e Thulio, agradeço por serem refúgio, por serem abrigo e verdadeiros amigos.

Ao meu irmão Luigi, agradeço por ser meu porto seguro, minha parceria. Te amo.

Aos meus bebês, Gaia e Madruguinha, agradeço pelas risadas oportunas, pelo aconchego, pelos ataques de fofura. Vocês tornam meus dias muito mais coloridos!

E, como de praxe, a gente deixa por último aquela pessoa que faz tudo valer a pena. Que é a força nos momentos de fraqueza, que é o amor nos momentos de tristeza, que é a amizade nos momentos de solidão. A você, Thulio, meu amor, agradeço não somente por ter participado tão intensamente desta trajetória, mas por fazer parte da minha vida e por permitir que eu faça parte da sua. Muito obrigada por tudo! Te amo.

## RESUMO

Na Amazônia Brasileira, as dinâmicas de *urbanização* e *conversão florestal* possuem lógicas complexas, dependentes de processos e agentes operando em diferentes escalas, e suas relações causais, apesar de apontadas na literatura, não podem ser diretamente estabelecidas. Assim, abordagens metodológicas que envolvam escalas espaciais distintas são essenciais para apreender e representar estas dinâmicas. Este trabalho explora a evolução espacial e temporal da *urbanização* e da *conversão florestal* na Amazônia, considerando os elementos observáveis e mensuráveis destes processos: a *expansão urbana*, como a dimensão observável dos processos de *urbanização* em curso, e o *desmatamento*, como uma medida dos processos de *conversão florestal*. O estudo é conduzido para dois níveis territoriais: Amazônia Legal e estado do Pará, e para três escalas espaciais, de acordo com suas unidades de análise: (i) os estados da Amazônia Legal, (ii) os municípios do Pará, e (iii) uma grade de células regulares para o estado do Pará. Esta abordagem multinível e multiescala foi realizada em três etapas. Na primeira etapa, obteve-se uma tipologia das relações entre *urbanização* e *cobertura Florestal* a partir dos padrões espaço-temporais das tendências de evolução do *grau de urbanização* (população urbana) e *incremento do desmatamento*, tanto para os estados da Amazônia Legal quanto para os municípios do Pará. Na segunda etapa, as relações entre *expansão urbana* e *desmatamento* para o estado do Pará foram exploradas através do uso de Regressões Geograficamente Ponderadas (GWR), para duas unidades espaciais de análise: os limites poligonais municipais e as células de 20x20km. Os resultados dos parâmetros das regressões classificaram grupos de municípios e grupos de células com comportamento espaço-temporal similares. Na terceira etapa, os padrões de associação espacial da relação entre *desmatamento* e *expansão urbana* foram explorados a partir da base metodológica proposta pela Curva Ambiental de Kuznets (EKC). Tomando-se o desenvolvimento socioeconômico como dimensão de análise, os municípios do estado do Pará apresentaram diferentes formatos da curva EKC. Os resultados de todas as etapas evidenciaram a complexidade das relações entre os processos de *conversão florestal* e *urbanização* na Amazônia, e a variabilidade das relações considerando diferentes escalas espaciais. Cada recorte espaço-temporal e as abordagens metodológicas aportaram diferentes elementos objetivos que evidenciam a dificuldade de se estabelecer relações gerais e diretas, ou conclusivas quanto à coocorrência, ou concordância, dos processos de *urbanização* e da *conversão florestal*. Este estudo contribui com informações derivadas de partes mensuráveis de processos complexos, para que a agenda sobre modelos de desenvolvimento regional retome o componente urbano como elemento essencial para se pensar em um bioma Amazônico socialmente justo e ambientalmente responsável.

**Palavras-chave:** Amazônia. Urbanização. Desmatamento. Pará. Padrões espaço-temporais. Análise Espacial.



## **REVISITING “THE AMAZON - AN URBANIZED FOREST”: RELATIONS BETWEEN THE CURRENT DYNAMICS OF URBANIZATION AND FOREST CONVERSION IN THE PARA STATE, BRAZIL.**

### **ABSTRACT**

In the Brazilian Amazon, the dynamics of *urbanization* and *forest conversion* have complex logics that are dependent on processes and agents operating at different scales, and their causal relationships, although underlined in the literature, cannot be directly established. Therefore, methodological approaches involving distinct spatial scales are essential to understand and represent those dynamics and their relationships. This work explores the spatial and temporal evolution of urbanization and tropical forest in the Amazon considering the observable and measurable elements present in these processes: urban expansion, as the observable dimension of ongoing urbanization processes; and deforestation, as a measure of forest conversion processes. The study was carried out at two territorial levels: Legal Amazon and state of Pará, and at three spatial scales according to its analytical spatial units: (i) the states of the Legal Amazon, (ii) the municipalities of Pará, and (iii) a regular grid for the state of Pará as a non-political-administrative territory. This multilevel and multiscale approach was performed in three stages. In the first stage, a typology of the relationships between urbanization and forest cover was obtained from the trends analysis of the spatio-temporal patterns, observed from the degree of urbanization (population) and deforestation increase, both for the states of the Legal Amazon and for the municipalities of Pará. In the second stage, spatial relationships between urban expansion and deforestation for the state of Pará were explored by Geographically Weighted Regressions (GWR) modeling, considering two spatial analysis units: the municipal polygonal boundaries and the cells of a 20x20km regular grid. Results of the regression parameters classified groups of municipalities and groups of cells with similar spatio-temporal behavior. In the third stage, patterns of spatial association of the relationship between deforestation and urban expansion were analyzed by the Kuznets Environmental Curve (EKC) approach. Taking socioeconomic development as the analysis dimension, the municipalities of the state of Pará presented different formats for the EKC curve. Results of all stages provided evidences about the complexity of the relations between the processes of forest conversion and urbanization in the Amazon, and the relationships were variable along different spatial scales. Each spatial-temporal and methodological approach brought different objective elements that demonstrate the difficulty of establishing general and direct relations, or conclusive ones, regarding the co-occurrence, or agreement, of the urbanization and the forest conversion processes. This study contributes ultimately with information derived from measurable parts of complex processes, so that the agenda on regional development models can

resume the urban component as an essential element to plan an Amazon biome that is at same time socially just and environmentally responsible.

**Keywords:** Amazon. Urbanization. Deforestation. Pará. Spatial-Temporal Patterns. Spatial Analysis.

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 - <i>Taxa de desmatamento</i> anual na Amazônia Legal (km <sup>2</sup> /ano) entre 1988 e 2017.....	13
Figura 2.2 - Principais classes de uso e cobertura* (%) na Amazônia Legal entre 2004 e 2014.....	14
Figura 3.1 - Área de Estudo.....	26
Figura 4.1 - Elementos observáveis - <i>expansão urbana e desmatamento</i> - dos processos de <i>urbanização e conversão florestal</i> e as respectivas medidas para as dimensões destes processos.....	27
Figura 4.2 - Níveis, escalas e dimensões de análise.....	28
Figura 4.3 - Diagrama metodológico: unidades espaciais de referência para as análises, técnicas e resultados associados.....	29
Figura 4.4 - Grade celular de 20x20 km e áreas do menor (Marituba) e maior (Altamira) municípios do estado do Pará.....	33
Figura 4.5 - Relações previstas entre a variável de interesse (Y) e renda <i>per capita</i> (REN) nos termos da EKC.....	40
Figura 5.1 - Gráfico de análise de tendências gerais do <i>grau de urbanização</i> da Amazônia Legal e Brasil em função da <i>taxa e incremento de desmatamento</i> agregado para a Amazônia Legal nos anos de 1991, 2000, 2010 e 2014.....	49
Figura 5.2 - <i>Grau de urbanização</i> (%) em 1991, 2000, 2010 e 2014 para os estados da Amazônia Legal.....	50
Figura 5.3 - <i>Taxa de desmatamento</i> (TD) (Km <sup>2</sup> /ano) (gráfico) e <i>incremento</i> (INC) para os estados da Amazônia Legal nos anos de 1991, 2000, 2010 e 2014.....	51
Figura 5.4 - Representação dos padrões espaço-temporais do <i>grau de urbanização, taxa e incremento de desmatamento</i> para os estados da Amazônia Legal.....	53
Figura 5.5 - Representação dos padrões espaço-temporais do <i>grau de urbanização e incremento de desmatamento</i> para os municípios do estado do Pará.....	59

Figura 5.6 - Unidades de Conservação (UCs) federais, estaduais, Terras Indígenas (TIs) e assentamentos sob os municípios do estado do Pará.....	64
Figura 5.7 - Diagrama de dispersão das variáveis DAU ( $\Delta$ Área Urbana) e DPU ( $\Delta$ População Urbana) em função da variável DDA ( $\Delta$ Desmatamento Acumulado) na resolução municipal.....	65
Figura 5.8 - Resultados do modelo $\text{Log(DAU)} = f \text{Log(DDA)}$ da Regressão Geograficamente Ponderada com a resolução municipal.....	72
Figura 5.9 - Padrões simplificados da relação entre GU e <i>desmatamento</i> (A a Outros), e coeficientes angulares ( $\beta$ ) da regressão espacial $\text{Log(DAU)} = f \text{Log(DDA)}$ por intervalos do coeficiente.....	74
Figura 5.10 - Resultados do modelo $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$ da Regressão Geograficamente Ponderada na resolução municipal.....	76
Figura 5.11 - Padrões simplificados da relação entre GU e <i>desmatamento</i> (A a Outros), e coeficientes angulares ( $\beta$ ) da regressão espacial $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$ por intervalos do coeficiente.....	77
Figura 5.12 - Diagrama de dispersão das variáveis DAU ( $\Delta$ Área Urbana) e DPU ( $\Delta$ População Urbana) em função da variável DDA ( $\Delta$ Desmatamento Acumulado) na resolução celular.....	78
Figura 5.13 - Resultados do modelo $\text{Log(DAU)} = f \text{Log(DDA)}$ da Regressão Geograficamente Ponderada na resolução celular.....	84
Figura 5.14 - Resultados do modelo $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$ da Regressão Geograficamente Ponderada na resolução celular.....	85
Figura 5.15 - Diagrama de dispersão da variável DDA ( $\Delta$ Desmatamento Acumulado) em função da variável DREN ( $\Delta$ Renda <i>Per Capita</i> ).....	87
Figura 5.16 - Mapa de coeficientes locais da EKC e seus padrões observados.....	90
Figura 5.17 - Mapas dos coeficientes locais das variáveis complementares significativas.....	92
Figura B.1 – Área urbana em 2000 e 2014 e diferença de área urbana (DAU) no período nos municípios do estado do Pará.....	115
Figura B.2 – População urbana em 2000 e 2014 e diferença de população urbana (DPU) no período nos municípios do estado do Pará.....	116

Figura B.3 – Desmatamento acumulado em 2000 e 2014 e diferença de desmatamento acumulado (DDA) no período nos municípios do estado do Pará.....	117
Figura C.1 - Mapas de dependência espacial local (LISA) bivariado da relação entre área urbana e desmatamento – DAU / DDA - e população urbana e desmatamento – DPU / DDA - na resolução municipal.....	118
Figura D.1 – Histograma de distribuição de probabilidade dos resíduos da regressão que descreve a relação entre a população urbana e o desmatamento ( $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) na resolução municipal.....	119
Figura E.1 – Mapas de dependência espacial local (LISA) dos resíduos dos modelos que descrevem a relação entre área urbana e desmatamento ( $\text{Log(DAU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) e a população urbana e desmatamento ( $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) na resolução municipal.....	120
Figura F.1 - Mapas de dependência espacial local (LISA) bivariado da relação entre área urbana e desmatamento – DAU / DDA - e população urbana e desmatamento – DPU / DDA - na resolução celular.....	121
Figura G.1 – Histograma de distribuição de probabilidade dos resíduos da regressão que descreve a relação entre a área urbana e o desmatamento ( $\text{Log(DAU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) na resolução celular.....	122
Figura G.2 – Histograma de distribuição de probabilidade dos resíduos da regressão que descreve a relação entre a população urbana e o desmatamento ( $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) na resolução celular.....	122
Figura H.1 - Mapas de dependência espacial local (LISA) dos resíduos dos modelos que descrevem a relação entre área urbana e desmatamento ( $\text{Log(DAU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) e população urbana e desmatamento ( $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) na resolução celular.....	123
Figura I.1 - Mapas de dependência espacial local (LISA) bivariado da relação entre desmatamento e renda <i>per capita</i> – DDA / DREN - na escala municipal.....	124

Figura K.1 - Mapas de dependência espacial local (LISA) dos resíduos dos modelos que descrevem a relação entre o desmatamento e as variáveis socioeconômicas ( $\text{Log(DDA)} = f(\text{DREN} + \text{DREN}^2 + \text{DREN}^3 + \mathbf{z})$ ) na escala municipal.....126

## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 3.1 - População urbana em termos relativos (%) da Amazônia Legal em 1991, 2000 e 2010.....	24
Tabela 4.1 - Descrição das variáveis utilizadas.....	34
Tabela 4.2 - Estatística descritiva dos conjuntos de dados.....	35
Tabela 4.3 – Descrição das variáveis utilizadas para o modelo aplicado à Curva Ambiental de Kuznets.....	42
Tabela 4.4 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas na análise da EKC para os municípios do Pará.....	43
Tabela 5.1 – Grupos de estados da Amazônia Legal resultantes da evolução da <i>taxa de desmatamento</i> (1991, 2000, 2010 e 2014), <i>incremento anual</i> (2000, 2010 e 2014) e <i>grau de urbanização</i> (1991, 2000, 2010 e 2014) semelhantes.....	52
Tabela 5.2 - Porcentagem de área ocupada por Unidades de Conservação (UCs) e Terras Indígenas (TIs) nos estados (UF) da Amazônia Legal.....	55
Tabela 5.3 – Grupos de municípios do estado do Pará resultantes da evolução do <i>incremento anual</i> (2000, 2010 e 2014) e <i>grau de urbanização</i> (2000, 2010 e 2014) semelhantes.....	58
Tabela 5.4 - Principais resultados das regressões não-espaciais e análise gráfica dos resíduos na resolução municipal.....	67
Tabela 5.5 - Principais resultados das regressões não-espaciais e análise gráfica dos resíduos para as variáveis logarítmicas na resolução municipal.....	69
Tabela 5.6 - Principais resultados dos modelos de regressão espacial local na resolução municipal.....	70
Tabela 5.7 - Grupos reclassificados com base nos padrões de <i>desmatamento</i> e <i>grau de urbanização</i> em 2000, 2010 e 2014.....	73
Tabela 5.8 - Principais resultados das regressões não-espaciais e análise gráfica dos resíduos na resolução celular.....	79
Tabela 5.9 - Principais resultados das regressões não-espaciais e análise gráfica dos resíduos para as variáveis logarítmicas na resolução celular.....	81

Tabela 5.10 - Principais resultados dos modelos de regressão espacial local para a resolução celular.....	82
Tabela 5.11 - Principais resultados da regressão não-espacial e análise gráfica dos resíduos.....	88
Tabela 5.12 - Principais resultados da regressão não-espacial para a variável dependente transformada e análise gráfica dos resíduos.....	89
Tabela 5.13 - Principais resultados do modelo de regressão espacial local (GWR).....	90
Tabela A.1 – Grupos de municípios identificados por similaridade na análise de tendências do grau de urbanização e incremento de desmatamento para os anos de 2000, 2010 e 2014.....	113
Tabela J.1 - Coeficientes angulares ( $\beta$ ) do modelo que descreve a relação entre o desmatamento e as variáveis socioeconômicas ( $\text{Log(DDA)} = f \text{ DREN} + \text{DREN}^2 + \text{DREN}^3 + z$ ).....	125

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AEDE	Análise Exploratória de Dados Espaciais
CV	Validação Cruzada
DAU	Diferença de Área Urbana
DDA	Diferença de Desmatamento Acumulado
DEAE	Diferença de Expectativa de Anos de Estudo
DEGRAD	Sistema de Mapeamento da Degradação Florestal da Amazônia Brasileira
DEMPSP	Diferença do Número de Empregados no Setor Público
DESPN	Diferença da Esperança de Vida ao Nascer
DETER	Sistema de Detecção em Tempo Real do Desmatamento
DETEX	Sistema de Mapeamento da Degradação Florestal por Exploração Seletiva
DHOM	Diferença do Número de Homicídios
DIDHM	Diferença de Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
DITHEIL	Diferença de Índice de Desigualdade de Theil-L
DMINF	Diferença de Mortalidade Infantil
DPAGUA	Diferença de Porcentagem da População com Água Encanada
DPDVUL	Diferença de Porcentagem de Pessoas em Domicílios Vulneráveis à Pobreza
DPEMPC	Diferença de Porcentagem de Empregados com Carteira
DPPCL	Diferença de Porcentagem da População com Coleta de Lixo
DPPE	Diferença de Porcentagem da População com Energia Elétrica
DPPEs	Diferença de Porcentagem da População com Ensino Superior
DPPF	Diferença de Porcentagem da População com Ensino Fundamental
DPSOB	Diferença da Probabilidade de Sobrevivência até 60 anos
DPU	Diferença de População Urbana
DREN	Diferença de Renda Per Capita
DTAGRO	Diferença de Porcentagem dos Ocupados no Setor Agropecuário
DTCP	Diferença do Número de Trabalhadores por Conta Própria
DTEXTM	Diferença de Porcentagem dos Ocupados no Setor de Extrativo Mineral

DTIND	Diferença de Porcentagem dos Ocupados na Indústria de Transformação
DTSERV	Diferença de Porcentagem dos Ocupados no Setor de Serviços
DTXEN	Diferença da Taxa de Envelhecimento
EKC	Curva Ambiental de Kuznets
FAPESPA	Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
GWR	Regressões Geograficamente Ponderadas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INC	Incremento de Desmatamento
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MAUP	Problema das Unidades de Área Modificáveis.
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MMA	Ministério do Meio Ambiente
OLS	Método dos Mínimos Quadrados
PI	Proteção Integral
PIN	Programa de Integração Nacional
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PPCDAm	Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia
PRODES	Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite
SUDAM	Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia
TD	Taxa de Desmatamento
TDI	Teses e Dissertações Internas
TI	Terra Indígena
UC	Unidade de Conservação
UCEst	Unidade de Conservação Estadual
UCFed	Unidade de Conservação Federal

UF           Unidade da Federação  
US           Uso Sustentável



## SUMÁRIO

Pág.

<b>1. INTRODUÇÃO: OS PROCESSOS DE URBANIZAÇÃO E CONVERSÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA.....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos.....	5
1.2. Estrutura da Dissertação.....	6
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>7</b>
2.1. <i>Urbano Amazônico: As Multifaces de um Processo</i> .....	7
2.2. O Processo de <i>Conversão Florestal</i> na Amazônia Brasileira.....	11
2.3. Juntos ou Separados? A Relação entre os Processos de <i>Urbanização e Conversão Florestal</i> na Amazônia.....	15
2.4. Dimensão Socioeconômica da <i>Urbanização: Como o Desmatamento</i> contribui para a Desenvolvimento Regional?.....	18
<b>3. ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>23</b>
<b>4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>27</b>
4.1. Etapa 1: Análise de Tendências Gerais da <i>Urbanização e Conversão Florestal</i> na Amazônia: Primeiros Traços de Heterogeneidade.....	29
4.2. Etapa 2: O Espaço Importa? Explorando a Associação Espacial entre os Processos.....	32
4.3. Etapa 3: Degradação Ambiental <i>versus</i> Desenvolvimento Socioeconômico: Curvas Ambientais de Kuznets na Investigação da Relação <i>Urbanização-Conversão Florestal</i> .....	38
4.4. Nota sobre a Questão do MAUP e o Estudo desta Dissertação.....	45
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>48</b>
5.1. Etapa 1: Análise de Tendências Gerais da Relação entre <i>Urbanização e Conversão Florestal</i> na Amazônia: Primeiros Traços de Heterogeneidade.....	48
5.1.1. O Estado como Unidade Espacial de Referência.....	48
5.1.2. O Município como Unidade Espacial de Referência.....	57
5.2. Etapa 2: O Espaço Importa? Explorando a Associação Espacial entre os Processos.....	64
5.2.1. O Município como Unidade Espacial de Referência.....	65
5.2.2. A Célula como Unidade Espacial de Referência.....	78

5.3.	Etapa 3: Degradação Ambiental <i>versus</i> Desenvolvimento Socioeconômico: Curvas Ambientais de Kuznets na Investigação da Relação <i>Urbanização- Conversão Florestal</i> .....	86
5.3.1.	O Município como Unidade Espacial de Referência.....	86
<b>6.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONTRIBUIÇÕES.....</b>	<b>94</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>98</b>
APÊNDICE A –	Tabela de grupos de municípios identificados por similaridade na Etapa 1.....	113
APÊNDICE B –	Mapas de espacialização das variáveis (área urbana, população urbana e desmatamento acumulado). .....	115
APÊNDICE C -	Mapas de dependência espacial local (LISA) bivariado da relação entre área urbana e desmatamento – DAU / DDA - e população urbana e desmatamento – DPU / DDA - na resolução municipal. ....	118
APÊNDICE D -	Histograma de distribuição de probabilidade dos resíduos da regressão que descreve a relação entre a população urbana e o desmatamento ( $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) na resolução municipal. ....	119
APÊNDICE E -	Mapas de dependência espacial local (LISA) dos resíduos dos modelos que descrevem a relação entre área urbana e desmatamento ( $\text{Log(DAU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) e população urbana e desmatamento ( $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) na resolução municipal. ....	120
APÊNDICE F -	Mapas de dependência espacial local (LISA) bivariado da relação entre área urbana e desmatamento – DAU / DDA - e população urbana e desmatamento – DPU / DDA - na resolução celular. ....	121
APÊNDICE G -	Histograma de distribuição de probabilidade dos modelos linearizados na resolução celular. ....	122
APÊNDICE H -	Mapas de dependência espacial local (LISA) dos resíduos dos modelos que descrevem a relação entre área urbana e desmatamento ( $\text{Log(DAU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) e população urbana e desmatamento ( $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) na resolução celular. ....	123
APÊNDICE I -	Mapas de dependência espacial local (LISA) bivariado da relação entre desmatamento e renda <i>per capita</i> – DDA / DREN - na escala municipal.....	124
APÊNDICE J -	Coefficientes angulares ( $\beta$ ) do modelo que descreve a relação entre o desmatamento e as variáveis socioeconômicas ( $\text{Log(DDA)} = f \text{DREN} + \text{DREN}^2 + \text{DREN}^3 + z$ ). ....	125

APÊNDICE K - Mapas de dependência espacial local (LISA) dos resíduos dos modelos que descrevem a relação entre o desmatamento e as variáveis socioeconômicas ( $\text{Log}(\text{DDA}) = f \text{ DREN} + \text{DREN}^2 + \text{DREN}^3 + z$ ) na escala municipal. .... 126

## 1. INTRODUÇÃO: OS PROCESSOS DE *URBANIZAÇÃO* E *CONVERSÃO FLORESTAL* NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Na Amazônia brasileira, o processo de *conversão florestal* teve início desde a Era pré-colombiana, há quase 12 mil anos (HOMMA, 2003), no entanto foi nos últimos 500 anos que pôde-se observar processos mais intensos (ALENCAR et al., 2004), com agentes exógenos e endógenos influenciando o sistema de apropriação e remodelação do espaço em diferentes escalas, conforme as prioridades econômicas, sociais e ambientais de cada período (MARGULIS, 2003; ALENCAR et al., 2004; BECKER; STENNER, 2008; BECKER, 2009). A conversão de floresta em áreas com vários possíveis usos (MARGULIS, 2002, 2003), em particular, a transformação de área de floresta para uso urbano tem, ao longo do tempo, produzido reflexões sobre o papel da *urbanização* nos processos de *conversão florestal*, por vezes indicada como causa e por vezes indicada como efeito.

Quando caracterizada como causa, o crescimento da população urbana e a conversão direta para uso urbano são apontados como importantes fatores condicionantes do *desmatamento* (CROPPER; GRIFFITHS, 1994; CARR, 2004; KIRBY et al., 2006; WRIGHT; MULLER-LANDAU, 2006). Em contrapartida, quando indicada como efeito, a *urbanização* é discutida como um processo resultante de fatores socioeconômicos subjacentes (MOLOTH, 1976; PERZ et al., 2005; DAL'ASTA et al., 2012; CARDOSO; NEGRÃO, 2013; BECKER, 2013; RICHARDS; VANWEY, 2015; TRITSCH; TORNEAU, 2014, 2016).

A intensidade do fenômeno urbano na Amazônia, observada desde os anos 70, levou a pesquisadora Bertha Becker a cunhar o termo *floresta urbanizada*. Termo que aparece pela primeira vez no texto *Desfazendo Mitos: Amazônia, uma floresta urbanizada*<sup>1</sup>, publicado em 1995 (BECKER, 1995), com o objetivo de estabelecer um marco conceitual para reposicionar as questões urbanas dentro da agenda geopolítica para a região amazônica. Embora mais de 70% de sua população resida em áreas oficialmente definidas

---

<sup>1</sup> Texto publicado pela UNESCO e empregado no estudo da Secretaria de Coordenação dos Assuntos da Amazônia Legal (MMA) em 1998.

como urbanas (IBGE, 2010a) e em franco processo de expansão (MONTE-MÓR, 1994; BECKER, 2013; RIBEIRO et al., 2017), historicamente, a Amazônia é percebida por sua predominância de características rurais, o que a caracteriza como um território de complexidades e antagonismos.

O surgimento e expansão das fronteiras urbanas, em seus diversos períodos, foram resultantes de um perfil de desenvolvimento rápido, excludente e de natureza diversa, marcados por ciclos curtos de crescimento e queda da economia comandados geralmente pelos interesses econômicos do mercado internacional (BECKER; STENNER, 2008; BECKER, 2001, 2009, 2013). Neste sentido, ainda que em contextos de *urbanização inconclusa*, conforme delineado por Milton Santos (1996), esses mercados, associados ao modelo exportador, foram responsáveis pelas configurações de expansão de infraestrutura, mesmo que sem o necessário prévio ordenamento territorial.

A associação do capital exportador aos operadores locais subsidia a formação de uma elite, composta por autoridades governamentais e privadas, que alteram o papel das cidades, partindo de elementos centrais que promovem as relações sociais e, conseqüente concentração populacional (SANTOS, 1996; BECKER, 2005), para bases logísticas de ação do Estado (MOLOTH, 1972; MACHADO, 1999). Assim, essa elite local, associada também às atividades de *desmatamento*, atua na expansão das cidades por meio do setor imobiliário (CARDOSO; NEGRÃO, 2013) e respondem pela remodelação do espaço urbano em grande parte da Amazônia (MOLOTH, 1976; CARDOSO; NEGRÃO, 2013; DAL'ASTA et al., 2017).

Paralela à discussão da relação entre a supressão de áreas de floresta e o processo de *urbanização*, desde o final da década de 60, tem-se discutido as formas com que o crescimento econômico influencia as características ambientais de uma determinada localidade (ARRAES et al., 2006), enquanto unidade espacial. Esta relação é explorada tanto pelo viés do impacto da evolução da economia sobre o meio ambiente (GROSSMAN; KRUEGER, 1991, 1995; BATTHARAI; HAMMIG, 2001; GOMES; BRAGA, 2008; SANTOS et al., 2008; OLIVEIRA; ALMEIDA, 2011; TRITSCH; ARVOR, 2016), quanto pelo viés das limitações impostas pelo meio ambiente para o crescimento econômico (FORSTER, 1973; GRUVER, 1976). As evidências de que existem na Amazônia diferentes padrões de relação entre o *desmatamento* e o perfil de

desenvolvimento socioeconômico (MARGULIS, 2003; PRATES, 2008; RODRIGUES et al., 2009; CAVIGLIA-HARRIS et al., 2016; TRITSCH; ARVOR, 2016), e de que a *urbanização* atua como um processo intermediador entre eles (MOLOTH, 1972, SELDEN; SONG, 1994; RICHARDS; VANWEY, 2015), desperta o interesse em explorar os perfis da relação *urbanização-conversão florestal* incluindo as características socioeconômicas como uma dimensão da *urbanização*, destacando assim o papel das cidades como importantes espaços mediadores para o desenvolvimento regional (JACOBS, 1969).

Neste debate torna-se claro e consensual que as dinâmicas de *urbanização* e *conversão florestal* possuem lógicas complexas que envolvem processos e agentes, situados nos territórios amazônicos, operando em diferentes níveis e escalas. Este trabalho procura explorar técnicas de análise para dados espaço-temporais para apreender e representar as relações entre os processos de *conversão florestal* e elementos observáveis da *urbanização* na Amazônia contemporânea, a partir de abordagem multinível e multiescala. Para isso, são selecionados elementos mensuráveis destes processos, fazendo-se a ressalva de que estas medidas são apenas representações reduzidas de uma ou mais dimensões de um processo complexo. Estes elementos configuram uma estratégia de mediação (FEITOSA; MONTEIRO, 2012) para refletir sobre as questões em estudo. Neste contexto, a *expansão urbana* e o *desmatamento* são os elementos observáveis para os processos de *urbanização* e *conversão florestal* em curso.

A *expansão urbana* é observada, medida e representada a partir de métricas das dimensões *populacional*, *territorial* e *socioeconômica* do processo. A partir desta mediação, a *urbanização*, produto de processos de transformação política, econômica e social, primeiramente, será observada através da evolução no tempo das áreas urbanizadas e da população residente nessas áreas, e, em seguida, pelo perfil de desenvolvimento socioeconômico por meio de variáveis do Censo demográfico e fontes secundárias. Por sua vez, a *conversão florestal* refere-se ao *desmatamento*, entendido como a perda completa da cobertura vegetal em floresta primária, do tipo corte raso.

Neste novo contexto, tomando a *expansão urbana* e o *desmatamento* como elementos de observação dos amplos e complexos processos relativos à *urbanização* e à *conversão florestal*, questiona-se: Como ocorreram as evoluções, em período recente, da *expansão*

*urbana* e do *desmatamento* nos territórios amazônicos? Os padrões observados para a Amazônia Legal, tendo os estados como unidades espaciais de agregação, se repetiram em unidades espaciais mais finas, como os municípios? Existe associação espacial entre a *expansão urbana* e o *desmatamento*? Como se comporta, em diferentes unidades de observação, esta associação? Como se dá a relação entre o *desmatamento*, e a *expansão urbana* em sua dimensão socioeconômica?

Para responder estas questões, o trabalho propõe um estudo conduzido para três unidades espaciais, que refletem a configuração do espaço regional a partir de: (i) unidades estaduais, os estados da Amazônia Legal; (ii) unidades municipais, fazendo um recorte para os municípios do Pará; e (iii) um recorte territorial não político-administrativo baseado em uma grade de células regulares para o estado do Pará. Inicialmente, da caracterização das tendências de evolução temporal do *grau de urbanização* e *incremento do desmatamento* obteve-se um conjunto de padrões espaço-temporais e uma tipologia que classifica os estados da Amazônia Legal e os municípios do Pará. Em seguida, as relações espaciais entre a *expansão urbana* e o *desmatamento* foram exploradas, para o estado do Pará, considerando duas unidades espaciais de análise: os limites municipais e as células de uma grade regular. Esta relação foi modelada por meio do uso de Regressões Geograficamente Ponderadas (GWR) (BRUNSDON et al., 1996) que identificou grupos de municípios e grupos de células com comportamentos espaço-temporais similares. E por fim, para as unidades municipais (estado do Pará), conduziu-se a análise da relação *urbanização-conversão florestal* por meio de metodologia adaptada baseada na teoria da Curva Ambiental de Kuznets (EKC) (GROSSMAN; KRUEGER, 1991, 1995) para identificação das formas de relação entre o *desmatamento* e a *expansão urbana*, mediada pela dimensão socioeconômica do processo.

## 1.1 Objetivos

Para responder as questões levantadas, esta dissertação apresenta uma proposta metodológica cujo objetivo geral é propor uma abordagem espacial multinível e multiescala para o estudo de padrões espaço-temporais da relação entre a *expansão urbana* e *desmatamento* na Amazônia brasileira. O estudo se apoia em dados de sensoriamento remoto orbital e dados censitários e utiliza métodos de análise espacial e geotecnologias para integração, compatibilização e análise dos dados no tempo e no espaço. Adicionalmente, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- a) Caracterizar as tendências de evolução temporal da relação *expansão urbana-desmatamento* para os anos de 1991, 2000, 2010 e 2014 para os estados da Amazônia Legal; e 2000, 2010 e 2014 para os municípios do estado do Pará.
- b) Identificar padrões de evolução temporal dos processos de *expansão urbana* e *desmatamento* e apresentar uma *tipologia* para sua representação;
- c) Investigar as relações espaciais entre a *expansão urbana* e o *desmatamento*, de 2000 a 2014, no estado do Pará, considerando duas unidades de análise: os limites municipais e as células de uma grade regular, com o uso da Regressão Geograficamente Ponderada (GWR) como técnica de análise exploratória;
- d) Caracterizar a relação entre *expansão urbana* e *desmatamento*, observando a dimensão socioeconômica da *expansão urbana*, de 2000 a 2010, apoiada na abordagem proposta pela Curva Ambiental de Kuznets (EKC).

## 1.2. Estrutura da Dissertação

Este trabalho é dividido em seis partes. Seguindo o capítulo inicial que contém a Introdução, Objetivos e Estrutura da Dissertação (Capítulo 1), têm-se os capítulos referentes à Fundamentação Teórica (Capítulo 2) e Área de Estudo (Capítulo 3). Ao se optar pela análise a partir de diferentes escalas e metodologias de análise, uma abordagem metodológica é proposta para a condução de estudo empírico da relação entre os processos de *urbanização* e *conversão florestal*. Desse modo, os Capítulos 4 e 5, referentes à descrição dos procedimentos metodológicos e apresentação dos resultados, respectivamente, são divididos em três partes denominadas como Etapa 1, Etapa 2 e Etapa 3. A Etapa 1, cujo título é “*Análise de Tendências Gerais da Urbanização e Conversão Florestal na Amazônia: Primeiros Traços de Heterogeneidade*”, explorou as relações entre os processos de *expansão urbana* e *desmatamento* a partir de análise de tendências gerais. A Etapa 2, “*O Espaço Importa? Explorando a Associação Espacial entre os Processos*”, investigou os padrões de associação espacial entre o *desmatamento* e a *expansão urbana* por meio de técnicas de análise espacial local. A Etapa 3, “*Degradação Ambiental versus Desenvolvimento Socioeconômico: Curvas Ambientais de Kuznets na Investigação da Relação Urbanização-Conversão Florestal*”, explorou a relação do *desmatamento* e *urbanização*, baseado na dimensão socioeconômica do processo, à luz da teoria da Curva Ambiental de Kuznets (EKC). E, por fim, o Capítulo 6, “*Considerações Finais e Contribuições*”, apresenta as principais contribuições a partir da discussão dos resultados das etapas de trabalho.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para situar a discussão das relações entre os processos de *urbanização* e *conversão florestal* na Amazônia e subsidiar conceitualmente a metodologia proposta, nesta seção são apresentadas as principais bases teóricas que norteiam este trabalho. O subitem 2.1 – *Urbano Amazônico: As Multifaces de um Processo* - trata dos diversos conceitos que fundamentam o processo de *urbanização* e o histórico de ocupação do território amazônico. O subitem 2.2 – *O Processo de Conversão Florestal na Amazônia Brasileira* - trata da contextualização histórica e panorama geral das atividades de *desmatamento* na Amazônia. O subitem 2.3 – *Juntos ou Separados? A Relação entre os Processos de Urbanização e Conversão Florestal na Amazônia* - aborda diferentes perspectivas da relação entre a *urbanização* e a *conversão florestal* na Amazônia. Por fim, o subitem 2.4 – *Dimensão Socioeconômica da Urbanização: Como o Desmatamento contribui para o Desenvolvimento Regional?* – discute a relação entre o *desmatamento* e o *desenvolvimento socioeconômico* como subsídio para explorar a dimensão socioeconômica da relação *urbanização-conversão florestal*.

### 2.1. Urbano Amazônico: As Multifaces de um Processo

Os processos históricos de ocupação da Amazônia brasileira caracterizam um perfil não linear de crescimento socioeconômico, vinculado ao contexto histórico e aos recortes espaço-temporais (MACHADO, 1997; BECKER; STENNER, 2008; BECKER, 2009; BECKER, 2013). Os diferentes perfis de ocupação do território, associados aos contextos regionais, evoluíram segundo suas lógicas próprias, ditadas em grande parte por suas relações com o exterior, e economia prioritariamente voltada à valorização momentânea de produtos no mercado internacional (BECKER, 2001, 2009).

Em um primeiro momento, as missões religiosas foram responsáveis pela formação de pequenos núcleos urbanos (MACHADO, 1997; BECKER; STENNER, 2008), contudo, pouco contribuíram para a estrutura do urbano amazônico conforme visto atualmente. Apesar da pouca representatividade do período no histórico de ocupação do território, o século XVII foi caracterizado pelo início de uma política de povoamento, por meio da criação de fortins que deram origem aos grandes núcleos urbanos amazônicos: Belém do Pará e Manaus (MACHADO, 1997; BECKER; STENNER, 2008).

Ao contrário do período colonial, a partir de meados do século XIX, a economia da borracha cumpriu importante papel no surgimento e desenvolvimento do *fato urbano* na Amazônia. A complexidade das aglomerações populacionais estava subordinada ao papel da localidade na dinâmica do comércio do látex, que era extraído da floresta e transportado por redes fluviais até os portos distribuidores da produção. Neste formato, Belém se destacou por sua centralização de recursos financeiros, e Manaus, pelo pioneirismo na extração deste recurso (MACHADO, 1997; BECKER, 2001; BECKER; STENNER, 2008). A crise do “ciclo da borracha” resultou na desestruturação desta rede urbana, promovendo a estagnação econômica e, conseqüente, retorno a um processo de organização socioeconômica endógena que explica a estabilidade das dinâmicas de ocupação e povoamento nas décadas que se seguiram (MACHADO, 1997).

A fase inicial de um planejamento regional da Amazônia se dá a partir de 1930 e corresponde à data de implantação do “Estado Novo” pelo Governo de Getúlio Vargas. No entanto, efetivamente, é a partir de 1966 – ano de criação da Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) – quando se inicia o projeto geopolítico de ocupação da região, entendido, neste contexto, como medida de integração econômica, solução para conflitos por terras e meio para modernização das técnicas de agricultura (BECKER, 2001; BECKER; STENNER, 2008). Os estímulos para as frentes de ocupação resultaram em um grande investimento em redes de infraestrutura viária, de energia e telecomunicação (BECKER, 1990; MACHADO, 1999), exemplificando o conceito de “produção do espaço” discutido por Henri Lefebvre (LEFEBVRE, 1978 apud BECKER; STENNER, 2008), em que o Estado se apropria e transforma o território por meio de estratégias de controle econômico e migratório. Com isso, conforme as frentes dos investimentos infraestruturais se expandiam, novas aglomerações foram surgindo caracterizando um período de significativo crescimento populacional.

As décadas de 70 e 80 são marcadas por um urbanismo rural, onde cidades e projetos de colonização se fortaleceram ao longo de novos eixos de circulação com o objetivo de atrair a população e organizar o mercado de trabalho (BECKER, 2013). É na década de 70 que é implantada a Zona Franca de Manaus e observa-se a partir de então a intensificação do desenvolvimento socioeconômico e crescimento populacional em toda região (BECKER, 2013).

A década de 90 é marcada por um processo de descentralização das cidades, acentuado entre 1991 e 1996, com a criação de novos municípios e consolidação no crescimento das cidades pequenas e médias (até 100.000 habitantes) (MACHADO, 1999; BECKER, 2013), definindo o perfil de ocupação e zoneamento da região até datas mais recentes. No cenário econômico, vivia-se neste momento o início da revolução científico-tecnológica que influenciou na forma de organização social e política do território (BECKER e STENNER, 2008; BECKER, 2009). Altera-se então a dinâmica espaço-temporal de apropriação e remodelação do espaço, a partir da lógica da inovação contínua, com objetivo de garantir o avanço da globalização por meio da instauração de redes e fluxos de comunicação, circulação e economia.

A falta de um modelo conceitual claro que defina todas as dimensões do processo de *urbanização* estabelece o que Lefebvre (1999), já na década de 70, chamou de “campo cego” e define a dificuldade de estudar a *urbanização* na Amazônia por uma abordagem que vá além da dimensão populacional, crescimento no número de cidades e áreas urbanas. Devido à dificuldade de uma definição única que dê conta de descrever o processo, alguns conceitos são necessários para a compreensão deste fenômeno multidimensional.

A *urbanização*, conforme descrita por Machado (1999), define o modo de produção do espaço regional como um elemento organizador do sistema de povoamento, que rege a sua estrutura, conteúdo e evolução. Anteriormente, dada à complexidade do processo de *urbanização*, Castells (1974) propõe o termo *fenômeno urbano* que explica a *urbanização* como um “sistema cultural urbano” que supera a concentração de atividades e população em um espaço restrito. O *fenômeno urbano* representa um processo de transformação política e socioeconômica decorrente da estrutura do capitalismo e seu avanço sobre uma determinada localidade.

De modo complementar, apoiando-se em Lefebvre (1999), Monte-Mór (1994, 2004) interpreta a *urbanização* como um *continuum* que espalha o tecido urbano-industrial pelo território. Segundo este autor, a tomada da *cidade* pela indústria promove a produção e o consumo. Como resultado, há a atração de pessoas em busca de infraestrutura econômica e social, de modo que o poder de compra e acesso a bens aproxima o local às dinâmicas socioeconômicas do “modo de vida” urbano. Assim, entende-se a *urbanização* como um

processo que se expressa em duas formas: na primeira, refere-se ao núcleo urbano, onde o poder local, formado pelas autoridades governamentais e entidades privadas, estrutura os processos de remodelação do espaço urbano. Na segunda, o “tecido urbano”, caracterizado por uma trama de relações socioespaciais, penetra virtualmente nos espaços regionais (LEVEBvre, 1999; MONTE-MÓR, 1994, 2004) articulando núcleos urbanos e periferias (HARVEY, 1980; SANTOS, 1996). A esse processo, com base na discussão de Lefebvre (1999) e empirias na própria Amazônia, Monte-Mór (1994) denominou *urbanização extensiva*.

Ainda que não se referindo especificamente ao trabalho de Lefebvre (1999), Moloth (1976) complementa a ideia de *core/núcleo* urbano e define-o como centro de comando das forças geradoras de comportamentos e da economia, e por consequência, do modo de produção. Em discussões mais recentes, Becker (2013) aponta a voracidade dos agentes responsáveis pelas dinâmicas econômicas locais como fator limitante ao desenvolvimento dos mercados domésticos, que alimenta um progresso socialmente desigual, consequente da fraca política social do Estado.

De outro modo, partindo das bases conceituais da Arquitetura, Rossi (1966) define o *fato urbano* como espaços singulares que formam uma *cidade* e correspondem à ação da esfera pública e privada na concepção do espaço construído. Esta definição pode ser interpretada como os objetos infraestruturais que compõem o espaço, tal como casas, ruas, igrejas, comércio, praças e outros. A crescente produção de representações para caracterização do *fato urbano* dá conta de, por meio de representação simplificada, mostrar os efeitos das transformações promovidas pela *urbanização*, enquanto um processo, sobre o território e a população.

No contexto amazônico, a pluralidade de manifestações do processo de *urbanização* reflete a complexidade na dinâmica de ocupação do território. Desta forma, é fundamental que na definição e estudo da *urbanização* sejam consideradas as características inerentes aos distintos locais (BARBIERI et al., 2009). Esta pluralidade de processos e agentes atuantes no processo de ocupação do território amazônico se manifesta em formas diversificadas de assentamentos humanos. Organizados em núcleos populacionais, que não representam mais os modelos clássicos dicotômicos da relação *urbano-rural* e *campo-cidade* (BRENNER, 2014; DAL’ASTA, 2016), estes novos moldes de

assentamentos corroboram a ideia de *continuum* discutida por Lefbvre (1999) e Monte-Mór (1994, 2004).

Assim, a *urbanização* é um fenômeno que abrange transformações sociais e arranjos espaciais no território, e as impressões do *urbano* no espaço geográfico caracteriza o *fato urbano*. Apesar de o *fato urbano* poder ser reconhecido e modelado a partir de métricas estabelecidas e consolidadas, como mapeamentos de áreas urbanas (IBGE, 2005, 2015; MIRANDA et al, 2005; ALMEIDA et al., 2016; FARIAS et al., 2017) e levantamentos censitários (IBGE, 1991, 2000, 2010), os processos de transformação social, política e econômica, que caracterizam a *urbanização*, são de difícil representação a partir dos dados disponibilizados por órgãos oficiais. Por isso, neste trabalho, não se tem a pretensão de estudar a *urbanização* em todas as suas dimensões, enquanto processo histórico-geográfico, mas sim, suas impressões no território e espaço geográfico.

Partindo da compreensão do *urbano* como um “tecido” em constante expansão (MONTE-MÓR, 1994, 2004), busca-se estudar a *expansão urbana* em sua dimensão *territorial*, *populacional* e, ainda, seus efeitos de transformação *socioeconômica* da população. Deste modo, estabelece-se a *expansão urbana* como elemento observável do processo de *urbanização*, medido a partir: (a) da evolução das áreas construídas, fruto de adensamento populacional, passíveis de identificação por Sensoriamento Remoto, (b) da evolução da população urbana, e, (c) do perfil de *desenvolvimento socioeconômico* da população. A partir desta interpretação busca-se compreender a *expansão urbana* como o reflexo dos processos de transformação política, econômica e social, tanto sobre a forma concreta e estrutural – evolução de *áreas urbanizadas* e crescimento *populacional* – quanto sobre os efeitos no perfil *socioeconômico* da população – variáveis socioeconômicas.

## **2.2. O Processo de Conversão Florestal na Amazônia Brasileira**

O processo de *conversão florestal* é caracterizado pela mudança de área de floresta para outros tipos de cobertura da terra. No escopo deste trabalho, ao se falar em *conversão florestal*, restringe-se ao *desmatamento*, como mapeado pelo Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES), ou seja, a supressão da vegetação de floresta original por corte raso, identificável para áreas superiores a 6,25 ha (INPE, 2006).

Até a década de 50, os ciclos de exploração de recursos eram baseados em atividades extrativistas e pouco alteraram o estoque florestal amazônico (PANDOLFO, 1994; BECKER; STENNER, 2008). Contudo, os programas governamentais, assim como modelos privados, de frentes de colonização da Amazônia viabilizaram a ocupação do território a partir da década de 70 (NEPSTAD et al., 2000; FERREIRA; SALATI, 2005; BECKER, 2001, 2005, 2009; VALERIANO et al., 2012). Esses projetos resultaram em grande investimento em infraestruturas que visavam promover a integração da Amazônia ao restante do país. A abundância de terras e incentivos fiscais, para implantação de indústrias e exploração da terra e recursos por meio de atividades ligadas à agropecuária, mineração, telecomunicações e produção de energia (REIS; MARGULIS, 1991; PANDOLFO, 1994; BECKER, 2001, 2005, 2009), foram importantes fatores para a expansão pioneira na região.

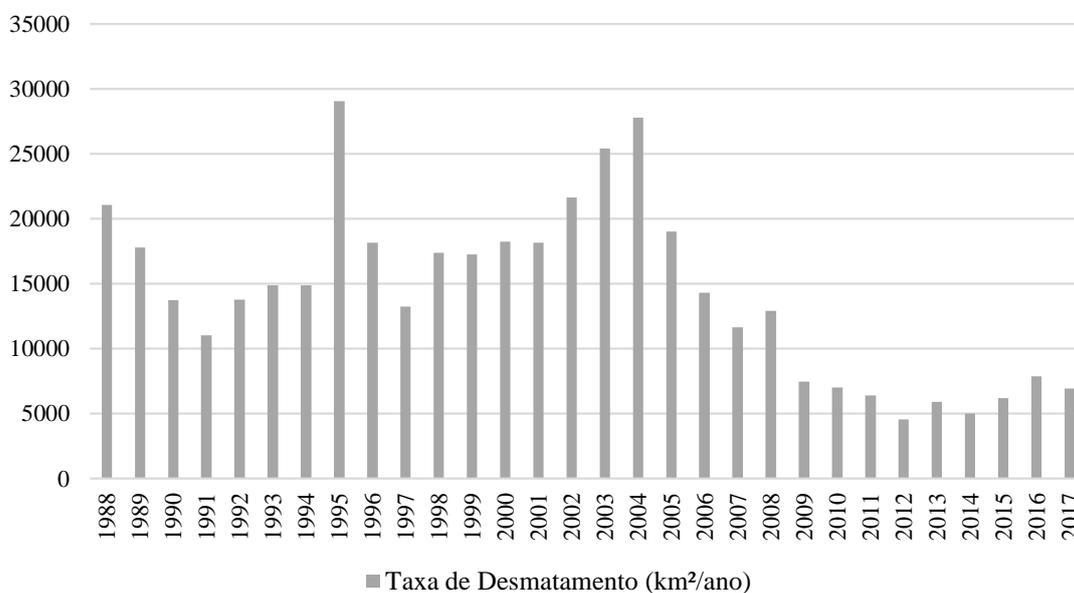
A partir da década de 80, a discussão sobre a perda florestal como uma das causas da emissão de gases de efeito estufa, assim como o risco de diminuição dos territórios de populações tradicionais, incluíram esta questão como preocupação global associada às mudanças climáticas (MMA, 2013). A partir de então, políticas públicas de comando e controle passaram a ser instituídas com o objetivo de contenção do *desmatamento* na Amazônia. Dentre estas políticas, surge o Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES), criado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em 1988, que monitora o *desmatamento* e gera estimativas anuais de taxas. Os mapeamentos sistemáticos do PRODES favoreceram a implementação e monitoramento de políticas de contenção da atividade de *desmatamento* e dão subsídios para pesquisas que tratam de questões sobre estoque de carbono e mudanças climáticas.

Alencar et al. (2004) destacam a necessidade da integração entre políticas ambientais e socioeconômicas para a efetiva ação governamental de controle do *desmatamento*. Em resposta a essa demanda e devido às altas taxas calculadas entre 1994 e 2004, a partir de 2004, o governo brasileiro instituiu o Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia (PPCDAm) (BECKER, 2009; VALERIANO et al., 2012), que se estrutura a partir de eixos relacionados com a regularização fundiária, a criação de novas áreas de proteção, ao monitoramento do *desmatamento* e ao incentivo à produção agrícola sustentável (MMA, 2004). Além de projetos provenientes de instituições privadas e da

moratória da soja e da carne (CARVALHO et al., 2016), as ações do PPCDAm foram determinantes para a queda da *taxa de desmatamento* (VALERIANO et al., 2012) entre 2005 e 2013 (Figura 2.1), apresentando-se como medida efetiva para o controle do *desmatamento* neste período.

Dos anos 2000 até datas mais recentes, apesar da significativa redução das taxas decorrente da ação de políticas de contenção, atividades de corte florestal ainda são recorrentes e as taxas variam ao longo dos anos (Figura 2.1). Esta flutuação relaciona-se, principalmente, às ações de comando e controle, ao contexto histórico socioeconômico regional, aos períodos de recessão e recuperação da economia do país e à instalação de grandes projetos mineradores, agropecuários e de infraestrutura (MARGULIS, 2002; ASSUNÇÃO et al., 2012; VALERIANO et al., 2012; NEPSTAD et al., 2014).

Figura 2.1 - *Taxa de desmatamento* anual na Amazônia Legal (km<sup>2</sup>/ano) entre 1988 e 2017.

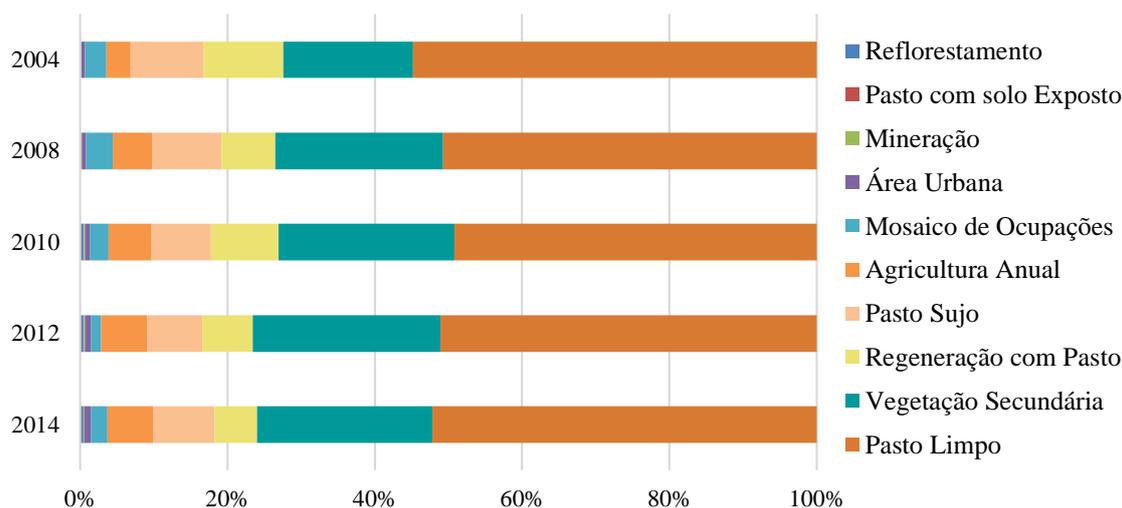


Fonte: Adaptado do programa PRODES INPE (2017).

Dentre as diversas coberturas subsequentes, a *conversão florestal* em pastagens é apontada por Alencar et al. (2004) e Aguiar et al. (2007), e mapeada pelo programa TerraClass (ALMEIDA et al., 2016), como uma das principais causas do *desmatamento* na Amazônia (Figura 2.2). Além da produção de pastagens, a expansão da agricultura mecanizada, representando uma geração de proprietários de terras mais capitalizados e detentores de maiores áreas (SOUZA et al., 2012), também teve significativa importância no avanço da fronteira agrícola (CARVALHO et al., 2002; MARGULIS, 2003). Neste

sentido, Kaimowitz et al. (2004) e Morton et al. (2006) apontam a expansão da agricultura como atividade mais relevante do que a pecuária para a expansão do *desmatamento* na fronteira amazônica. No entanto, Alencar et al. (2004) explicam que as culturas agrícolas, com foco principalmente na soja, se expandiram sobre áreas de pastagens e por isso não representam um processo novo de *conversão florestal*, mantendo a pastagem como principal uso resultante do processo de corte da floresta (Figura 2.2).

Figura 2.2 - Principais classes de uso e cobertura\* (%) na Amazônia Legal entre 2004 e 2014.



(\*) As classes hidrografia, desmatamento, não-observado, floresta, não-floresta e outros não foram consideradas no gráfico.

Fonte: Adaptado de Almeida et al. (2016).

Mesmo após a redução de incentivos fiscais, aplicação de dispositivos legais para regularização fundiária, e controle do *desmatamento* mais eficiente, ainda se observa forte correlação entre a pastagem e o *desmatamento* na Amazônia, destacando a importância da pecuária para a composição econômica regional (RIVERO et al., 2009). Além da associação da pastagem à produção pecuária, esta cobertura também se relaciona à especulação fundiária. Costa (2012, 2016) discute que entre a diversidade de dinâmicas de produção rural na Amazônia, o modo de produção patronal<sup>2</sup> é um importante financiador do mercado de terras e responsável por 70% das áreas degradadas na região.

<sup>2</sup> “(...) empresas rurais e fazendas para as quais a mediação do mercado de trabalho é condição de existência, condicionando fortemente suas características técnicas – de apropriação e uso da natureza.” (COSTA, 2011, p.628).

De outro modo, Cardoso et al. (2016) explicam como o mercado de terras têm influenciado não apenas no contexto rural, mas também na expansão de áreas urbanas. Os grandes circuitos de valorização da terra por meio de loteamentos de espaços periurbanos, apesar de pouco expressivos, também respondem atualmente como importantes agentes de *conversão florestal* na região amazônica.

Além do *desmatamento* associado ao histórico de atividades econômicas e mercado de terras na região, processos endógenos ditam uma dinâmica própria que não se explica a partir de contextualizações gerais (BECKER, 2009; VALERIANO et al., 2012). As múltiplas causas e agentes associados a diferentes contextos espaço-temporais nos processos de *conversão florestal* impõem uma certa complexidade ao se buscar meios de controle do *desmatamento* na Amazônia. Ainda assim, ao analisar a evolução das *taxas de desmatamento* ao longo do tempo, percebe-se o importante papel das políticas de comando e controle para contenção das atividades que, para serem efetivas a longo prazo, dependem de alterações sócio-políticas e tecnológicas (ALENCAR et al., 2004; VALERIANO et al., 2012), como a participação da sociedade na tomada de decisões (BECKER, 2001) e o refinamento constante das tecnologias de monitoramento (FERRARO; HANAUER, 2014). Além disso, o ajuste das políticas de conservação ambiental ao contexto das localidades é necessário, e, para isso, é de suma importância que a complexidade dos diferentes estágios da fronteira agrícola e as potencialidades socioeconômicas de cada território sejam considerados (BECKER, 2001; ALENCAR et al., 2004; BECKER; STENNER, 2008).

### **2.3. Juntos ou Separados? A Relação entre os Processos de *Urbanização* e *Conversão Florestal* na Amazônia**

Distintos históricos de ocupação, vasta extensão territorial e características geográficas locais resultam em significativas diferenças intrarregionais dos processos de *urbanização* e *conversão florestal* na Amazônia. Ao procurar compreender como estes processos se relacionam, diferentes autores (PERZ et al., 2005; DAL'ASTA et al., 2012; CARDOSO; NEGRÃO, 2013; RICHARDS; VANWEY, 2015; TRITSCH; TOURNEAU, 2014, 2016) ressaltam esta complexidade e, de forma geral, descrevem esta relação de duas formas: (a) a *urbanização* como um processo resultante de atividades progressas de *conversão*

*florestal*; ou seja, após o *desmatamento* há uma sucessão de classes de uso da terra, como pastagem ou agricultura, e finalmente a conversão para o uso urbano; e (b) a *urbanização* como resultado de fatores socioeconômicos subjacentes associados ao processo de *conversão florestal*. Apesar das diferenças entre estas duas abordagens, em ambos os casos, não se estabelece uma relação causal direta entre os processos.

A *urbanização* é um fenômeno inequívoco de tendência mundial, fruto do processo de transformação do território e sociedade (SANTOS, 1996), não sendo diferente no Brasil e tampouco na Amazônia – chamada de “*floresta urbanizada*” por Becker (1995). Diante de cenários de *urbanização* da população mundial e *desmatamento* em florestas tropicais, aumenta-se o interesse em investigar as possíveis relações entre estes fenômenos. No entanto, para a realidade amazônica, autores diversos destacam a necessidade de abordagens multiescalares (AB’SABER, 1989; BECKER; EGLER, 1997; AMARAL et al., 2001, 2003, 2012; BARBIERI, 2007; ESCADA et al., 2009; ALVES et al., 2010; MELLO-THÉRY; THÉRY, 2014) e são unânimes ao apontar a multiplicidade de atores e processos históricos atuantes na região.

Becker (2013) e Richards e Vanwey (2015) discutem a expansão de áreas urbanas como um residual direto do interesse do mercado internacional na produção de *commodities*. Esse mercado influencia diretamente as atividades de *desmatamento*, que altera a dinâmica dos espaços rurais, e por consequência, responde pela remodelação dos espaços urbanos. Aguiar et al. (2007) complementam argumentando que a abordagem global de observação da relação entre os processos privilegia a análise de fatores mais gerais e homogêneos e simplifica fatores intrarregionais, mostrando-se incapaz de representar a multifacetada realidade da região. De modo complementar, Costa (2016) pondera sobre as consequências da homogeneização das realidades amazônicas, e discute as graves implicações da simplificação dos territórios de produção para as políticas de desenvolvimento regional, e conseqüentemente, para as possibilidades de desenvolvimento urbano.

Priorizando a observação intraurbana, Dal’Asta et al. (2017) e Cardoso e Negrão (2013), respectivamente, na região sudoeste e sudeste do estado do Pará, exploraram as diferentes dinâmicas associadas à expansão de áreas urbanas e os possíveis agentes relacionados. Os autores identificaram diversos agentes e processos, na esfera pública e privada -

conjuntos habitacionais do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), loteamentos privados e áreas de ocupação espontânea desordenada – associados aos padrões de *expansão urbana* recente no estado do Pará. Cardoso e Negrão (2013) expõem como o planejamento territorial regional na Amazônia foi e ainda é, influenciado por grandes projetos a partir da formação de uma elite de atores locais que respondem pela remodelação do espaço urbano por meio da formalização do setor imobiliário. Os processos econômicos vigentes aliados à nova significação da terra, que passa de recurso natural para recurso financeiro, auxiliaram na consolidação desta elite migrante sem nenhuma relação simbólica com a realidade local.

De modo geral, observa-se que os efeitos da relação entre a evolução do *urbano* amazônico e o processo de *conversão florestal* se manifestam à medida que agentes externos, como o mercado de *commodities* e políticas de comando e controle, controlam as dinâmicas de *desmatamento* regional, e agem, concomitantemente, na remodelação dos espaços urbanos (MOLOTH, 1976; CARDOSO; NEGRÃO, 2013; BECKER, 2013; RICHARDS; VANWEY, 2015). Desta relação, é possível observar que os processos operam em diferentes escalas e níveis de observação (GIBSON et al., 2000), e denotam a dificuldade de se estabelecer conexões diretas e causais. Por isso, no contexto deste trabalho, a relação entre os processos de *urbanização* e *conversão florestal* foi interpretada a partir de diferentes níveis, compreendidos, com base na proposta de Gibson et al. (2000), como a abrangência territorial de análise – Amazônia Legal e o Estado do Pará. E, para estes níveis, as escalas foram estabelecidas, com suas dimensões mensuráveis – espacial e temporal – para apreender, medir e representar a relação entre os processos.

Além dos diferentes níveis e escalas de análise que devem ser considerados no estudo da relação entre os processos, a heterogeneidade associada ao *desmatamento* (AGUIAR et al., 2007; BRONDIZIO; MORAN, 2012) e à *urbanização* (MACHADO, 1998; HOGAN et al., 2008; MONTE-MÓR, 2004; 2006; CARDOSO, 2006; BECKER, 2013), assim como a necessidade de se compreender as especificidades no espaço regional como “quadro de referência básica para ação política” (BECKER, 2001, p.155), levam ao questionamento quanto à eficiência de propostas metodológicas que tratam estes processos de forma homogênea no território. Em vista da heterogeneidade associada aos

processos, alguns autores buscam explorar as relações entre variáveis a partir da perspectiva local e se utilizam de Regressões Geograficamente Ponderadas (GWR) (BRUNSDON et al., 1996) como método exploratório para observar esta diversidade de padrões impressos no território.

Macedo (2011), por exemplo, analisa as relações locais entre usos da terra e agentes associados à atividade pecuária e *desmatamento* no estado do Pará. E, de outro modo, Oliveira e Almeida (2011) exploram a relação do *desmatamento* com fatores socioeconômicos, e agentes associados à perda florestal, por meio de regressões espaciais locais (GWR). Ressalta-se que embora os processos históricos e os agentes de transformação socioeconômica das cidades amazônicas venham sendo discutidos (MOLOTH, 1976; MONTE-MÓR, 1994, 2004, 2006; PERZ et al., 2005; DAL'ASTA et al., 2012, 2017; CARDOSO; NEGRÃO, 2013; BECKER, 2009, 2013; RICHARDS; VANWEY, 2015; TRITSCH; TORNEAU, 2014, 2016), a configuração espacial do fenômeno, como dimensão de análise, ainda é pouco explorada. Assim, as relações espaciais, investigadas a partir de técnicas como o método GWR dariam conta de incluir a estrutura espacial dos fenômenos como uma dimensão para observação da relação entre processos heterogêneos, como a *urbanização* e a *conversão florestal*.

#### **2.4. Dimensão Socioeconômica da *Urbanização*: Como o *Desmatamento* contribui para a *Desenvolvimento Regional*?**

As cidades, como espaços de ação e articulação entre agentes públicos e privados, exercem importante papel tanto no processo de ocupação do território (MOLOTH, 1976), quanto na evolução do perfil de *desenvolvimento socioeconômico* regional (JACOBS, 1969). Isso posto, ressalta-se a necessidade de compreender as diferentes formas de relação entre o *desmatamento* e a *expansão urbana*, considerando o perfil de evolução socioeconômica como dimensão deste processo. A análise da relação entre o *desmatamento* e os níveis de desenvolvimento humano (MARGULIS, 2003; PRATES, 2008; RODRIGUES et al., 2009; CAVIGLIA-HARRIS et al., 2016; TRITSCH; ARVOR, 2016), assim como, o papel da *urbanização* como elo de ligação entre os dois (MOLOTH, 1976, SELDEN; SONG, 1994; RICHARDS; VANWEY, 2015), destaca a importância de

compreender a relação entre os processos de *urbanização* e *conversão florestal* além de seus efeitos sob o crescimento populacional e expansão de áreas urbanas.

Rodrigues et al. (2009) propõem a discussão da relação entre taxas de crescimento do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)<sup>3</sup> e *desmatamento* em diferentes estágios nos municípios da Amazônia brasileira, defendendo a existência da hipótese “Boom-Bust” (expansão e falência). Segundo esta hipótese, nos primeiros estágios do *desmatamento*, quando o ritmo de perda florestal é acelerado, há o aumento das taxas de crescimento do IDH, enquanto nos estágios mais avançados, quando a menor disponibilidade de recursos florestais impõe um ritmo mais lento de *desmatamento*, há a redução do crescimento do IDH.

Caviglia-Harris et al. (2016) discutem uma abordagem mais atual da hipótese “Boom-Bust” de Rodrigues et al. (2009). Os autores buscam desconstruir as relações entre o *desmatamento* e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) anteriormente previstas (RODRIGUES et al., 2009) a partir de modelos de regressão global entre as *taxas de desmatamento* e as variações do IDH, e entre o *desmatamento* e o índice de renda isoladamente, em datas mais recentes. Baseados na comparação entre a taxa de crescimento do IDH na região da Amazônia Legal e no Brasil como um todo, concluem que a Amazônia e o Brasil possuem similaridades nos padrões de crescimento e identificam o desacoplamento entre o IDH e o *desmatamento* ao longo do tempo.

Sob outra perspectiva, Prates (2008) discute os impactos positivos sobre o “bem-estar”, em cenários restritivos de atividades de *desmatamento*. E, de modo complementar, Diniz et al. (2008) apontam a relação entre o *desmatamento* e o desenvolvimento econômico como reforço a uma “armadilha da pobreza”. Os autores discutem que a exploração excessiva dos recursos naturais reforça a situação de pobreza crônica da região e gera um sistema de carências sociais e devastação ambiental que se retroalimenta.

---

<sup>3</sup> O IDH é entendido como um valor sintético obtido com base nos resultados dos três eixos que o compõem (longevidade, educação e renda) (PNUD, 2017) com a finalidade de parametrizar o desenvolvimento mensurável entre unidades geopolíticas.

Ainda no contexto da discussão da relação entre o *desmatamento* e o desenvolvimento regional, Richards e VanWey (2015) apontam o papel das cidades como unidades estratégicas de evolução dos níveis de *desenvolvimento socioeconômico* da população. Os autores observam que os processos de *expansão urbana* se encontram associados a grandes investimentos públicos e privados para financiamento de projetos em determinadas regiões (MOURA; MOREIRA, 2001) que atuam como polos de extração e exportação de recursos e conseqüentemente promovem melhorias nas condições de vida da população. Resultante de condições institucionais de beneficiamento ao comércio de *commodities*, os autores apontam o processo de *expansão urbana* como o elo de ligação entre o *desmatamento* e a melhoria nos níveis de “qualidade de vida” da população. A partir da proposta de Richards e VanWey (2015) compreende-se esta relação como parte de um ciclo que se inicia pela atuação de fatores exógenos - interesse do mercado internacional sobre a extração de recursos florestais e produção de *commodities* -, passa pelo corte florestal, ou seja, a atuação da elite local de agentes públicos e privados associada ao *desmatamento*, a remodelação e expansão das cidades e termina em melhorias socioeconômicas na escala local.

Buscando compreender a relação entre desenvolvimento econômico e meio ambiente, estudos adotam a metodologia proposta pela teoria da Curva Ambiental de Kuznets (EKC)<sup>4</sup> (GROSSMAN; KRUEGER, 1991, 1995) para identificar relações previstas teoricamente entre a *degradação ambiental* e o *desenvolvimento socioeconômico*. No contexto deste trabalho, o *desenvolvimento socioeconômico* representa a dimensão socioeconômica da *expansão urbana* e, a partir das bases teórico-conceituas propostas pela EKC, a relação *urbanização-conversão florestal* é analisada.

O conceito da Curva Ambiental de Kuznets (EKC) surgiu no início da década de 90 e pretendia descrever a evolução no tempo, da poluição de um país em função do

---

<sup>4</sup> O conceito da Curva Ambiental de Kuznets (EKC) parte do método econométrico da Curva de Kuznets (CK), adaptado por Grossman e Krueger (1995). A CK é uma representação gráfica da hipótese econômica, dentro do campo da teoria do desenvolvimento econômico, que relaciona a desigualdade de renda ao crescimento do produto interno bruto de uma economia. Nesta adaptação, a Curva Ambiental de Kuznets (EKC) procura explorar a relação entre o desenvolvimento econômico e a degradação ambiental.

desenvolvimento econômico (GROSSMAN; KRUEGER, 1991) caracterizado por uma curva em forma de “U” invertido (STERN, 2004). Este formato original é explicado por três principais, e complementares, argumentos: (i) à medida que ocorre a transição de uma economia agrária para a economia industrial – de limpa para poluída -, aumentam-se os níveis de poluição. Isso ocorre porquê nas economias em desenvolvimento o controle da *degradação ambiental* não é priorizado. No entanto, à medida que a economia se desenvolve, com níveis mais altos de renda *per capita*, aumentam-se as ações de proteção ao meio ambiente, e com isso a redução da *degradação ambiental* (GROSSMAN; KRUEGER, 1995); (ii) a transição de uma economia agrária para uma economia industrial é seguida por uma economia de serviços, servindo como ponto de inflexão da curva. Ou seja, passa-se de uma economia “limpa” (agrária), para uma economia “poluída” (industrial), e em seguida, para uma economia “limpa” (serviços) novamente (ARROW et al., 1995); e ainda, (iii) a parte descendente da curva é explicada também pela exportação – por economias ricas - de processos produtivos poluentes e ambientalmente degradantes para economias menos desenvolvidas (LUCAS et al., 1992; ARROW et al., 1995; STERN et al., 1996; SURI; CHAPMAN, 1998).

A este processo evolutivo, que caracteriza a trajetória dos impactos ambientais em função da renda *per capita*, denomina-se Curva Ambiental de Kuznets (EKC). Em resumo, a EKC descreve a relação da *degradação ambiental*, em regiões em desenvolvimento, com a renda *per capita* baixa. À medida que a localidade atinge condições socioeconômicas e tecnológicas superiores, aliados às políticas de preservação ambiental, muda-se a relação das variáveis, e passa-se a ter menos pressão ambiental sobre os recursos naturais. Assim, os indicadores de degradação apresentam redução para níveis mais elevados de desenvolvimento econômico (STERN, 2004). O interesse em respostas sobre a relação entre desenvolvimento econômico e *degradação ambiental* motivou inúmeros estudos empíricos acerca da validade da hipótese da Curva Ambiental de Kuznets (EKC). Para tanto, diversos indicadores de *degradação ambiental*, diferentes conjuntos de variáveis complementares e contextos espaço-temporais, têm sido adotados.

Grossman e Krueger (1991), precursores da EKC, exploraram as relações entre indicadores de qualidade do ar e desenvolvimento econômico em 42 países. Observaram que os níveis de dois principais poluentes (dióxido de enxofre e fumaça) aumentam com a renda em países com baixos níveis de PIB *per capita*, e, tendem a diminuir em países

com economia mais consolidada e elevados valores de PIB. Em 1995 (GROSSMAN; KRUEGER, 1995), os mesmos autores exploraram a relação entre indicadores de poluição do ar, eutrofização, contaminação fecal e presença de metais pesados em bacias hidrográficas em função do desenvolvimento econômico e constataram o efeito EKC também para estas relações.

Carvalho e Almeida (2010) exploraram a relação entre desenvolvimento econômico e aquecimento global por meio de abordagem econométrica espacial. Evidências da existência dos efeitos da EKC em formato de “U” invertido para o termo quadrático da renda, e em formato de “N” para o termo cúbico da renda foram constatadas. O resultado observado revela que além da confirmação do efeito da EKC, a emissão de gases de efeito estufa voltam a aumentar em níveis de crescimento econômico muito elevados.

Oliveira e Almeida (2011) utilizaram Regressões Geograficamente Ponderadas (GWR) para investigar a EKC como um fenômeno de efeitos locais, com variabilidade espacial, na relação entre o *desmatamento* e o desenvolvimento econômico na Amazônia. Os resultados apontaram diferentes relações entre o *desmatamento* e o PIB *per capita* municipal, assim como diferentes relações do *desmatamento* com as demais variáveis explicativas, confirmando a hipótese de variabilidade espacial dos fenômenos modelados.

O perfil de ocupação do território amazônico baseado em “surto econômico”, condicionados aos interesses do mercado internacional, caracteriza a fragilidade do mercado doméstico e dependência de fatores exógenos (BECKER, 2009, 2013). As cidades amazônicas se expandiram como resultado destes “surto” (BECKER, 2013) e, a partir deles, é possível compreender as dinâmicas socioeconômicas subjacentes. Sendo assim, ao se buscar compreender como o *desmatamento* contribui para o *desenvolvimento socioeconômico* regional, a *urbanização*, como base para materialização do *desenvolvimento socioeconômico*, integra-se a essa discussão.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

A Amazônia Legal<sup>5</sup> é um recorte espacial para fins de planejamento e abrange os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Maranhão, Pará, Roraima, Rondônia e Tocantins. Com uma extensão territorial de aproximadamente 5 milhões de km<sup>2</sup> (61% do território brasileiro) e efetivo populacional equivalente à 13,3% do total de residentes do país (IBGE, 2010), a Amazônia Legal é caracterizada por seu desenvolvimento desigual, que reflete as complexidades e heterogeneidade dos processos históricos de ocupação do seu território.

É possível dividir o processo histórico recente de ocupação da Amazônia, genericamente, em três grandes fases econômicas: a primeira marcada por influências do mercado internacional na produção e exportação do látex, a segunda caracterizada por intervenções estatais para ocupação do território a partir de grandes projetos de infraestrutura, e, a terceira caracterizada pelo avanço dos agentes impulsionadores de mercados interno e externo conjugados ao poder público (BECKER, 2001; BECKER, 2009; PRATES; BACHA, 2011). Por privilegiar determinados espaços, constituídos com base em estruturas preexistentes ou nos quais as condições de ocupação foram criadas (MOURA; MOREIRA, 2001), a ocupação do território se deu de forma desigual. Estes complexos processos caracterizam o perfil de ocupação do território amazônico visto até datas mais recentes. Neste contexto de singularidades, o estado do Pará vem se destacando por acumular ao longo da história importantes características em suas dinâmicas de crescimento populacional e urbano, e de *desmatamento*.

Atualmente, no Pará, as atividades econômicas concentram-se no setor de extrativismo mineral e madeireiro, na agricultura e serviços; principalmente com expansão na agricultura pela produção de soja (FAPESPA, 2016). As elevadas taxas de crescimento populacional (134 mil hab/ano de 1970 a 2010) (IBGE, 2010c) conferem ao estado o título de mais populoso da região norte (IBGE, 2010b). Entre 2000 e 2010, a população

---

<sup>5</sup> A Amazônia Brasileira é definida pela Lei nº 1.806, de 06 de janeiro de 1953 e atualizada pela Lei Ordinária nº 5.173, de 27 de outubro de 1966. A Lei Complementar nº 124, de 3 de janeiro de 2007 atualiza a Lei Ordinária nº 5.173, de 27 de outubro de 1966 e estabelece em seu Artigo 2º a atual definição para a Amazônia Legal como “A área de atuação da Sudam que abrange os Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Rondônia, Roraima, Tocantins, Pará e Maranhão, na sua porção a oeste do Meridiano 44º”.

do Pará cresceu a uma taxa média anual de 2,04%. No Brasil, esta taxa foi de 1,17% no mesmo período (IBGE, 2000, 2010). O rápido crescimento da população se refletiu também no crescimento urbano, destacando o Pará entre os estados da Amazônia Legal que mais cresceram em população urbana nas últimas décadas (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - População urbana em termos relativos (%) da Amazônia Legal em 1991, 2000 e 2010.

	Pop Urbana (%)			Dif. Pop Urbana (%)
	1991	2000	2010	(2010 - 1991)
<b>Brasil</b>	75.59	81.24	84.36	8.76
<b>Acre</b>	61.88	66.41	72.56	10.67
<b>Amazonas</b>	71.44	74.92	79.09	7.64
<b>Amapá</b>	80.90	89.02	89.77	8.86
<b>Maranhão</b>	40.00	59.52	63.07	23.07
<b>Mato Grosso</b>	73.25	79.37	81.80	8.54
<b>Pará</b>	52.45	66.54	68.48	16.02
<b>Rondônia</b>	58.20	64.10	73.55	15.34
<b>Roraima</b>	64.71	76.14	76.55	11.83
<b>Tocantins</b>	57.68	74.32	78.79	21.11

Fonte: Adaptado de IBGE (1991, 2000, 2010).

Além do crescimento populacional, o Pará se distingue também por apresentar as maiores *taxas de desmatamento* desde 2006. Estima-se que foram mais de 142 mil km<sup>2</sup> de área desmatada de 1988 a 2017, o que equivale em média a 34% do *desmatamento* de toda a Amazônia Legal, segundo o projeto PRODES (INPE, 2017). De modo geral, a expansão da fronteira agrícola e a intensa perda florestal ocorreram principalmente onde o arco do desmatamento avança sobre as mesorregiões do sudeste e sudoeste paraense (IBGE, 2005).

Ainda que questionável como indicador de desenvolvimento (VIVERET, 2006), o valor de PIB (Produto Interno Bruto) reflete as dinâmicas das atividades econômicas e impactos na economia. O estado do Pará em 2015 contribuiu com 2,2% do PIB nacional e 40,8% do PIB da região norte (FAPESPA, 2017) e, embora com diferenças regionais, demonstrou ser um estado de economia complexa, composta por atividade agropecuária e industrial. De forma antagônica, apresenta o menor IDH da região (0,646 em 2010), estando entre os sete piores valores do índice no país (PNUD, 2010).

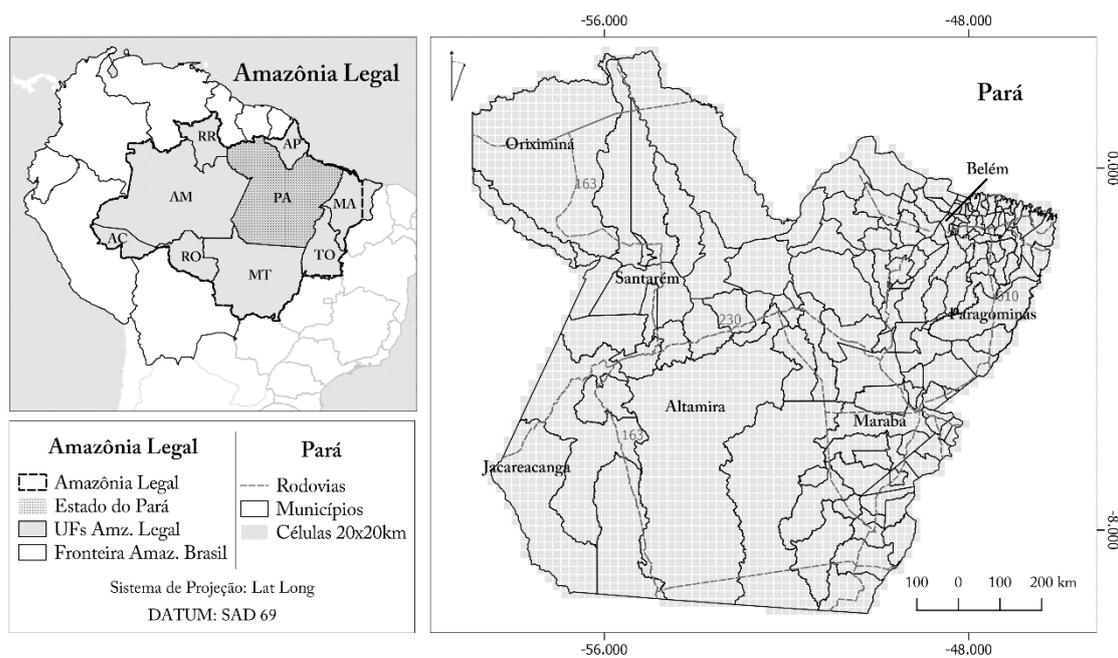
Além das características particulares do Pará quanto às dinâmicas de *desmatamento*, crescimento populacional e socioeconomia, há ainda a disponibilidade, em série temporal, de dados socioeconômicos e espaciais acumulados durante anos de pesquisas de campo realizadas na região (ESCADA et al., 2009; DAL’ASTA et al., 2011; AMARAL et al., 2012b; ESCADA et al., 2013; DAL’ASTA et al., 2014; ESCADA et al., 2017; AFFONSO et al., 2016; DAL’ASTA et al., 2016). Informações desde 2005 têm sido levantadas e sistematizadas por pesquisadores, bolsistas e alunos de pós-graduação em Sensoriamento Remoto e Ciência do Sistema Terrestre do INPE, ligados aos projetos de pesquisa do atual Laboratório de Investigação em Sistemas Socioambientais (LiSS)<sup>6</sup>.

Por estas características gerais, com a finalidade de contemplar uma abordagem multiescalar, a observação das relações entre *urbanização* e *conversão florestal* foi realizada a partir de três unidades espaciais básicas: i) os estados da Amazônia Legal, ii) os municípios do estado do Pará e, iii) grade regular de células de 20 x 20km tendo como limite o estado do Pará (Figura 3.1).

---

<sup>6</sup> Desde 2005, este grupo tem realizado trabalhos de campo no Pará, com o suporte financeiro dos Projetos: GEOMA (Rede Temática em Modelagem Ambiental na Amazônia), PIME (Projeto Integrado MCT-EMBRAPA), Cenários (Cenários para a Amazônia: Uso da terra, Biodiversidade e Clima) LUA-IAM Fapesp (Land use change in Amazonia: institutional analysis and modeling at multiple temporal and spatial scales), URBISAMAZÔNIA (Projeto URBISAMAZÔNIA: Qual a Natureza do Urbano na Amazônia Contemporânea?) e BNDES (Projeto MSA - Sub-Projeto 5 - Trajetórias de Padrões e Processos na Caracterização de Novas Dinâmicas do Desmatamento na Amazônia). O primeiro levantamento de campo na região Sudoeste do Pará foi realizado em 2008 (ESCADA et al, 2009).

Figura 3.1 – Área de Estudo.

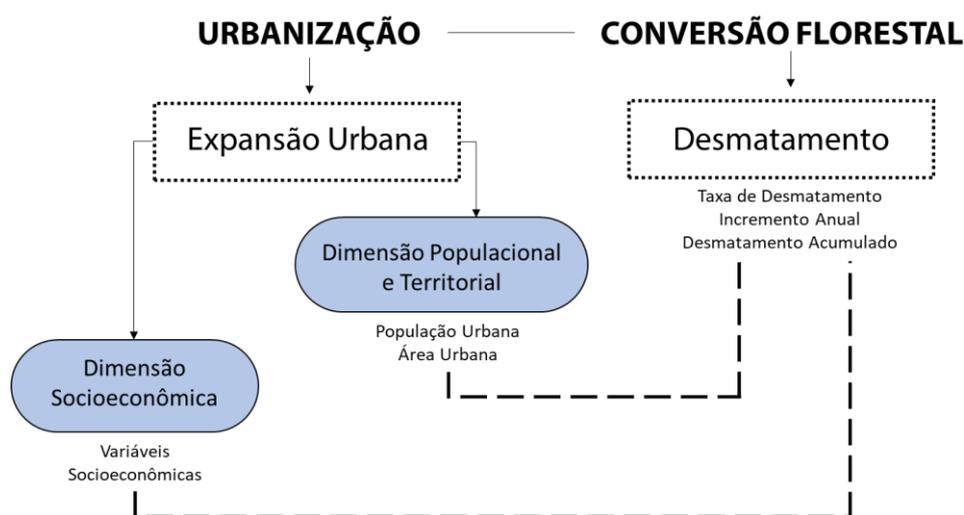


Fonte: Adaptado de IBGE (2000b, 2010d) e MMA (2010).

#### 4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As mediações para os processos de *urbanização* e *conversão florestal* foram feitas contemplando diferentes abordagens metodológicas. Para a *urbanização*, a *expansão urbana* é seu elemento observável, medida por suas dimensões *populacional*, *territorial* e *socioeconômica*. Para a *conversão florestal*, o *desmatamento* é o elemento de observação do processo, medido pela *taxa anual de desmatamento*, pelo *incremento anual* e pelo *desmatamento acumulado*. Ao longo do trabalho estas dimensões são capturadas em diferentes bases de dados produzindo as diferentes medidas, em diferentes níveis e escalas, que buscam explorar a relação entre estes processos (Figura 4.1).

Figura 4.1 – Elementos observáveis - *expansão urbana* e *desmatamento* - dos processos de *urbanização* e *conversão florestal* e as respectivas medidas para as dimensões destes processos.

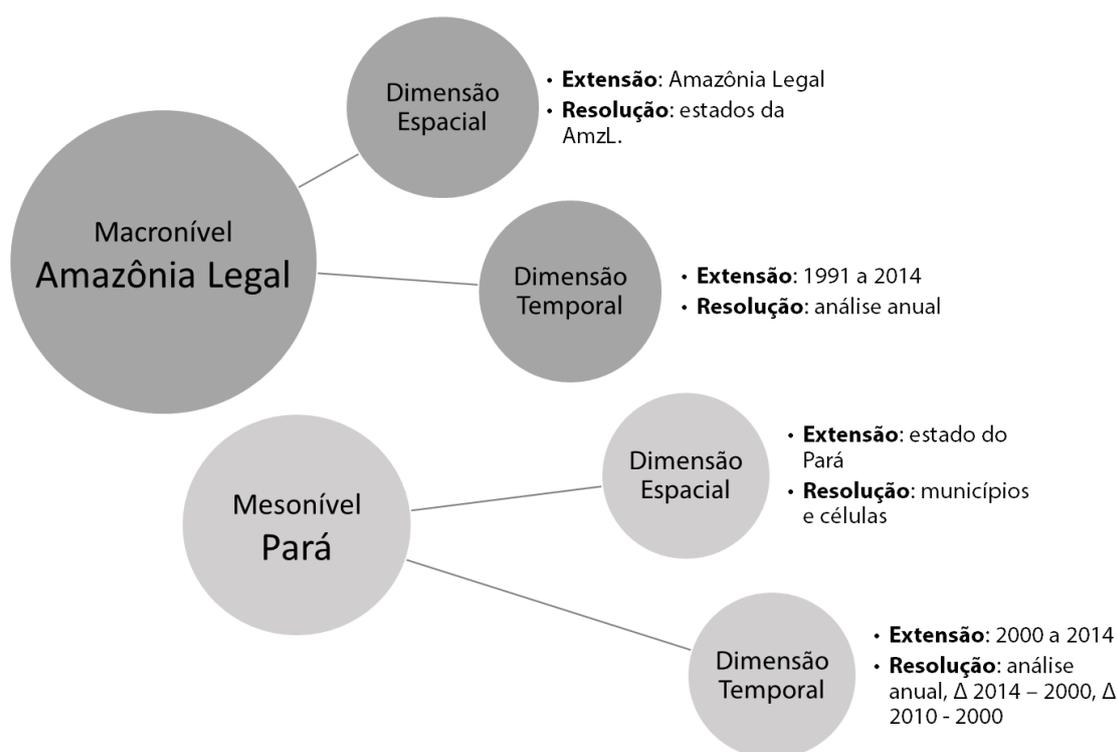


Fonte: Produção da autora.

No macronível da Amazônia Legal, o território em análise é a região definida como Amazônia Legal. A dimensão espacial da escala de análise neste nível tem como **extensão** o limite da Amazônia Legal e como **resolução**, ou seja, como unidade espacial de referência, os estados desta região. O método de análise nesta escala é a *Análise de Tendências*. A dimensão temporal tem como **extensão** o período de 1991 a 2014 e como **resolução** a análise anual de anos específicos do período: 1991, 2000, 2010 e 2014. No mesonível de análise, quando observamos a relação para o estado do Pará, a dimensão espacial nesta escala tem como **extensão** o limite do estado do Pará e possui duas

**resoluções:** (i) os municípios do estado e, (ii) grade celular com células de 20x20 km. A dimensão temporal tem como **extensão** o período de 2000 a 2014 e três **resoluções:** (i) análise anual de anos específicos: 2000, 2010 e 2014, (ii) a análise referente a diferença entre o ano 2014 e o ano 2000 e, (iii) a análise referente à diferença entre o ano de 2010 e o ano 2000. Os diferentes recortes temporais respondem à disponibilidade de dados nas bases e unidade de análise. Os métodos de análise nesta escala são a *Análise de Tendências*, a *Análise de Associações com Condicionante Espacial* e a *Curva Ambiental de Kuznets*.

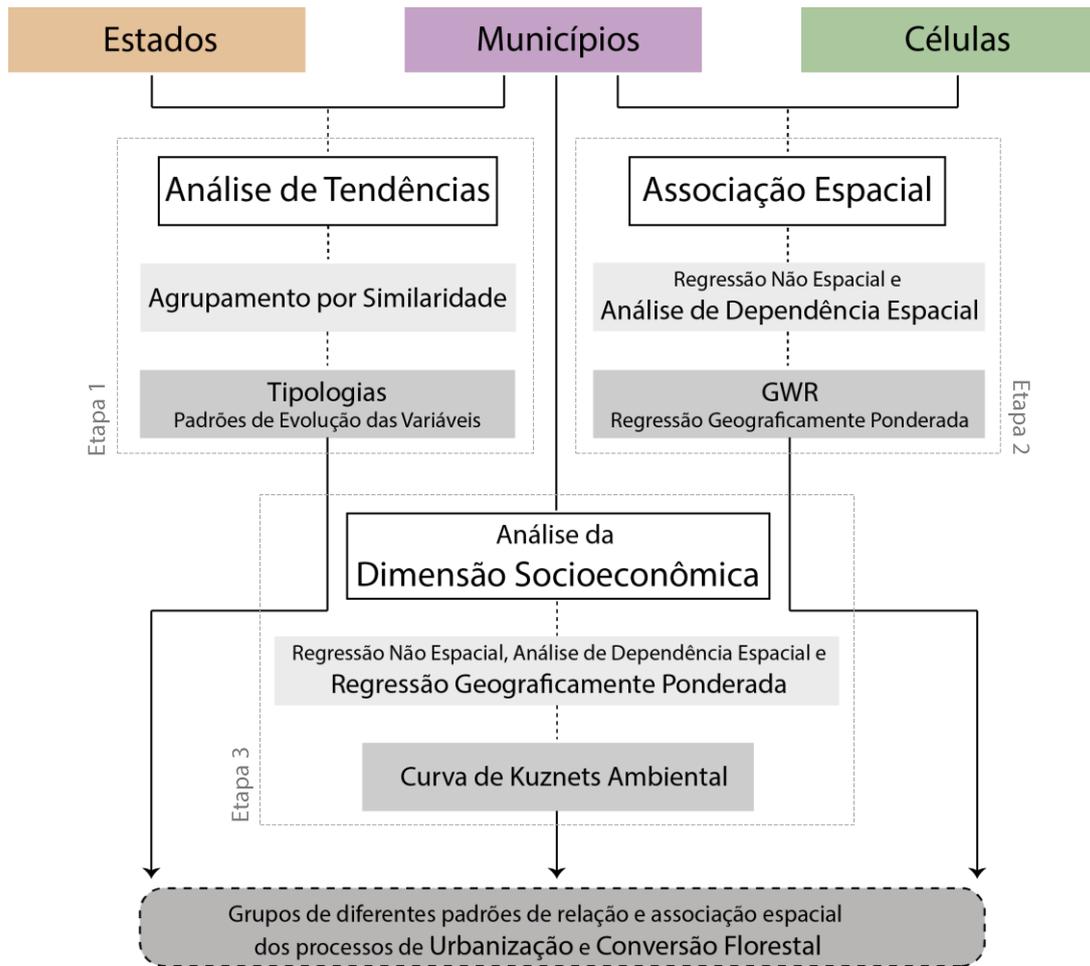
Figura 4.2 – Níveis, escalas e dimensões de análise.



Fonte: Produção da autora.

As etapas metodológicas por unidades espaciais de análise (resolução das dimensões espaciais das escalas) são apresentadas na Figura 4.3 e detalhadas nos itens 4.1 (Etapa 1), 4.2 (Etapa 2) e 4.3 (Etapa 3). O item 4.4 apresenta uma nota sobre o MAUP (Problema das Unidades de Áreas Modificáveis).

Figura 4.3 – Diagrama metodológico: unidades espaciais de referência para as análises, técnicas e resultados associados.



Fonte: Produção da autora.

#### 4.1. Etapa 1: Análise de Tendências Gerais da *Urbanização e Conversão Florestal* na Amazônia: Primeiros Traços de Heterogeneidade

Inicialmente, a relação do *desmatamento* e *expansão urbana* foi observada a partir de análise de tendências gerais, buscando uma tipologia de padrões descritivos da evolução dessa relação. Na resolução estadual da escala da Amazônia Legal, os processos foram observados para os anos de 1991, 2000, 2010 e 2014. Na resolução municipal da escala do estado do Pará, os processos foram analisados para os anos de 2000, 2010 e 2014.

Nesta etapa, a *expansão urbana* é medida pelo *grau de urbanização* (GU). Este indicador é dado pela porcentagem de população urbana em relação à população total (IBGE, 2009)

(Equação 4.1), e foi calculado para todos os estados da Amazônia Legal e municípios do estado do Pará.

$$\text{Grau de Urbanização} = \frac{\text{População Urbana} \times 100}{\text{População Total}} \quad (4.1)$$

Os dados de população urbana e total foram obtidos dos resultados de Universo dos Censos para os anos de 1991, 2000 e 2010 (IBGE, 1991, 2000, 2010). Para o ano de 2014, a população total foi obtida a partir dos dados de Estimativa (IBGE, 2014), e a população urbana foi estimada com base na metodologia proposta por Madeira e Simões (1972).

A metodologia de estimativa populacional aplicada (MADEIRA; SIMÕES, 1972) parte do pressuposto que as populações urbana e rural, para uma unidade territorial de análise, são funções do volume populacional de unidade imediatamente superior ( $P_T(t)$ ), na qual a população urbana ou rural ( $P_i(t)$ ) em uma data pode ser estimada a partir de coeficientes de proporcionalidade ( $a_i$ ) e de correção ( $b_i$ ) calculados para anos de resultados de Universo (Censo) (Equação 4.2). Sendo assim,  $P_T(t)$  na equação de cálculo da população urbana (Equação 4.2) para os estados da Amazônia Legal representa a população total brasileira, e, para os municípios do Pará representa a população total paraense.

$$P_i(t) = a_i \cdot P_T(t) + b_i \quad (4.2)$$

O cálculo da população urbana para o ano de Estimativa (2014) dependeu, inicialmente, da determinação dos coeficientes ( $a_i$  e  $b_i$ ) que foram calculados com base nas populações recenseadas dos anos 2000 e 2010. Onde,  $a_i$  representa o coeficiente de proporcionalidade do incremento da população urbana da UF em relação ao incremento da população total do Brasil (Equação 4.3a), ou, para os municípios, o incremento da população urbana do município em relação ao incremento da população total do Pará (Equação 4.3b), e  $b_i$  representa o coeficiente linear de correção do modelo (Equação 4.4a e 4.4b).

$$a_i = \frac{P_{urbana(UF)}(2010) - P_{urbana(UF)}(2000)}{P_{total(Br)}(2010) - P_{total(Br)}(2000)} \quad (4.3a)$$

$$a_i = \frac{P_{urbana(Mun)}(2010) - P_{urbana(Mun)}(2000)}{P_{total(Pará)}(2010) - P_{total(Pará)}(2000)} \quad (4.3b)$$

$$b_i = \frac{[(P_{urbana(UF)}(2000) + P_{urbana(UF)}(2010)) - a_i \cdot (P_{total(Br)}(2000) + P_{total(Br)}(2010))]}{2} \quad (4.4a)$$

$$b_i = \frac{[(P_{urbana(Mun)}(2000) + P_{urbana(Mun)}(2010)) - a_i \cdot (P_{total(Pará)}(2000) + P_{total(Pará)}(2010))]}{2} \quad (4.4b)$$

Como medida do processo de *conversão florestal*, o *desmatamento* nesta etapa foi representado pela *taxa de desmatamento*, e pelo somatório do *incremento anual* de perda florestal para os municípios que compõem cada estado da Amazônia Legal, ambos obtidos do PRODES (INPE, 2015, 2017). Para os municípios, devido a indisponibilidade de dados de *taxa de desmatamento*, utilizou-se somente o *incremento anual de desmatamento* (INPE, 2015).

O *incremento anual* é calculado com base nos novos polígonos de desmatamento, do tipo corte raso, mapeados no ano vigente (t2) em relação ao *acumulado*<sup>7</sup> do ano anterior (t1), sem considerar a cobertura de nuvens e diferenças na data de aquisição da imagem (INPE, 2006). A *taxa de desmatamento* representa o valor estimado de área desmatada com extrapolação dos efeitos de nuvens e dos dados para se considerar o período de um ano com base em uma data de referência (1º de agosto). As *taxas de desmatamento* foram, concomitantemente ao *incremento*, consideradas para a análise na resolução estadual, tendo a possibilidade de corrigir estas possíveis interferências nessa escala e resolução de análise.

Destaca-se que, devido às grandes áreas de cobertura de nuvens nos anos de 1997 a 2000 em algumas regiões da Amazônia, o dado referente ao *incremento anual de desmatamento* encontra-se disponível apenas a partir de 2001, enquanto para a *taxa de desmatamento* têm-se dados para todos os anos da análise (1991, 2000, 2010 e 2014). Devido às limitações na aquisição do dado de *incremento* de 1997 a 2000, em algumas regiões o valor do desmatamento em 2001 pode ter sido superestimado, desta forma, os resultados para estas áreas devem ser relativizados.

---

<sup>7</sup> Refere-se a todo *desmatamento*, do tipo corte raso, mapeado até a data (t1).

A tipologia de padrões quanto à evolução das variáveis de *expansão urbana* e *desmatamento* foi definida empiricamente a partir da observação dos gráficos das intensidades das variáveis nos períodos de análise na escala da Amazônia Legal para os estados (1991, 2000, 2010 e 2014) e na escala do estado do Pará para os municípios (2000, 2010 e 2014). As unidades espaciais (estados e municípios) com evolução temporal similares para ambas variáveis foram agrupadas, refletindo as dinâmicas conjuntas de aumento, decréscimo ou estabilidade. Considerando a dificuldade em se estabelecer relação direta entre o *desmatamento* e a *expansão urbana*, várias possibilidades de padrões de evolução são esperadas.

#### **4.2. Etapa 2: O Espaço Importa? Explorando a Associação Espacial entre os Processos**

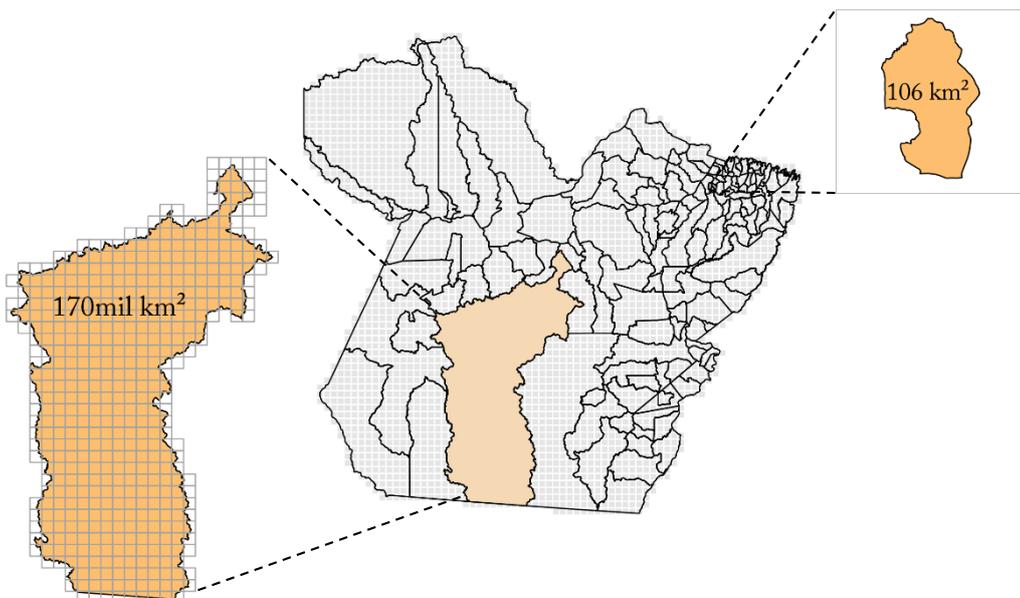
O esquema metodológico proposto nesta etapa visou explorar as relações de associação espacial entre o *desmatamento* e a *expansão urbana*, na escala do estado do Pará, tendo como unidades de análise os limites municipais e uma grade regular de células, cada célula na grade com um tamanho de 20x20km. Nesta etapa, a *expansão urbana* é medida de duas formas: i) pelo mapeamento da *área urbana*, representando a dimensão *territorial* e ii) pela *população urbana*, representando a dimensão *populacional* do processo. Para o *desmatamento*, foi analisado o *desmatamento acumulado*, que representa o total de área desmatada até uma determinada data.

Assim, para a análise da *expansão urbana* considerando a *área urbana* como medida deste processo, os dados contendo os limites de *área urbana* foram obtidos a partir do mapeamento de uso e cobertura da terra do TerraClass para os anos de 2004 e 2014 (INPE, 2004, 2014). E ainda, para a análise da *expansão urbana*, considerando a *população urbana* como medida deste processo, foram utilizados os dados de Censo populacional por município. Os valores totais absolutos de *população urbana* foram obtidos a partir dos levantamentos censitários de 2000 (IBGE, 2000) e 2010 (IBGE, 2010), e estimados para 2014 com base na metodologia de Madeira e Simões (1972), conforme citada na etapa metodológica anterior (item 4.1). Para a análise do *desmatamento*, considerando o *desmatamento acumulado* como medida deste processo, considerou-se a área de perda

florestal primária acumulada por município até os anos de 2000 e 2014. Os dados foram obtidos dos levantamentos anuais do PRODES (INPE, 2015).

Duas foram as unidades espaciais de referência adotadas para explorar as relações espaciais entre fenômenos (Figura 4.4). A primeira, refere-se aos municípios, pois, embora as áreas desmatadas não sejam restritas pelos limites municipais, as métricas do processo de crescimento de áreas urbanizadas e população encontram-se prioritariamente agregadas nesta unidade espacial. Da mesma forma, a gestão do território, seja a partir de indicadores construídos com dados secundários ou a implementação de políticas públicas e ordenamento, admite o município como unidade de gestão. Numa segunda abordagem, para contemplar a variação dos fenômenos de *expansão urbana* e *desmatamento* independentemente das delimitações político-administrativas, propôs-se o estudo das relações espaciais das variáveis a partir de uma grade regular de células de 20x20 km. O objetivo foi observar se houve efeito de mudança de resolução (municípios e células) no estudo das variáveis. As mesmas bases de dados, mas em formato vetorial neste caso, foram utilizadas para construir o plano de células.

Figura 4.4 – Grade celular de 20x20 km e áreas do menor (Marituba) e maior (Altamira) municípios do estado do Pará.



Fonte: Adaptado do IBGE (2010d).

Observada a importante variação de tamanhos dos municípios do Pará - entre 106 a 170.620 km<sup>2</sup> (Figura 4.4), diferentes resoluções de grade celular (25 km<sup>2</sup>, 400 km<sup>2</sup>, 2500 km<sup>2</sup> e 10 mil km<sup>2</sup>) foram testadas. Considerando a área do menor município (106 km<sup>2</sup>) para compatibilizar as unidades de análise de modo a não comprometer o processamento dos dados, células de 20x20 km foram estabelecidas. A associação dos valores das variáveis (população, área urbana e desmatamento) às células foi feita por meio do operador de “soma ponderada por área”, de modo a garantir a preservação dos volumes e unidades de cada variável.

Sabendo que os métodos de modelagem propostos não são capazes de contemplar uma análise em série como resolução na dimensão temporal, utilizou-se a diferença dos valores das variáveis no período. Dessa forma, considerou-se a relação entre a variação do processo de *expansão urbana*, representada pela *diferença de população urbana* entre 2014 e 2000 (DPU) e *diferença de área urbana* entre 2014 e 2004 (DAU), em relação à variação do processo de *desmatamento*, representado pela *diferença de desmatamento acumulado* entre 2014 e 2000 (DDA). A Tabela 4.1 apresenta um resumo descritivo das variáveis utilizadas nesta etapa e suas respectivas bases de dados.

Tabela 4.1 - Descrição das variáveis utilizadas.

ID	Variável	Descrição	Un.	Fonte	
Y	DAU	$\Delta$ Área Urbana	Diferença no período de 2004 a 2014 de superfícies impermeáveis com áreas construídas e características de infraestrutura urbana (arruamento, prédios, lotes, etc).	km <sup>2</sup>	Projeto TerraClass (INPE, 2004, 2014)
	DPU	$\Delta$ População Urbana	Diferença no período de 2000 a 2014 de população residente em setores censitários urbanos.	Nº de habit.	Censo 2000 e 2010 (IBGE, 2000, 2010) e dados estimados com base na metodologia de Madeira e Simões (1972)
X	DDA	$\Delta$ Desmatamento	Diferença no período de 2000 e 2014 do desmatamento acumulado no município.	km <sup>2</sup>	Programa PRODES (INPE, 2015)

Fonte: Produção da autora.

As estatísticas descritivas do conjunto de dados para as duas unidades de análise (municípios e células) são descritas na Tabela 4.2. O Apêndice B apresenta a distribuição

do *desmatamento acumulado*, *área urbana* e *população urbana* para os anos de 2000 e 2014, assim como, o resultado da diferença entre os anos para as três variáveis (DAU, DPU e DDA) e os polígonos de desmatamentos, área urbana e setores censitários urbanos. A distribuição espacial destes fenômenos nos municípios e células deverá auxiliar na interpretação dos resultados.

Tabela 4.2 - Estatística descritiva dos conjuntos de dados.

		<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Municípios	DAU (km <sup>2</sup> )	7.95	10.39	0	73.4
	DPU (hab.)	10141.04	19833.34	-1002	147771
	DDA (km <sup>2</sup> )	597.59	1223.66	0	10648.8
		<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Células	DAU (km <sup>2</sup> )	0.35	2.11	0	49.63
	DPU (hab.)	430.84	6717.32	-37.031	331178
	DDA (km <sup>2</sup> )	25.69	42.39	0	326.74

Fonte: Produção da autora.

Inicialmente investigou-se, a partir da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), a presença de *outliers* no conjunto populacional, a correlação global e efeitos espaciais entre as variáveis com o uso de técnicas que usualmente tomam a forma de gráficos, mapas e medidas globais (ARBIA, 2006). Em seguida, regressões lineares não-espaciais deram conta de verificar e quantificar a contribuição da evolução da atividade do *desmatamento* sob a evolução da *expansão urbana* – área urbana e população urbana, a adequabilidade aos pressupostos de linearidade e a presença de dependência espacial nos modelos. Para a etapa de AEDE, em ambas as resoluções (municípios e células), foram propostos modelos (Equação 4.5 e 4.6) com as seguintes especificações:

$$\Delta \text{Área Urbana} = \alpha + \beta \Delta \text{Desmatamento Acumulado} + \varepsilon \quad (4.5)$$

$$\Delta \text{Pop. Urbana} = \alpha + \beta \Delta \text{Desmatamento Acumulado} + \varepsilon \quad (4.6)$$

onde, os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  representam respectivamente o intercepto e a inclinação da reta, e a constante  $\varepsilon$  representa os resíduos da estimativa.

A verificação de dependência espacial foi feita a partir da análise dos resíduos da regressão espacializados e o índice de Moran global (MORAN, 1950; CLIFF; ORD, 1972). Este índice testa se áreas que apresentam dependência espacial são mais semelhantes, quanto às variáveis estudadas, do que o esperado em um padrão completamente aleatório. O índice gera valores que variam de -1 a +1, sendo o primeiro indicativo de correlação inversa, e, o segundo, correlação direta, ou seja, unidades de análise mais próximas tendem a ser mais semelhantes. Com isso, o diagnóstico de autocorrelação espacial é dado para valores de I que variam entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo de 1, mais forte a relação de dependência. O procedimento para validação do I de Moran foi a abordagem de permutações, que reordena aleatoriamente os valores observados em todas as unidades refazendo a estatística para cada permutação. Desta forma, o valor do I calculado é comparado com esta distribuição artificial sob a hipótese nula de ausência de autocorrelação espacial (ANSELIN, 1992).

Para a identificação de padrões locais, ou seja, estruturas regionais de autocorrelação, o diagrama de dispersão do I de Moran e o LISA Map foram utilizados para testar, sob a hipótese nula de aleatoriedade, a relação dos valores observados em função de sua vizinhança, definida com base em uma matriz W (ANSELIN, 1995). A matriz de vizinhança (W), para cada modelo, foi definida segundo procedimento proposto por Baumont (2004). Esse critério define que o número ideal k de vizinhos mais próximos é o número que obtém no resíduo do modelo o maior valor do índice I de Moran.

Esta etapa inicial de AEDE teve como principal finalidade verificar a linearidade, correlação e dependência espacial dos modelos a partir da análise bivariada. Entretanto, sabe-se que fenômenos como o *desmatamento* e a *expansão urbana* podem apresentar diferentes respostas na dimensão espacial. Essa não-estacionaridade, também chamada de heterogeneidade espacial, e a dependência espacial necessitam de metodologias específicas capazes de identificar particularidades locais na relação entre as variáveis, como, por exemplo, as Regressões Geograficamente Ponderadas (GWR).

As GWR permitem a estimação de regressões lineares localizadas, tratando a não-estacionaridade de modelos que apresentam variáveis complexas com dinâmicas heterogêneas. A partir de coeficientes de regressões locais, aplicam-se regressões lineares

para cada unidade espacial homogênea, utilizando uma subamostra de dados, baseada nas observações de vizinhança (Equação 4.7):

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (4.7)$$

onde,  $(u_i, v_i)$  representa as coordenadas do ponto  $i$  no espaço, e  $\beta_k(u_i, v_i)$  representa o valor que a função contínua  $\beta_k(u, v)$  assume no ponto  $i$ . Os pesos para a estimação de  $\beta(u_i, v_i)$  são definidos pela função  $W(u_i, v_i)$  (Equação 4.8) e modificam-se sob influência da proximidade com o ponto de regressão  $i$ . O estimador para o modelo GWR é dado por:

$$\beta(u_i, v_i) = (X'W(u_i, v_i)X)^{-1} X'W(u_i, v_i)Y \quad (4.8)$$

onde, a matriz  $W(u_i, v_i)$  representa os pesos  $w_{ij}$  baseados na distância do ponto  $i$  em relação às demais observações da “janela móvel” definida pela função do *kernel* espacial, determinada de acordo com as características do conjunto de dados analisados. Diferente dos resultados obtidos ao se analisar dados baseados em modelos de regressão não-espaciais, na GWR a “instabilidade” dos coeficientes angulares e de determinação pode ser mapeada. Dois modelos foram propostos (Equação 4.9 e 4.10) para verificar a variabilidade espacial da evolução do processo de *expansão urbana* em função da evolução do processo de *desmatamento*.

$$\Delta(\text{Área Urbana})_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) \Delta(\text{Desmatamento Acumulado})_{ik} + \varepsilon_i \quad (4.9)$$

$$\Delta(\text{Pop. Urbana})_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) \Delta(\text{Desmatamento Acumulado})_{ik} + \varepsilon_i \quad (4.10)$$

Devido à natureza dos dados, para os modelos propostos (Equação 4.9 e 4.10), foi escolhido um modelo GWR gaussiano tradicional, em que cada município foi identificado pelas coordenadas de suas sedes municipais, e cada célula pelo seu centro de massa. Por se tratar de pontos amostrais não contíguos, em que a distância entre os pontos 0 (zero) (sedes municipais e centroides das células) são irregulares, adotou-se a função *kernel* adaptativa de ponderação de distância, e critério de seleção de banda automático – *golden section* - (GREIG, 1980) com base no método de validação cruzada (CV).

Os valores dos parâmetros locais e estruturas de associação espacial observados descrevem os diferentes padrões de relação entre as variáveis. Não sendo detectada correlação (nula ou baixa) entre a *expansão urbana* e o *desmatamento*, aceita-se a

hipótese de independência entre os fenômenos como anteriormente discutida por Moloth (1976), Perz et al. (2005), Dal'Asta et al. (2012, 2017), Cardoso e Negrão (2013), Becker (2013), Richards e Vanwey (2015), Tritsch e Torneau (2014, 2016).

É importante observar a existência de um debate metodológico sobre a potencialidade da GWR como um modelo preditivo. A questão é levantada, principalmente, por apontamentos relacionados à susceptibilidade do modelo a multicolinearidade das variáveis explicativas, utilizando medidas locais de multicolinearidade. Um trabalho que sintetiza este problema é apresentado por Wheeler e Tiefelsdorf (2005). Várias propostas de modificações da GWR para lidar com esta questão têm sido apresentadas na literatura (WHEELER, 2007; 2009; BÁRCENA et al., 2014). No entanto, trabalhos recentes neste campo têm sustentado que a GWR, em sua formulação original, simples, parece não apresentar maior susceptibilidade que outros modelos que se apoiam em coeficientes locais (FOTHERINGHAM; OSHAN, 2016; HARRIS et al., 2017). No contexto deste trabalho a GWR é utilizada como uma ferramenta para análise descritiva e exploratória das relações locais entre *expansão urbana* e *desmatamento* e não foi utilizada em sua capacidade como modelo inferencial.

#### **4.3. Etapa 3: Degradação Ambiental versus Desenvolvimento Socioeconômico: Curvas Ambientais de Kuznets na Investigação da Relação *Urbanização-Conversão Florestal***

Buscando compreender como o processo de *conversão florestal* se relaciona com a dinâmica de *urbanização*, nas etapas anteriores foram exploradas as dimensões *populacional* e *territorial* do processo de *expansão urbana*, em função das dinâmicas de *desmatamento*, em diferentes escalas e a partir de diferentes técnicas. Para contemplar a dimensão *socioeconômica* do processo, nesta etapa foram exploradas as relações possíveis entre o *desmatamento* e o *desenvolvimento socioeconômico*, representando uma dimensão do processo de *expansão urbana*, à luz da abordagem proposta pelas Curvas Ambientais de Kuznets (EKC) (GROSSMAN; KRUEGER, 1991, 1995).

Na EKC, buscando-se analisar os padrões de relação entre a *degradação ambiental* e o *desenvolvimento socioeconômico*, o modelo inclui a variável renda *per capita*,

considerando seu termo quadrático (BARBIER; BURGESS, 2002). Todavia, alguns trabalhos buscam explorar outros formatos da curva além do tradicional “U” invertido”, utilizando as formas cúbica e logarítmica da variável (GOMES; BRAGA, 2008; SANTOS et al., 2008). Neste trabalho, a especificação geral aplicada foi (Equação 4.11):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 REN + \beta_2 REN^2 + \beta_3 REN^3 + \mathbf{z}\alpha + \varepsilon \quad (4.11)$$

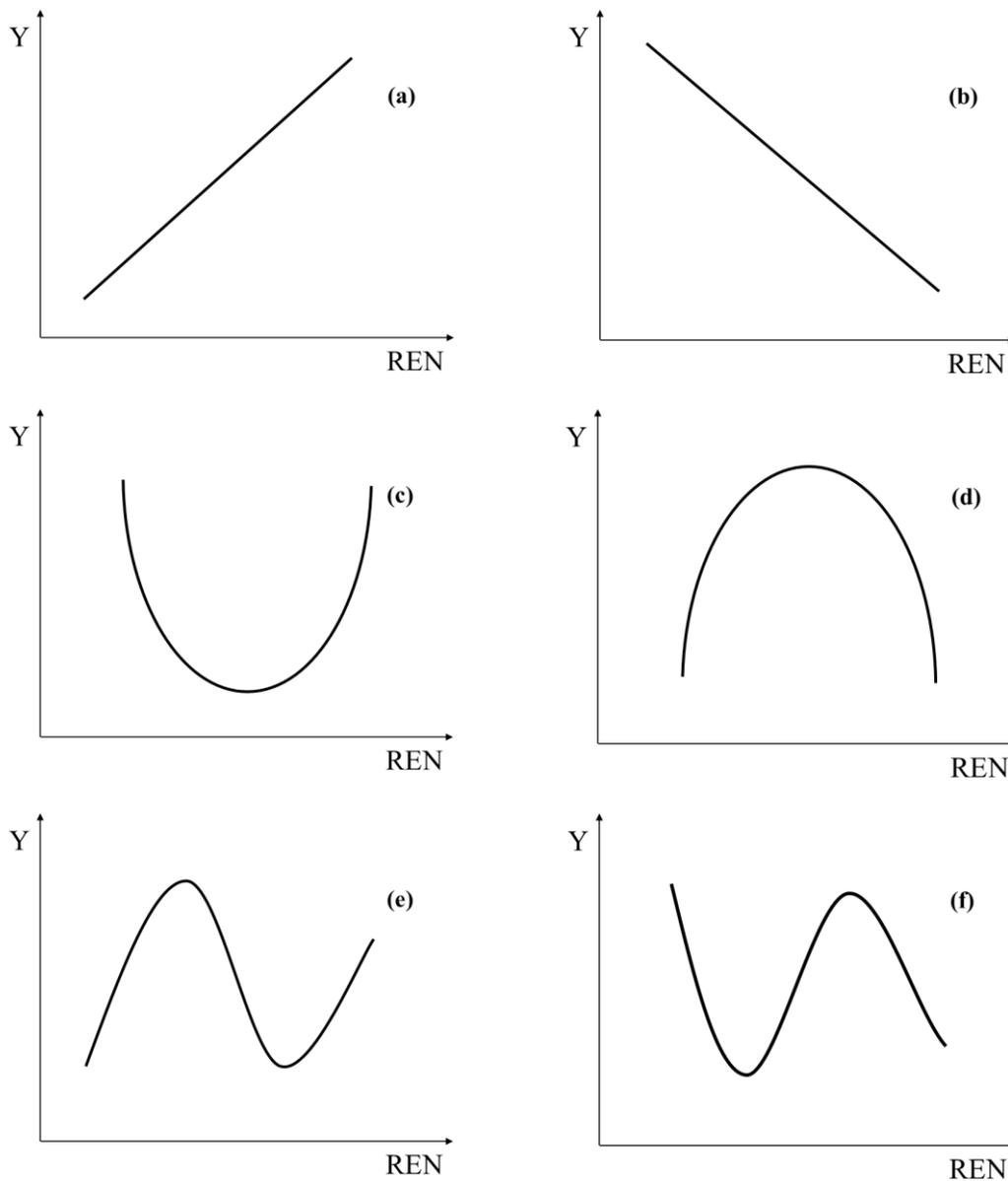
onde,  $Y$  é a variável de interesse,  $REN$  é a renda *per capita*,  $\mathbf{z}$  é um vetor que inclui outras variáveis explicativas para o fenômeno ambiental de interesse,  $\varepsilon$  é o termo de erro aleatório e  $\alpha$  e  $\beta_i$  são parâmetros. Os coeficientes  $\beta_i$  determinam o formato da curva que relaciona degradação e renda (DE BRUYN et al., 1998) (Figura 4.4).

As relações possíveis ao se considerar os termos quadrático e cúbico<sup>8</sup> da renda são: (i) relação linear monotônica crescente (Figura 4.5a), quando  $\beta_1 > 0$  e,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  não significativos; (ii) relação linear monotônica decrescente (Figura 4.5b), quando  $\beta_1 < 0$  e,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  não significativos; (iii) relação em formato de “U” (Figura 4.5c), quando  $\beta_1 < 0$ ,  $\beta_2 > 0$  e  $\beta_3$  não significativo; (iv) formato tradicional de “U” invertido (Figura 4.5d), quando  $\beta_1 \geq 0$ ,  $\beta_2 < 0$  e  $\beta_3$  não significativo; (iv) relação em formato de “N” (Figura 4.5e), quando  $\beta_1 \geq 0$ ,  $\beta_2 < 0$  e  $\beta_3 > 0$ ; e ainda (v) relação no formato “N” invertido” (Figura 4.5f), quando  $\beta_1 < 0$ ,  $\beta_2 > 0$  e  $\beta_3 < 0$ .

---

<sup>8</sup> O formato tradicional de “U” invertido da EKC é observado quando se têm relação quadrática e indica que o aumento da renda está associado a um maior desmatamento nos níveis iniciais de desenvolvimento econômico, invertendo-se o processo em determinado ponto. Para a relação cúbica é observado o formato de “N” e indica que após um estágio decrescente, o aumento da renda acarretaria em níveis crescentes de desmatamento.

Figura 4.5 - Relações previstas entre a variável de interesse (Y) e renda *per capita* (REN) nos termos da EKC.



(a) relação monotônica crescente; (b) relação monotônica decrescente; (c) relação em forma de “U”; (d) relação em forma de “U” invertido; (e) relação em forma de “N” e (f) relação em forma de “N” invertido.

Fonte: Produção da autora.

Buscando ampliar a análise de desenvolvimento regional para além do aspecto econômico - representado pela variável de *renda per capita* no modelo, observou-se os elementos característicos de transformações urbanas por meio de seus objetos infraestruturais e/ou de serviços. Desta abordagem, pôde-se identificar os padrões espaciais das variáveis que apontam para uma menor precariedade dos novos territórios urbanizados.

Para complementar a representação do *desenvolvimento socioeconômico*, além da renda *per capita*, incluiu-se também um conjunto de variáveis explicativas adicionais ( $\mathbf{z}$ ) (Equação 4.11) exploradas em literatura (RODRIGUES et al., 2009; GALEGO-ÁLVAREZ et al., 2014; TRITSCH; ARVOR, 2016; CAVIGLIA-HARRIS, 2016; SATHLER et al., 2018). Ao total, vinte e duas variáveis independentes iniciais foram testadas na análise exploratória, abrangendo as seguintes dimensões: educação, saúde, renda, trabalho, desenvolvimento humano, desigualdade, violência e serviços básicos (Tabela 4.3). A variável dependente, *desmatamento*, assim como na etapa anterior, foi medida a partir do desmatamento acumulado do PRODES (INPE, 2015). O recorte temporal (2000 a 2010) foi escolhido tendo em vista a disponibilidade de dados censitários para caracterização socioeconômica na unidade municipal. A descrição das variáveis e base de dados está na Tabela 4.3 e as estatísticas descritivas do conjunto de dados na Tabela 4.4.

Tabela 4.3 – Descrição das variáveis utilizadas para o modelo aplicado à Curva Ambiental de Kuznets.

		ID	Variáveis	Fonte
Y	Desmatamento	DDA	Diferença de desmatamento acumulado entre 2000 e 2010 (km²).	PRODES
X	Renda	DREN	Diferença da renda <i>per capita</i> municipal entre 2000 e 2010.	IBGE
		DREN <sup>2</sup>	Quadrado da diferença da renda <i>per capita</i> municipal entre 2000 e 2010.	-
		DREN <sup>3</sup>	Cubo da diferença da renda <i>per capita</i> municipal entre 2000 e 2010.	-
Variáveis adicionais (Z)	Desenvolvimento Humano	DIDHM	Diferença do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal entre 2000 e 2010.	PNUD
	Desigualdade	DITHEIL	Diferença do índice de desigualdade de Theil – L <sup>9</sup> (THEIL, 1967 apud. HOFFMAN, 1991) entre 2000 e 2010.	IPEA
	Violência	DHOM	Diferença do número de homicídios entre 2000 e 2010.	IBGE
	Educação	DEAE	Diferença da expectativa de anos de estudo na população, de 18 anos, entre 2000 e 2010.	IBGE
		DPPE	Diferença da % da população, de 25 anos ou mais, com ensino superior entre 2000 e 2010.	IBGE
		DPPF	Diferença da % da população, de 18 anos ou mais, com ensino fundamental entre 2000 e 2010.	IBGE
		DPDVUL	Diferença da % de pessoas em domicílios vulneráveis à pobreza e onde não há moradores com fundamental completo entre 2000 e 2010.	IBGE
	Saúde	DTXEN	Diferença da taxa de envelhecimento entre 2000 e 2010.	DATASUS
		DESPN	Diferença da esperança de vida ao nascer entre 2000 e 2010.	DATASUS
		DMINF	Diferença da mortalidade infantil entre 2000 e 2010.	DATASUS
		DPSOB	Diferença da probabilidade de sobrevivência até 60 anos entre 2000 e 2010.	DATASUS
	Serviços Básicos	DPAGUA	Diferença da % da população com água encanada entre 2000 e 2010.	IBGE
		DPPE	Diferença da % da população com energia elétrica entre 2000 e 2010.	IBGE
		DPPCL	Diferença da % da população com coleta de lixo entre 2000 e 2010.	IBGE
	Trabalho	DPEMPC	Diferença da % de empregados, de 18 anos ou mais, com carteira assinada entre 2000 e 2010.	IBGE
		DEMPSP	Diferença da % de empregados, de 18 anos ou mais, no setor público entre 2000 e 2010.	IBGE
		DTAGRO	Diferença da % dos empregados, de 18 anos ou mais, no setor agropecuário entre 2000 e 2010.	IBGE
		DTEXTM	Diferença da % dos empregados, de 18 anos ou mais, no setor extrativo mineral entre 2000 e 2010.	IBGE
		DTIND	Diferença da % dos ocupados na indústria de transformação entre 2000 e 2010.	IBGE
		DTSERV	Diferença da % dos ocupados no setor de serviços entre 2000 e 2010.	IBGE
		DTCP	Diferença do número de trabalhadores por conta própria entre 2000 e 2010.	IBGE

Fonte: Produção da autora.

<sup>9</sup> O índice de Theil-L é o logaritmo da razão entre as médias aritmética e geométrica da renda domiciliar *per capita* dos indivíduos. Se a razão entre as médias for igual a 1, o índice será igual a zero, indicando perfeita distribuição de renda. Quanto maior a razão entre as médias, maior será o valor para o índice de Theil, e pior será a distribuição de renda (THEIL, 1967 apud. HOFFMAN, 1991).

Tabela 4.4 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas na análise da EKC para os municípios do Pará.

	<b>Média</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
DDA	541.60	1111.28	0	9966.9
DREN	70.43	53.20	-72.54	228.34
DIDH	0.14	0.02	0.08	0.22
DPEMPC	5.04	6.93	-9.15	35.67
DEMPSP	-0.95	3.51	-14.31	9.29
DTCP	-4.36	8.34	-32.87	18.53
DTAGRO	-4.74	11.49	-36.08	42.95
DTEXTM	0.26	1.51	-7.38	10.99
DTIND	-4.55	8.22	-52.18	6.73
DTSERV	1.88	5.50	-16.11	19.07
DPPCL	35.09	23.27	-18.83	89.71
DPPE	24.31	13.11	0.31	60.89
DPAGUA	52.78	16.79	7.2	82.03
DESPN	3.97	1.59	1.12	7.11
DTXEN	0.96	0.58	-0.52	2.88
DMINF	-13.31	5.41	-24.19	-4.05
DPSOB	8.34	2.85	3.32	13.91
DPPF	16.41	4.24	7.28	34.02
DPPES	2.16	1.01	0.34	5.4
DEAE	2.09	0.66	0.6	3.92
DPDVUL	-23.74	6.20	-40.48	-7.48
DHOM	15.29	46.67	-2	407
DITHEIL	0.00	0.13	-0.36	0.48

Fonte: Produção da autora.

O método de análise espacial foi adotado com o objetivo de obter resultados locais, que contemple os possíveis efeitos espaciais da relação entre a *expansão urbana*, em sua dimensão socioeconômica, e o *desmatamento*. A análise da Curva Ambiental de Kuznets (EKC) baseou-se nos resultados do modelo expresso no método de Regressões Geograficamente Ponderadas (GWR). Ressalta-se que a GWR foi utilizada sob caráter exploratório para mapear a variabilidade espacial das componentes do modelo e observar espacialmente “quais” e “onde” se situam as transformações que estão levando a menores ou maiores precariedades nestes espaços urbanos em construção.

Para tal fim, preliminarmente, a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) testou a presença de multicolinearidade nos modelos, adequabilidade aos pressupostos de linearidade e diagnóstico de dependência espacial. Da análise de colinearidade, o modelo foi estabelecido considerando a combinação que alcançou valor de VIF (Fator de Inflação da Variância) (BERK, 1977) menor que 10 (KUTNER et al., 2004; TAMHANE; DUNLOP, 2000) (Equação 4.12).

$$DDA = \beta_0 + \beta_1 DREN + \beta_2 DREN^2 + \beta_3 DREN^3 + \beta_n DPEMPC + \beta_n DEMPSP + \beta_n DTCP + \beta_n DTAGRO + \beta_n DTEXTM + \beta_n DTIND + \beta_n DTSERV + \beta_n DPPCL + \beta_n DPAGUA + \beta_n DESPN + \beta_n DTXEN + \beta_n DEAE + \beta_n DHOM + \varepsilon \quad (4.12)$$

Dos resultados da AEDE obteve-se a especificação do modelo de análise (Equação 4.12) e diagnóstico preliminar para a análise espacial. As mesmas especificações gerais da GWR na etapa anterior (Etapa 2) foram aplicadas nesta etapa, ou seja, modelo gaussiano com *kernel* adaptativo e critério de seleção de banda automático.

Os resultados da GWR possibilitaram a identificação das curvas EKC (Figura 4.2) de relação entre as variáveis para os municípios do estado do Pará. A partir destas curvas e dos valores dos parâmetros locais obteve-se as diferentes formas e intensidades da relação entre o *desmatamento*, e o *desenvolvimento socioeconômico*, enquanto uma das dimensões do processo de *expansão urbana*.

Baseado na fundamentação teórica da EKC, para esta abordagem, a relação entre as variáveis no formato original de “U” invertido seria esperada. Inicialmente, o aumento do *desmatamento* refletiria as atividades econômicas relacionadas ao processo de perda florestal, como agricultura e pecuária, e à medida que o município adquire características mais urbanas (evolução das variáveis socioeconômicas), espera-se uma redução do *desmatamento*, como resultado da própria escassez de recursos florestais em espaços urbanizados e também por uma maior conscientização ambiental da população (SELDEN; SONG, 1994; SMULDERS; BRETSCHGER, 2001), associada aos níveis de educação, saúde e emprego quando o processo de *urbanização* se completa de maneira adequada.

#### 4.4. Nota sobre a Questão do MAUP e o Estudo desta Dissertação

Esta é uma nota metodológica que se faz necessária devido à exploração neste trabalho de diferentes *escalas* e, em uma mesma *escala*, de diferentes unidades espaciais para o estabelecimento das variáveis envolvidas na representação mensurável dos processos de *expansão urbana* e do *desmatamento*. As variáveis *taxa de desmatamento*, *incremento e desmatamento acumulado* são todas derivadas de uma medida de área desmatada obtida através de interpretação de imagens de satélites a partir da definição de *desmatamento* estabelecida pelo PRODES (INPE, 2006).

Considerando o uso histórico dos satélites da série Landsat, um elemento de imagem, o *pixel*, que tem 30 metros de resolução, é a menor unidade de área para a identificação do *desmatamento* (no entanto, o PRODES detecta polígonos a partir de 6,25ha). Então, quando agregamos estes elementos (*pixels de desmatamento*) estabelecendo uma restrição espacial, por exemplo os limites que definem um estado da federação, podemos estabelecer as *taxas de desmatamento*, *incrementos e desmatamentos acumulados* considerando esta unidade espacial de referência. Mas se em vez dos estados da federação utilizamos os limites dos municípios, como restrição espacial, estabelecemos estas mesmas medidas agregadas para uma nova unidade espacial de referência.

O mesmo acontece para a *expansão urbana* que é medida pelo *grau de urbanização*, *população urbana* e *área urbana*. A primeira, uma medida relacionada à proporção da população vivendo em áreas qualificadas como urbanas (IBGE, 2009) em relação a população total. A segunda, o número de habitantes em áreas categorizadas como urbanas segundo critérios oficiais. E a terceira relacionada a uma medida de área, medida territorial, relativa às porções do território qualificadas como áreas urbanas. Nas três abordagens é novamente a restrição espacial que define como estes elementos serão agregados.

Desde o artigo de Gehlke e Biehl (1934), foi conhecido que o coeficiente de correlação pode ser alterado quando os dados são agregados para unidades diferentes. Os autores demonstraram esta situação em um estudo sobre delitos cometidos por homens jovens, quando a unidade de agregação para os 252 setores censitários de Cleveland, nos EUA, era modificada. Mais tarde, Openshaw e Taylor (1979), trabalhando com os dados da eleição em Iowa, cunhou o termo MAUP (*Modifiable Areal Unit Problem*), o *Problema*

*das Unidades de Área Modificáveis*. E, para a análise geográfica, esta situação traz sempre um problema, pois diferentes agregações podem levar a diferentes resultados, mas sem apresentar tendências sistemáticas que poderiam ser utilizadas para a predição (estatística) ou para sua correção (OPENSHAW, 1984).

O MAUP é composto por dois efeitos. O primeiro é chamado de *efeito de escala* e está relacionado à tendência, onde diferentes resultados *estatísticos* (em particular, correlações) são obtidos a partir das mesmas variáveis quando a informação é agrupada em unidades espaciais maiores (por exemplo setores censitários, municípios, estados). O segundo é chamado *efeito de zoneamento*. Este efeito está relacionado à variabilidade dos resultados estatísticos (em particular, correlações) em função das diversas maneiras que, considerando uma mesma unidade espacial de agregação (por exemplo, setores censitários), os dados poderiam ser agrupados. Isto é, diferentes resultados ocorrem simplesmente alterando-se as bordas ou as configurações destas unidades. Por exemplo, se redefiníssemos os setores censitários, mantendo o seu número, mas alterando sua geometria, modificaríamos a agregação e isso impactaria nas estatísticas (WRIGLEY et al., 1996).

No contexto do estudo desta dissertação, de fato, os dados são de natureza agregada e são agregados utilizando uma unidade espacial de referência. O trabalho utiliza como uma de suas bases as informações agregadas, produzidas e publicadas pelo IBGE através dos censos demográficos (IBGE, 1991, 2000, 2010). O IBGE só fornece o dado agregado, sendo os setores censitários sua menor unidade espacial de agregação. Não é possível trabalhar outras agregações para o dado primário (o dado relativo aos questionários coletados). Os limites municipais e estaduais, são unidades espaciais político-administrativas e são fixadas pelo IBGE e estabelecidas em lei. São estas as unidades espaciais de referência de acesso público e oferecidas pelo IBGE para os estudos.

Para a relação entre *expansão urbana* e *desmatamento*, que este trabalho avalia, não existe a opção para modificações nos agrupamentos. Não é possível alterar as geometrias dos limites municipais, nem estaduais e também não é possível alterar a geometria dos setores censitários. Então, embora teoricamente, seja possível agregar os dados primários em diferentes configurações de setores censitários, esta não é uma possibilidade real para o nosso sistema de produção de informação censitária. E os limites, definidos pelos

municípios e estados, certamente não podem ser alterados. Desta forma, neste contexto, existe um sistema de unidades de áreas que não se modificam. Por outro lado, a produção de informação para o estabelecimento das variáveis associadas ao *desmatamento* e *área urbana*, são obtidas considerando uma unidade espacial de referência básica, um elemento de imagem com 30x30m de resolução.

Estas unidades básicas (setores censitários e *pixels*) são então agregadas pelos limites estaduais e municipais, que não se modificam, e por células de 20x20km. As células podem se modificar em seu tamanho, mas não em sua configuração. Neste contexto, apenas as *células* fazem parte de um sistema de unidades de áreas com possibilidade de modificação, porém restritas ao problema denominado de *efeito de escala*.

O interesse deste trabalho é a observação da relação *expansão urbana* e *desmatamento* para um limite fixo, o município, e para uma restrição espacial que possa ser estabelecida a partir do conhecimento de que os processos do *desmatamento* e *expansão urbana* não aderem às restrições político-administrativas que os limites municipais impõem. Assim, para este propósito, o estabelecimento do estudo desta relação para um tamanho de célula definido, comparado com a relação observada quando os limites municipais são a unidade de referência, parece ser suficiente.

Este estudo não trabalha com inferência estatística na busca de predição. Mesmo quando usa a análise de regressão seu objetivo é explorar a variabilidade espacial da relação em estudo. Ainda assim, estatisticamente, foram escolhidos modelos onde as mudanças de seus parâmetros ao longo das diferentes posições na região estudada podem ser acomodadas e isso pode ajudar, pelo menos, a inferir a intensidade e a direção do efeito das variáveis de interesse (TOBLER, 1989; FOTHERINGHAM, 1989) envolvidas no estudo da relação *urbanização-conversão florestal*.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Etapa 1: Análise de Tendências Gerais da Relação entre *Urbanização e Conversão Florestal* na Amazônia: Primeiros Traços de Heterogeneidade

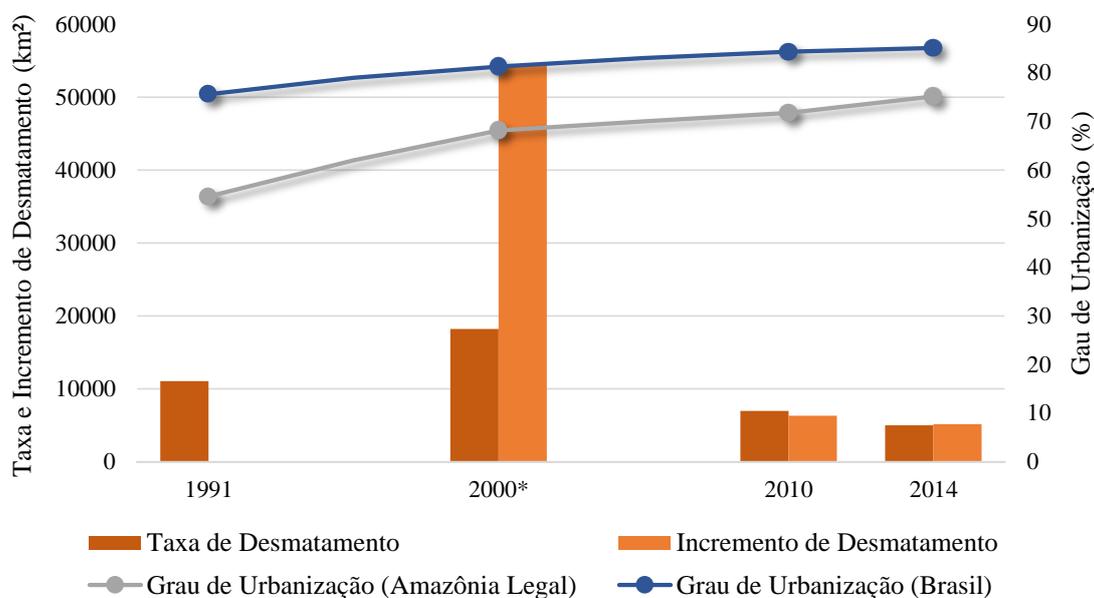
Os resultados das observações serão apresentados separadamente de acordo com a unidade espacial de referência para a análise, de modo a possibilitar a observação da heterogeneidade dos padrões desta relação para a Amazônia, considerando os agregados por estados e por municípios.

#### 5.1.1. O Estado como Unidade Espacial de Referência

Para a Amazônia Legal, a evolução do *grau de urbanização* (GU) evidencia a tendência geral de crescimento da população urbana, como também observado para o Brasil (Figura 5.1). Contudo, a maior variação no crescimento da população urbana entre 1991 e 2000 na Amazônia Legal ilustra as discussões de Becker (2009) sobre o processo de ocupação da região a partir das mudanças estruturais ocorridas no fim do século XX. Este período foi marcado, principalmente, pela retomada das forças econômicas exógenas atuantes no território, pela transformação do papel da industrialização e conectividade da região com o restante do país. A estrutura econômica promovida teve significativa importância na *urbanização* do território, gerando consequente efeito sobre a população que se reflete em um crescimento mais acentuado do *grau de urbanização* na transição entre 1991 e 2000.

A análise da evolução das variáveis para a Amazônia Legal (Figura 5.1) permite observar que até 2000 o *desmatamento* parece acompanhar as tendências de crescimento do *grau de urbanização*. No entanto, a partir de 2010 o *desmatamento* inicia sua trajetória descendente enquanto o GU continua crescendo. As diferenças na dinâmica de evolução dos processos a partir de 2010 sinaliza a dificuldade de relação direta. Destaca-se a diferença dos valores de desmatamento entre a *taxa* e o *incremento* no ano 2000. Essa diferença descreve as limitações do dado - presença de nuvens nos anos anteriores - discutidas nos procedimentos metodológicos.

Figura 5.1 - Gráfico de análise de tendências gerais do grau de urbanização da Amazônia Legal e Brasil em função da taxa e incremento de desmatamento agregado para a Amazônia Legal nos anos de 1991, 2000, 2010 e 2014.



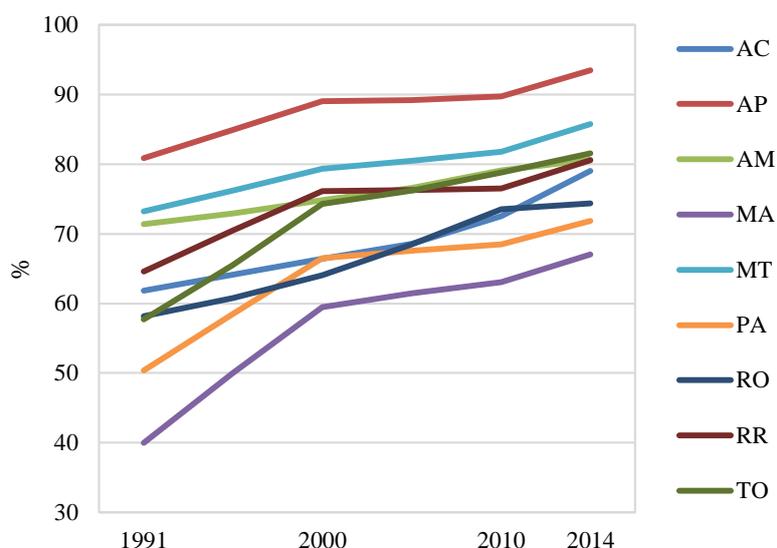
\*Incremento de desmatamento de 2001.

Fonte: Adaptado de PRODES INPE (2015, 2016), Censo IBGE (1991, 2000, 2010) e Estimativa IBGE (2014).

Em relação ao grau de urbanização, observa-se crescimento ao longo dos anos e, de modo geral, mais acentuadamente de 1991 a 2000 (Figura 5.2). Verificaram-se diferentes ritmos de crescimento entre os estados: do Maranhão (MA)<sup>10</sup>, Pará (PA) e Tocantins (TO) que tiveram intensa evolução entre 1991 e 2000; do Mato Grosso (MT), Amapá (AP) e Roraima (RR) que, em menor intensidade, também concentraram a evolução neste primeiro período; do Amazonas (AM) e Acre (AC) que apresentaram evoluções do grau de urbanização quase constante ao longo de todo o período avaliado; e Rondônia (RO), especialmente, apresentou evolução do GU com crescimento mais intenso no intervalo entre 2000 e 2010. Essas diferentes dinâmicas refletem os distintos processos regionais de ocupação da Amazônia.

<sup>10</sup> Para o estado do Maranhão, com a finalidade de compatibilizar os valores dos dados populacionais censitários à extensão do território maranhense sob a área político-administrativa da Amazônia Legal, considerou-se 89% da população urbana e total para o cálculo do grau de urbanização.

Figura 5.2 – *Grau de urbanização (%)* em 1991, 2000, 2010 e 2014 para os estados da Amazônia Legal.

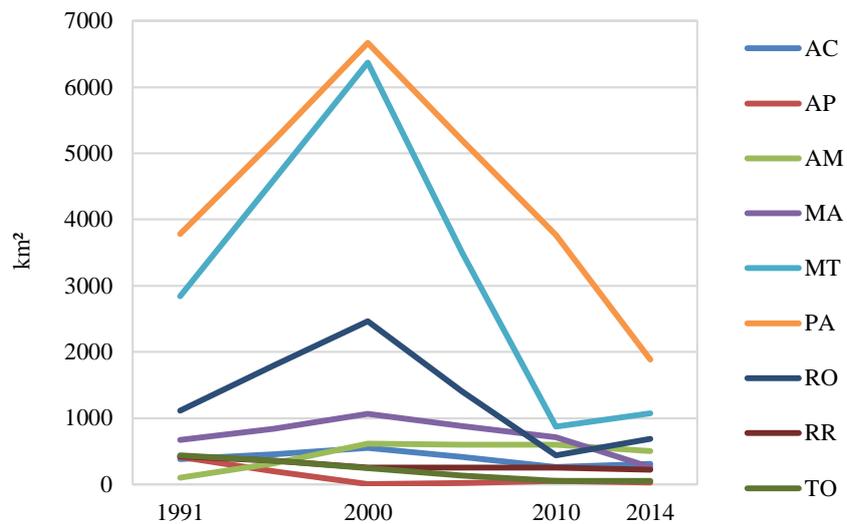


	AC	AP	AM	MA	MT	PA	RO	RR	TO
1991	61.85	80.89	71.42	40.00	73.23	50.37	58.2	64.58	57.69
2000	66.4	89.02	74.8	59.50	79.35	66.51	64.09	76.12	74.31
2010	72.56	89.77	79.09	63.07	81.8	68.48	73.55	76.55	78.8
2014	79.02	93.45	80.67	67.07	85.75	71.85	74.36	80.60	81.59

Fonte: Adaptado do Censo IBGE (1991, 2000, 2010) e Estimativa IBGE (2014).

Por sua vez, o *desmatamento* (Figura 5.3) apresentou um ritmo variável na série temporal, com destaque para a transição entre os anos de 1991 e 2000 de pico nas taxas e incrementos para alguns estados. Segundo Becker (2009), estes picos seriam resultado do forte investimento do capital internacional nos processos produtivos regionais. A análise dos níveis de *desmatamento* de forma isolada, no período analisado, permite identificar que, de modo geral, o *desmatamento* foi mais significativo no ano 2000 para quase todos os estados que compõem a Amazônia Legal, seguido por um decréscimo nos anos subsequentes.

Figura 5.3 - Taxa de desmatamento (TD) (Km<sup>2</sup>/ano) (gráfico) e incremento (INC) para os estados da Amazônia Legal nos anos de 1991, 2000, 2010 e 2014.



		AC	AP	AM	MA	MT	PA	RO	RR	TO
<b>1991</b>	TD	380	410	980	670	2840	3780	1110	420	440
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>2000</b>	TD	547	0	612	1065	6369	6671	2465	253	244
	INC	705.8	256.5	1401.2	24244.5	7146.9	16728.8	2766	980.9	279.6
<b>2010</b>	TD	259	53	595	712	871	3770	435	256	49
	INC	275,9	70.9	552.4	577.3	778.9	3344	441	239.2	54.6
<b>2014</b>	TD	309	31	500	257	1075	1887	684	219	50
	INC	357	28.7	562.6	278.5	1104.2	1784.3	771.3	190.8	45.6

\*Incremento de desmatamento no ano de 2001.

Fonte: Adaptado de PRODES (INPE, 2015; 2017).

A análise conjunta das intensidades anuais do *grau de urbanização* (GU) e do *desmatamento*, representado pela *taxa e incremento* nessa escala e unidade espacial, possibilitou agrupar empiricamente os estados de acordo com as similaridades na dinâmica dos fenômenos, conforme apresentados na Tabela 5.1 e Figura 5.4.

Tabela 5.1 – Grupos de estados da Amazônia Legal resultantes da evolução da *taxa de desmatamento* (1991, 2000, 2010 e 2014), *incremento anual* (2000, 2010 e 2014) e *grau de urbanização* (1991, 2000, 2010 e 2014) semelhantes.

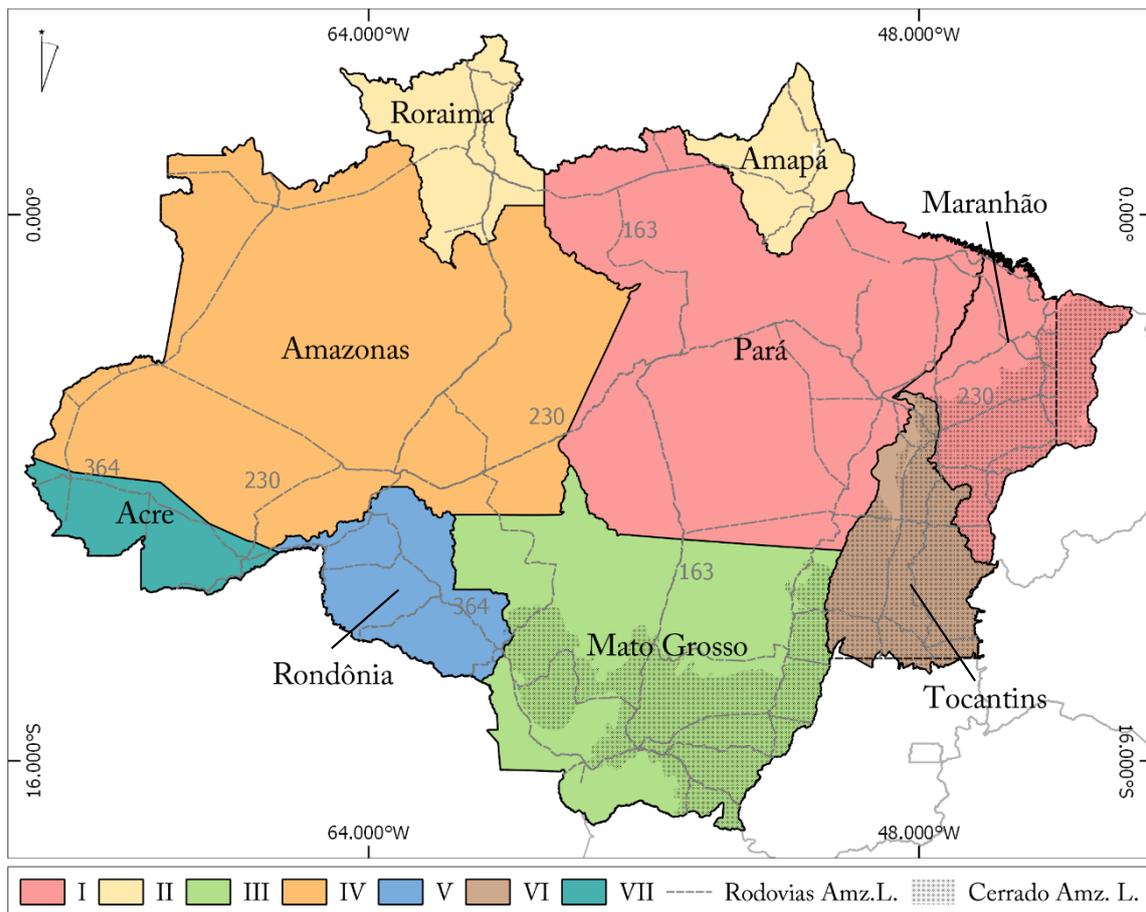
GRUPO	Tx. Desmat.	Incremento Anual	Grau de Urbanização (GU)	Descrição
I				Aumento da taxa de desmatamento até 2000 e redução a partir de 2010, com maior variação entre 2010 e 2014; redução do incremento com maior variação entre 2000 e 2010; GU crescente, com maior variação entre 1991 e 2000, e 2010 e 2014.
II				Redução do desmatamento até 2000, crescimento em 2010, seguida por redução em 2014; redução do incremento com maior variação entre 2000 e 2010; GU crescente, com maior variação entre 1991 e 2000, e 2010 e 2014.
III				Aumento do desmatamento em 2000, redução em 2010 e aumento em 2014; redução do incremento em 2010 e aumento em 2014; GU crescente, com maior variação entre 1991 e 2000, e 2010 e 2014.
IV				Redução do desmatamento, com maior variação entre 1991 e 2000, e 2010 e 2014; redução do incremento em 2010 e aumento em 2014; GU crescente, com maior variação entre 2000 e 2010.
V				Aumento do desmatamento em 2000, redução em 2010 e aumento em 2014; redução do incremento em 2010 e aumento em 2014; GU crescente, com maior variação entre 2000 e 2010.
VI				Redução do desmatamento, com menor intensidade entre 2010 e 2014; redução do incremento com maior variação entre 2000 e 2010; GU crescente, com maior variação entre 1991 e 2000, e 2010 e 2014.
VII				Aumento do desmatamento em 2000, redução em 2010 e aumento em 2014; redução do incremento em 2010 e aumento em 2014; GU crescente, com maior variação entre 2010 e 2014.

Fonte: Produção da autora.

A distribuição espacial dos grupos na Amazônia Legal (Figura 5.4) evidencia a heterogeneidade espacial da relação entre a *expansão urbana*, medida pelo *grau de urbanização*, e o *desmatamento*, medido pela *taxa* e pelo *incremento de desmatamento*.

Para alguns grupos (I e II) observou-se o agrupamento de estados que tiveram processos históricos de *conversão florestal* e *urbanização* simultâneos e com similaridades, como o caso do Maranhão e Pará e, estados que se agruparam devido a intensa presença de nuvens na região, como o Amapá e Roraima. Em relação aos padrões III, IV, V, VI e VII, por suas características únicas, representam apenas um estado cada.

Figura 5.4 - Representação dos padrões espaço-temporais do grau de urbanização, taxa e incremento de desmatamento para os estados da Amazônia Legal.



Fonte: Produção da autora.

Apesar de algumas regiões da Amazônia Legal, como o arco do desmatamento, terem sofrido processos históricos semelhantes de *conversão florestal* e ocupação do território, na região formaram-se quatro grupos de padrões distintos (I, III, V e VI). Portanto, observa-se que fatores complexos e particulares de cada localidade influenciam nas dinâmicas de *desmatamento* e *expansão urbana* e, com isso, as similaridades históricas não são integralmente refletidas no espaço.

O padrão do Grupo I é representado pelos estados do Maranhão e Pará, situados em área de expansão da fronteira agrícola. Estes estados experimentaram intensa atividade de *desmatamento* até o final da década de 90 com redução nas taxas a partir do ano 2000, resultante da implantação de políticas de comando e controle na Amazônia Legal, conforme observado em todos os estados que compõem a região (Grupos I, III, V e VI). Além disso, a construção das principais rodovias (BR-230 e BR-163) que conectaram núcleos econômicos estratégicos, foi responsável por importantes mudanças na estrutura socioeconômica destes estados (BECKER, 2009).

Em relação ao *grau de urbanização*, no Grupo I, assim como para os Grupos II, III e VI, houve crescimento em todo período, mais acentuadamente entre 1991 e 2000, 2010 e 2014, resultante dos processos históricos de ocupação regional. Estes estados refletem processos históricos de ocupação do território observados para toda Amazônia Legal. Em um primeiro momento, a dinâmica mais acentuada de crescimento populacional se relaciona com o contexto histórico-econômico de implantação de novos planos de estrutura de povoamento decorrentes de grandes projetos de infraestrutura e conexão entre núcleos urbanos (BECKER, 2009). Além das questões históricas que descrevem as dinâmicas de evolução da população na região, o conceito de *urbanização extensiva* (MONTE-MÓR, 1994, 2004) é uma forma de interpretar o aumento do GU no período mais recente. Em face da expansão do *tecido urbano-industrial* sobre áreas rurais, muitos espaços, antes considerados rurais, são oficialmente configurados como urbanos, com base nas definições estabelecidas pelo IBGE (IBGE, 2009).

O padrão do Grupo II, representativo das dinâmicas observadas nos estados do Amapá e Roraima reflete, assim como no Grupo I, os processos gerais de evolução da população na Amazônia Legal – crescimento constante com maior variação entre 1991 e 2000, e 2010 e 2014 -, mas dinâmica de *desmatamento* diferenciada. Em relação ao *desmatamento*, assim como o estado do Amazonas – Grupo IV, o Amapá e Roraima apresentam alta concentração de unidades de conservação (UCs) e terras indígenas (TIs) (Tabela 5.2) que atuam como fatores limitantes para o processo de *conversão florestal* recente nestas regiões. Além disso, estes estados são caracterizados pela intensa presença de nuvens, que estabelece um padrão observável de evolução do *desmatamento* na região.

Tabela 5.2 - Porcentagem de área ocupada por Unidades de Conservação (UCs) e Terras Indígenas (TIs) nos estados (UF) da Amazônia Legal.

UF	Unidades de Conservação (% área)	Terras Indígenas (% área)	TI e UC (% área)
AC	31.25	14.92	46.17
AP	30.60	8.06	68.65
AM	22.08	28.54	50.62
MA	5.36	8.63	14.00
MT	2.29	16.57	18.86
PA	25.16	22.89	48.05
RO	20.49	21.05	41.54
RR	6.6	46.20	52.80
TO	3.76	9.33	13.09

Fonte: Adaptado de Instituto Socioambiental (2014).

O padrão do Grupo IV, por suas características únicas, compreende apenas o estado do Amazonas. O crescimento populacional no estado é atribuído basicamente à ocupação e circulação da região metropolitana de Manaus (SCHOR; OLVEIRA, 2011): intenso processo migratório desde os anos sessenta, incentivado pelas políticas de ocupação da Amazônia e criação da Zona Franca (SERÁFICO; SERÁFICO, 2005; NAZARETH et al., 2011). Em relação à dinâmica de *desmatamento*, o estado possui grande extensão territorial, alta concentração de áreas protegidas (ISA, 2014) (Tabela 5.2) e baixa conectividade com os eixos rodoviários de circulação. Estas características associadas tornam as atividades de *desmatamento* geralmente relacionadas às dinâmicas socioeconômicas locais.

Aos padrões III, V e VII encontram-se associados os estados do Mato Grosso, Rondônia e Acre, respectivamente. Os três estados apresentam o mesmo padrão temporal do *desmatamento* no período, apesar de apresentarem diferentes dinâmicas de evolução do processo. O GU foi crescente em todo período para os três estados, sendo em Rondônia mais significativo entre 2000 e 2010 e no Mato Grosso entre 1991 e 2000, e 2010 e 2014. Por sua vez no Acre, o GU foi mais significativo no período mais recente – 2010 a 2014.

Apesar de apresentarem semelhanças nos padrões de evolução do *desmatamento*, as distintas tipologias, que caracterizam a evolução do *grau de urbanização* em cada estado, representam os diversificados processos de ocupação do território, principalmente em

relação à expansão da fronteira agrícola. Nos estados do Mato Grosso e Rondônia, a implantação de grandes projetos agropecuários e de mineração respondem pelos altos níveis de *desmatamento* (SOARES-FILHO, 2001; RIVERO, 2009), enquanto o estado do Acre teve, historicamente, suas atividades econômicas centradas no extrativismo (SOUZA, 2010). Um elemento de similaridade histórica entre os três estados foi a construção da rodovia Brasília-Acre (BR-364), em 1977, que possibilitou significativas transformações no uso e cobertura da terra e permitiu a formação de povoados, vilas e cidades ao longo de seu eixo (SOUZA, 2010; PRATES; BACHA, 2011).

O padrão do Grupo VI, representativo das dinâmicas observadas no estado do Tocantins, apesar de incluso no mesmo contexto geográfico do grupo de estados que respondem pelos padrões I (Pará e Maranhão), III (Mato Grosso) e V (Rondônia), é caracterizado por processos socioeconômicos distintos. Apesar do recorte espacial em que se insere, o estado do Tocantins tem sua composição florestal, quase em sua totalidade, representada pelo bioma cerrado (Figura 5.4), não mapeado pelo PRODES, o que dificulta a análise do perfil de *desmatamento* considerando uma área de floresta que representa menos de 10% da cobertura florestal no estado (MMA, 2009). Apesar disso, observa-se, conforme o esperado diante do contexto da região do arco, padrão de redução do *desmatamento* no período após o ano 2000. Este padrão pode ser associado ao esgotamento dos recursos florestais na região. Em relação ao observado na evolução da população urbana, dada pelo *grau de urbanização*, assemelha-se ao padrão dos Grupos I (Maranhão e Pará), II (Amapá e Roraima) e III (Mato Grosso): crescimento mais acentuado entre 1991 e 2000, e 2010 e 2014, característico do contexto histórico-regional.

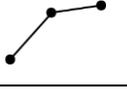
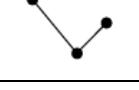
Devido às paridades históricas que gestaram os padrões de evolução do *desmatamento* e *expansão urbana* em algumas partes da Amazônia, observa-se que alguns grupos apresentam similaridades entre si. Baseados apenas nos resultados das *taxas de desmatamento*, sete dos nove estados apresentaram redução da atividade de *desmatamento* no período entre 2000 e 2010 e, em todos, aumento do *grau de urbanização* em todo período. Desconsiderando as particularidades regionais de cada estado, o aumento no *grau de urbanização* reflete, de modo geral, as tendências nacionais de *expansão urbana*, e a redução do *desmatamento* a partir do ano 2000, coincidente com a implantação de políticas de controle e fiscalização do *desmatamento* na Amazônia Legal

(VALERIANO et al., 2012; BECKER, 2009). Apesar de existirem fatores comuns que permeiam os históricos de *urbanização* e *conversão florestal*, a identificação de padrões heterogêneos nas dinâmicas das variáveis evidencia as particularidades regionais e atentam sobre a importância do recorte espaço-temporal para interpretação da relação entre processos distintos, mas relacionados.

### **5.1.2. O Município como Unidade Espacial de Referência**

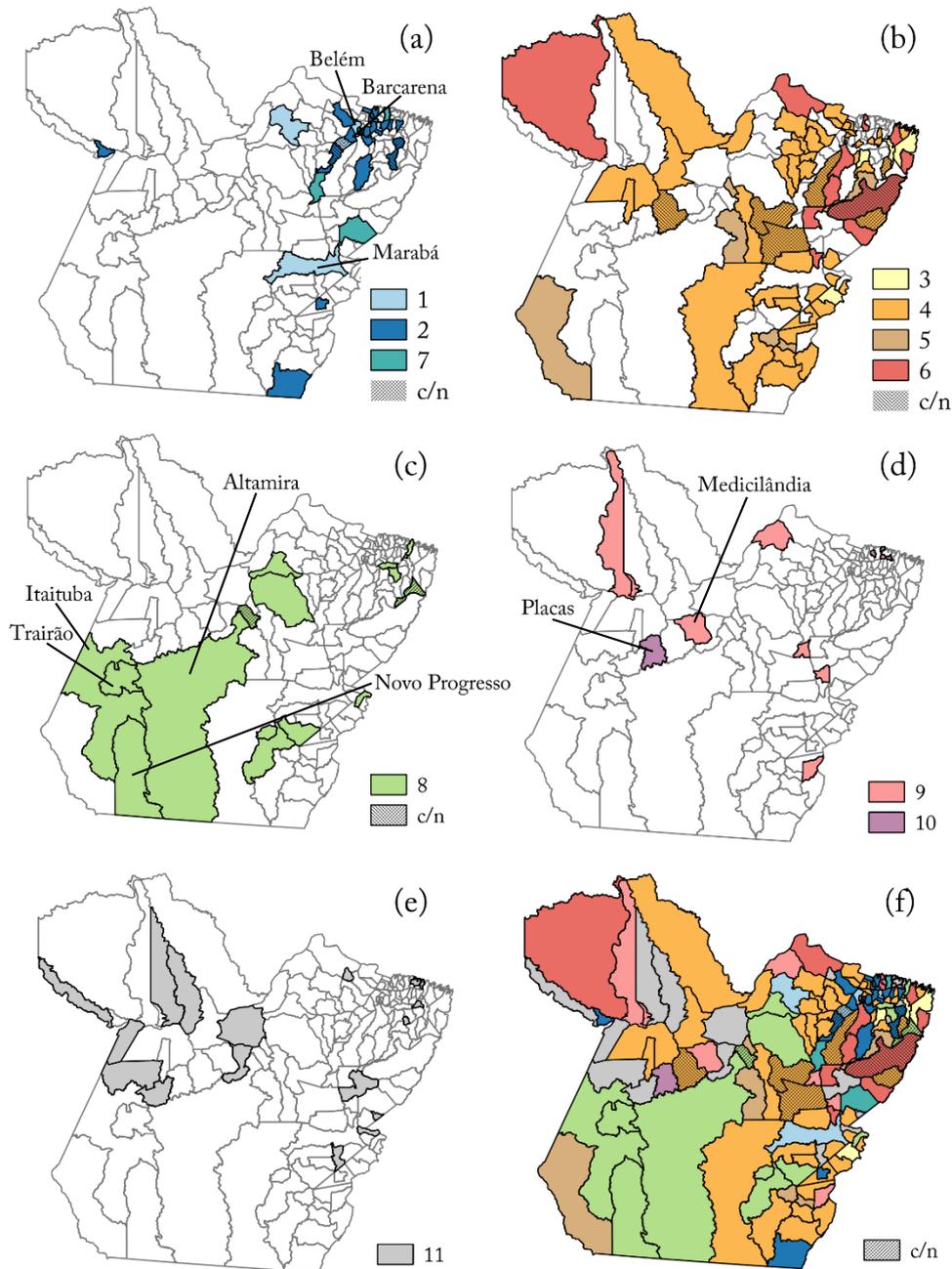
O estudo da evolução das variáveis e identificação de padrões de relacionamento na escala do estado do Pará, tendo os municípios como resolução de análise, foi capaz de mostrar a heterogeneidade da relação entre *desmatamento* e *expansão urbana* no tempo e espaço. Os diferentes padrões observados confirmam as hipóteses que discutem a inviabilidade de associação direta entre os processos (MOLOTH, 1976; PERZ et al., 2005; DAL'ASTA et al., 2012, 2017; CARDOSO; NEGRÃO, 2013; BECKER, 2013; RICHARDS; VANWEY, 2015; TRITSCH; TORNEAU, 2014, 2016), principalmente ao serem analisados em diferentes escalas (BARBIERI et al., 2009). A análise conjunta da evolução do *grau de urbanização* (GU) e evolução do *incremento anual de desmatamento* possibilitou agrupar os municípios de acordo com as similaridades na dinâmica dos processos, conforme apresentado na Tabela 5.3, Figura 5.5 e Tabela A.1, onde a listagem dos municípios paraenses por grupos identificados é apresentada.

Tabela 5.3 – Grupos de municípios do estado do Pará resultantes da evolução do *incremento anual* (2000, 2010 e 2014) e *grau de urbanização* (2000, 2010 e 2014) semelhantes.

GRUPO	Desmatamento	Grau de Urbanização (GU)	Descrição
1			Redução do desmatamento, com maior variação entre 2000 e 2010; GU decrescente em todo período.
2			Redução do desmatamento, com maior variação entre 2000 e 2010; GU decrescente, com maior variação entre 2000 e 2010.
3			Redução do desmatamento, com maior variação entre 2000 e 2010; GU crescente em todo período.
4			Redução do desmatamento, com maior variação entre 2000 e 2010; GU crescente, com maior variação entre 2000 e 2010.
5			Redução do desmatamento, com maior variação entre 2000 e 2010; GU decrescente, com maior variação entre 2010 e 2014.
6			Redução do desmatamento, com maior variação entre 2010 e 2014; GU crescente, com maior variação entre 2000 e 2010.
7			Redução do desmatamento, com maior variação entre 2010 e 2014; GU decrescente, com maior variação entre 2000 e 2010.
8			Redução do desmatamento de 2000 para 2010 e aumento em 2014; GU crescente, com maior variação entre 2000 e 2010.
9			Aumento do desmatamento de 2000 para 2010 e redução em 2014; GU crescente, com maior variação entre 2000 e 2010.
10			Aumento do desmatamento de 2000 para 2010 e redução em 2014; GU decrescente, com maior variação entre 2000 e 2010.
-	Outros		Padrões não replicáveis em mais de 3 municípios.

Fonte: Produção da autora.

Figura 5.5 – Representação dos padrões espaço-temporais do grau de urbanização e incremento de desmatamento para os municípios do estado do Pará.



Municípios com: (a) dinâmica descendente de GU e *desmatamento* no período; (b) dinâmica descendente de *desmatamento* e ascendente de GU no período; (c) dinâmica descendente e ascendente do *desmatamento* (em formato de “V”) e ascendente de GU no período; (d) dinâmica ascendente e descendente (em formato “V” invertido) de *desmatamento* e dinâmica ascendente (grupo 9) de GU e descendente (grupo 10) de GU no período. (e) padrões não replicáveis da relação das dinâmicas de *desmatamento* e GU. (f) todos os padrões espaço-temporais do GU e *desmatamento*, na resolução dos municípios, do estado do Pará. c/n: municípios que apresentaram alta cobertura de nuvens de 1997 a 2000.

Fonte: Produção da autora.

A distribuição espacial dos grupos de municípios no estado do Pará (Figura 5.5) evidencia a heterogeneidade espacial da relação entre os processos de evolução da *expansão urbana* e *desmatamento*. Da evolução das variáveis, identifica-se um padrão predominante (Grupo 4) representado por 35% dos municípios (50 municípios): relação inversa entre os processos, ou seja, à medida que o *grau de urbanização* aumenta, na mesma intensidade, o *incremento de desmatamento* diminui (Figura 5.5b) – semelhante ao observado no Grupo I (que abrange o estado do Pará) para os dados agregados por UF (Tabela 5.1 e Figura 5.4). No entanto, a identificação de grupos com padrões distintos a este, revela a importância de explorar as relações possíveis entre os processos em diferentes escalas e resoluções espaciais.

Nos padrões dos Grupos 3, 4, 5 e 6 (Figura 5.5b) o *desmatamento* diminuiu ao longo de todo período, com redução mais acentuada entre 2000 e 2010 nos Grupos 3, 4 e 5. Conforme discutido anteriormente, esta tendência é um reflexo, principalmente, da implementação de políticas de comando e controle do *desmatamento* na região amazônica a partir de 2004 (BECKER, 2009; VALERIANO et al., 2012). Por sua vez, o Grupo 6 teve maior redução do *desmatamento* em período mais tardio – entre 2010 e 2014. Em relação ao GU, o Grupo 3 apresentou crescimento constante ao longo do período; os Grupos 4 e 6 crescentes, com maior variação entre 2000 e 2010; e, o Grupo 5, também crescente, com maior intensidade entre 2010 e 2014. Nestes grupos foram identificados municípios que apresentaram alta concentração da cobertura de nuvens de 1997 a 2000, resultando em um valor superestimado do *incremento de desmatamento* em 2001. Com isso, para estes municípios, os padrões espaço-temporais identificados devem ser relativizados.

Os padrões dos Grupos 1, 2 e 7 (Figura 5.5a) referem-se aos municípios (29 municípios) que apresentaram diminuição tanto na atividade de *desmatamento* quanto no *grau de urbanização*. A maior redução do *desmatamento* ocorreu entre 2000 e 2010 (Grupos 1 e 2), período também de maior variação para o GU nos Grupos 2 e 7. No grupo 7, a maior redução do desmatamento ocorreu entre 2010 e 2014. Em relação ao GU do Grupo 1, a redução foi constante no período. Se o *desmatamento* acompanhou as tendências gerais estaduais de redução, o GU apresenta relação inversa ao observado para o Pará (Grupo I) (Tabela 5.1 e Figura 5.4) e para a maioria dos municípios: redução da taxa ao longo do

período analisado. Para estes grupos também foram identificados municípios que apresentaram alta concentração da cobertura de nuvens de 1997 a 2000, com isso, destaca-se as possíveis inconsistências nos padrões espaço-temporais do GU e desmatamento para estas áreas.

Além da importância do contexto espacial para interpretar as relações entre *desmatamento* e *expansão urbana*, as particularidades locais também influenciam nas dinâmicas destes processos. No município de Barcarena (Grupo 2) por exemplo, Carmo e Costa (2016) discutem as singularidades no processo histórico de ocupação do território, e sua dinâmica de *expansão urbana* que se encontra associada à implantação do complexo industrial Alunorte, resultando na reestruturação do espaço para atender a demanda das indústrias. Desse modo, Barcarena apresenta maior concentração populacional em seu distrito rural, Vila dos Cabanos, do que na própria sede do município.

Ao observar a configuração espacial e proximidade geográfica dos municípios dos Grupos 1, 2 e 7, identificou-se uma distribuição esparsa dos municípios na porção leste do estado, com discreta concentração na região do nordeste paraense, próximo a Belém. Apesar de agregados, muitos municípios, como Belém, por exemplo, apresentam flutuações suaves no GU devido à saturação do índice. Isso ocorre em municípios onde a população se concentra integralmente, ou quase, em áreas urbanas, para os quais a interpretação deve ser relativizada. A população urbana não está diminuindo, mas sim, trata-se de um município predominantemente urbano – ao que se refere à situação do domicílio. Parte dos municípios inclusos nestes grupos (1, 2 e 7) encontra-se sobre influência socioeconômica das dinâmicas da Região Metropolitana de Belém (RMB) (RIBEIRO, 2016), e alguns, inclusive, fazem parte dela. Com isso, grande parte dos processos associadas à evolução do *desmatamento* e *expansão urbana* explicam-se por essa rede criada entre a cidade-nó Belém e suas adjacências.

Fora da região de influência de Belém, Marabá (Grupo 1) é um exemplo de município com importante participação econômica no estado, que, segundo Cardoso e Lima (2009) apresenta limitações de crescimento impostas pela falta de infraestrutura de apoio a grandes projetos desenvolvidos na região, especialmente sobre o espaço intraurbano. O município de Marabá exhibe uma dinâmica urbana complexa e segregada, com isso, a pequena variabilidade no GU pode estar associada à intensa flutuação da população sobre

áreas do município que sofrem influência das enchentes causadas pelas cheias dos rios Tocantins e Itacaúnas.

Em relação à dinâmica de *desmatamento*, os municípios dos Grupos 1, 2 e 7, de modo geral, possuem poucos remanescentes florestais, como os da RMB (FERREIRA et al., 2012), ou, recursos florestais restritos às áreas protegidas, como em Marabá (Figura 5.6). Deste modo, a redução no *incremento do desmatamento* ao longo da série temporal é explicada pela escassez de florestas primárias nestes municípios.

O padrão do Grupo 8 (14 municípios) (Figura 5.5c) exhibe uma relação inversa entre as variáveis no primeiro período (2000-2010) – decréscimo de *desmatamento* e maior pico de crescimento da população urbana – e relação convergente no período seguinte (2010-2014), com crescimento de ambas as variáveis. Espacialmente há o agrupamento de alguns dos municípios (Itaituba, Novo Progresso, Trairão e Altamira) que se encontram, principalmente, às margens da rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém). Nesta região, o processo de ocupação se deu, inicialmente por projetos financiados pelo governo federal para abertura de novas estradas e exploração mineral. Em seguida, a expansão das frentes de ocupação, vista a redução da participação do poder público, passou a ser comandada por atores socioeconômicos regionais - pecuaristas, madeireiros e agricultores - instalados na região (BECKER, 2005). Para este grupo também foram identificados municípios que apresentaram alta concentração da cobertura de nuvens de 1997 a 2000.

De modo geral, os municípios deste grupo apresentaram ao longo do tempo expressivo aumento populacional (ALVES et al., 2008) decorrente, principalmente, da expectativa de asfaltamento da rodovia, instalação de madeiras e aquecimento do mercado de terras (ESCADA et al., 2009). A redução do *desmatamento* entre 2000 e 2010 pode ser relacionada à estagnação da economia local, dependente da extração madeira, e pecuária, e impactada pela implantação de políticas de controle e fiscalização ambiental (ESCADA et al., 2009; VALERIANO et al., 2012). Contudo, mesmo com significativa concentração de áreas de proteção sob o domínio do governo federal e estadual na região sudoeste do Pará (20 unidades de conservação criadas até 2014) (Figura 5.6), o aumento na atividade de *desmatamento* a partir de 2010 pode estar relacionado à expansão recente das frentes agrícolas na região, mercado de terras e recuo das políticas de comando e controle. Esta tendência de crescimento, principalmente a partir de 2014, é observada para

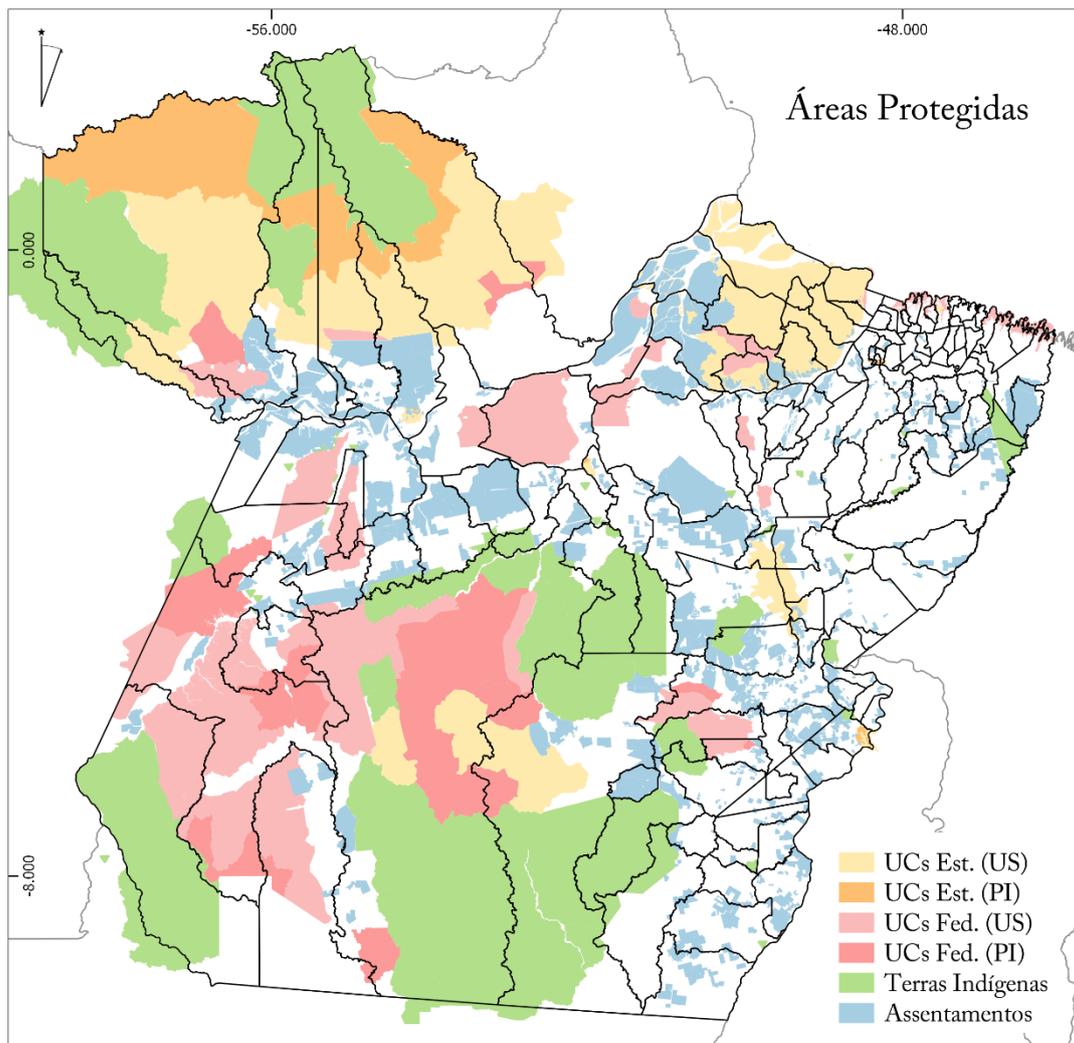
o Pará e em toda a Amazônia Legal conforme levantamento anual do PRODES (INPE, 2017) (Figura 2.1).

Os Grupos 9 e 10 (Figura 5.5d) referem-se aos municípios (12 municípios) que apresentaram aumento do *incremento de desmatamento* até 2010 e redução em 2014, e GU com maior variação entre 2000 e 2010, porém, com crescimento no Grupo 9 e redução para o Grupo 10. Esta dinâmica de *desmatamento* evidencia uma tendência contrária ao observado para a maioria dos municípios do Pará e Amazônia Legal. São municípios com dinâmicas socioeconômicas particulares, como é o caso de Medicilândia (Grupo 9) e Placas (Grupo 10). Ambos os municípios possuem suas origens associadas à Transamazônica, e evolução do processo de ocupação baseado no desenvolvimento das atividades econômicas, como é o caso do cacau e da pecuária, pela própria dinâmica da rodovia e evolução dos projetos de assentamentos (Figura 5.6) (NAEA, 2009; CARDOSO; LIMA, 2009; BECKER, 2013; NEVES et al., 2014).

A presença de áreas protegidas é percebida, de modo geral, sobre todo o estado, sendo distribuídas entre os municípios: unidades de conservação federais (UCFed) e estaduais (UCEst) de proteção integral (PI) e uso sustentável (US), assim como, terras indígenas (TIs) e áreas de assentamentos. Estas áreas cumprem importantes funções ambientais e sociais, promovendo a conservação de recursos naturais e reforma agrária. Desta forma, parte da dinâmica observada, tanto de *desmatamento* quanto de *expansão urbana*, é influenciada pela presença de áreas protegidas. Por suas delimitações legais, estas áreas conduzem a um tipo de uso da terra diferenciado, que estabelece determinados padrões de *conversão florestal* e ocupação do território.

O grupo “outros” engloba municípios que apresentaram padrões únicos na análise de evolução das variáveis, observando-se para este grupo tendências não recorrentes em mais de 3 municípios, de evolução do *incremento de desmatamento* e *grau de urbanização*. Os resultados ressaltam que os processos de *conversão florestal* e *urbanização* apresentam múltiplas tendências de evolução que traduzem suas complexidades nas análises espaço-temporais.

Figura 5.6 - Unidades de Conservação (UCs) federais, estaduais, Terras Indígenas (TIs) e assentamentos sob os municípios do estado do Pará.



Fonte: Adaptado de ICMBIO (2017), MMA (2017), FUNAI (2017) e INCRA (2012).

## 5.2. Etapa 2: O Espaço Importa? Explorando a Associação Espacial entre os Processos

Nesta etapa buscou-se investigar padrões de associação espacial entre as variáveis, considerando possíveis mudanças de resultado conforme a mudança de escala. Nesta seção, a extensão espacial se restringe ao estado do Pará. Os resultados serão apresentados separadamente de acordo com as resoluções da escala de análise (unidade espacial de agregação), de modo que possibilite a observação da heterogeneidade dos padrões em cada abordagem: (i) quando o município é tomado como a unidade espacial de referência

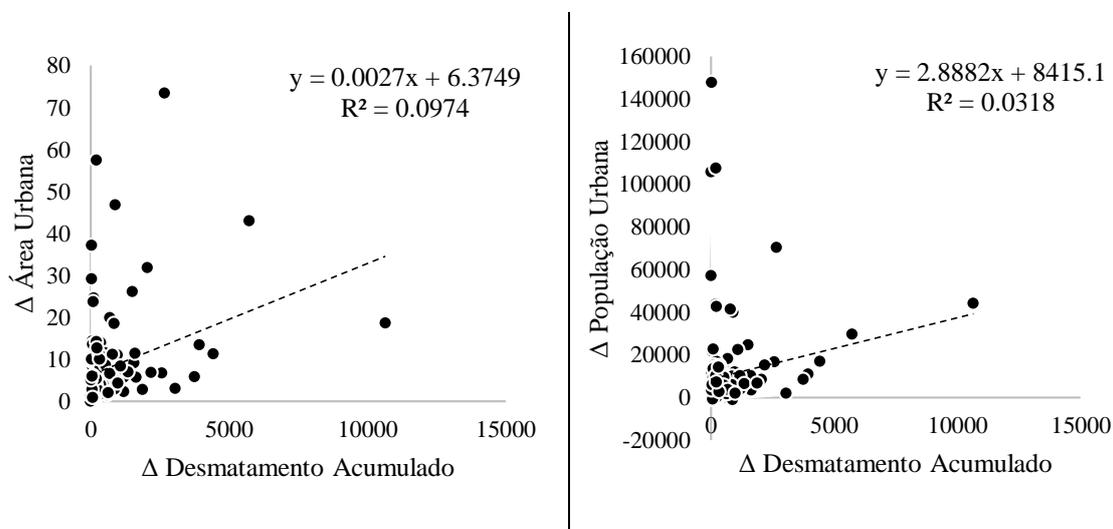
e, (ii) quando as células de 20x20km, que recobrem toda a extensão do estado do Pará, são as unidades utilizadas.

### 5.2.1. O Município como Unidade Espacial de Referência

A análise exploratória possibilitou a observação qualitativa da necessidade de se considerar o atributo espacial no estudo da relação entre os processos. Com isso, para a verificação inicial da hipótese de não-estacionariedade na dinâmica entre as variáveis, fez-se, inicialmente, o diagrama de dispersão entre X ( $\Delta$  Desmatamento Acumulado) versus cada Y ( $\Delta$  Área Urbana e  $\Delta$  População Urbana) (Figura 5.7). Nesta análise inicial não foi observada significativa correlação entre os processos. Dado este resultado, verifica-se a necessidade de investigar a contribuição da componente espacial na análise.

Além deste resultado inicial dos diagramas de dispersão, mapas de autocorrelação local (LISA) bivariados (Y/X) foram gerados para que fossem identificados padrões de dependência espacial local (Figura C.1). Para estes mapas, foram observados padrões de associação espacial, indicando unidades que possuem comportamentos semelhantes, estabelecendo aglomerados homogêneos.

Figura 5.7 - Diagrama de dispersão das variáveis DAU ( $\Delta$  Área Urbana) e DPU ( $\Delta$  População Urbana) em função da variável DDA ( $\Delta$  Desmatamento Acumulado) na resolução municipal.



Fonte: Produção da autora.

Mesmo com o apontamento de indícios de autocorrelação espacial entre as variáveis (Figura 5.7 e Figura C.1) é recomendada a calibração dos modelos de regressão não-espacial antes de se partir para a análise espacial. Esta etapa inicial é compreendida como uma fase exploratória para compreensão das relações entre os processos, servindo de suporte para o desenvolvimento do modelo espacial.

Para o modelo de *área urbana* ( $DAU = f DDA$ ) foi verificado, com o uso o teste de I de Moran sob análise de pseudo-significância (999 permutações), que os resíduos do modelo apresentaram valor do índice I com significância estatística, confirmando a presença de dependência espacial. O modelo rejeita as hipóteses nulas de homocedasticidade (Breusch-Pagan<sup>11</sup> e Koenker-Basset<sup>12</sup>) e de normalidade (Jarque-Bera<sup>13</sup>). Por isso, os seus resultados são considerados inconsistentes.

De forma análoga, no modelo de *população urbana* ( $DPU = f DDA$ ), o teste de I de Moran também verificou a presença de dependência espacial nos resíduos. O modelo aceita a hipótese nula de homocedasticidade (Koenker-Basset e Breusch-Pagan) no entanto, rejeita a de normalidade (Jarque-Bera), por isso, seus resultados também são inconsistentes.

Para ambos os modelos a análise gráfica dos resíduos - diagrama de dispersão e histograma - confirma os resultados das estatísticas e verificou-se baixo coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  ajust.), o que indica que a variável independente (DDA) exerce

---

<sup>11</sup> O teste estatístico Breusch-Pagan faz a verificação do pressuposto de homocedasticidade e é baseado no ajuste de um modelo de regressão linear aos resíduos quadráticos contra os valores ajustados, com a formulação de uma hipótese nula (hipótese de homocedasticidade), uma hipótese alternativa (hipótese de heterocedasticidade) e nível de significância (0,01). Rejeita-se a hipótese nula quando o p-valor do teste for menor que 0,01.

<sup>12</sup> O teste estatístico Koenker-Basset faz a verificação do pressuposto de homocedasticidade e é baseado no ajuste de um modelo de regressão linear aos resíduos quadráticos contra os quadrados dos valores ajustados, com a formulação de uma hipótese nula (hipótese de homocedasticidade), uma hipótese alternativa (hipótese de heterocedasticidade) e nível de significância (0,01). Rejeita-se a hipótese nula quando o p-valor do teste for menor que 0,01.

<sup>13</sup> A verificação de normalidade dos resíduos foi feita por meio do teste estatístico Jarque-Bera. O teste é baseado nos parâmetros de curtose e assimetria com a formulação de uma hipótese nula (hipótese de normalidade), uma hipótese alternativa (hipótese de não normalidade) e nível de significância (0,01). Rejeita-se a hipótese nula quando o p-valor do teste for menor que 0,01.

quase nenhuma contribuição sobre as variáveis dependentes (DAU e DPU). A Tabela 5.4 resume os resultados dos modelos  $DAU = f DDA$  (Equação 4.5) e  $DPU = f DDA$  (Equação 4.6).

Tabela 5.4 - Principais resultados das regressões não-espaciais e análise gráfica dos resíduos na resolução municipal.

			Previsto vs Estimado	Scatterplot de Moran
<b>DAU = f DDA (k = 2)</b>	R <sup>2</sup> ajust.	0.09		
	Akaike	1063.6 3		
	$\beta$	0.002		
	Jarque-Bera	p<0.01		
	Breusch-Pagan	p<0.01		
	Koenker-Basset	p>0.01		
	Moran	0.26		
<b>DPU = f DDA (k = 2)</b>	R <sup>2</sup> ajust.	0.02		
	Akaike	3234.2 2		
	$\beta$	2.883		
	Jarque-Bera	p<0.01		
	Breusch-Pagan	p>0.01		
	Koenker-Basset	p>0.01		
	Moran	0.29		

Fonte: Produção da autora.

Normalmente os desvios de normalidade dos dados são seguidos de heterocedasticidade, e esses desvios ocorrem quando alguma das variáveis do modelo que descreve um fenômeno, por razões intrínsecas, segue qualquer distribuição de probabilidade diferente de uma normal (PINO, 2014). Com isso, transformações linearizantes são aplicadas aos dados para ajustar as probabilidades a uma curva gaussiana e obter resultados consistentes que possam ser considerados como indicadores estatísticos de correlação e dependência espacial nos modelos.

Os valores das variáveis nas unidades são prioritariamente positivos, portanto, a transformação logarítmica é capaz de estender os valores das variáveis para uma reta real.

Além disso, esse tipo de transformação costuma obter bons resultados em dados de ciências sociais e biológicas, em que diversos fatores independentes e variados influenciam em suas probabilidades (OSBORNE, 2010). Com base nisso, a transformação *log* foi aplicada e os municípios que apresentaram valores negativos das variáveis foram retirados do conjunto de dados para teste dos modelos linearizados.

O modelo de regressão com as variáveis transformadas que descrevem a relação  $DAU = f DDA$  (Equação 5.1) teve o município de Santa Cruz do Arari retirado do conjunto de dados por apresentar valor 0 (zero) em ambas as variáveis – DAU e DDA -. No mesmo sentido, o modelo que descreve a relação de  $DPU = f DDA$  com as variáveis transformadas (Equação 5.2) teve os municípios de Jacareacanga, Curionópolis, Terra Santa, Magalhães Barata, Maracanã e São João da Ponta retirados do conjunto de dados por apresentarem variação negativa da *população urbana*. Santa Cruz do Arari também foi retirado deste modelo por apresentar valor 0 (zero) de *desmatamento*. As funções matemáticas de ambos os modelos são descritas abaixo:

$$\text{Log}(DAU) = \alpha + \beta \text{Log}(DDA) + \varepsilon \quad (5.1)$$

$$\text{Log}(DPU) = \alpha + \beta \text{Log}(DDA) + \varepsilon \quad (5.2)$$

Pôde-se verificar a partir da análise dos resultados obtidos que segundo o teste de I de Moran e análise de pseudo-significância, os resíduos do modelo transformado de *área urbana* ( $\text{Log}(DAU) = f \text{Log}(DDA)$ ) apresenta valor do índice de dependência espacial com significância estatística. Além disso, o modelo aceita as hipóteses nulas de normalidade (Jarque-Bera) e homocedasticidade (Breusch-Pagan e Koenker-Basset) dos resíduos.

De forma análoga, no modelo transformado de *população urbana* ( $\text{Log}(DPU) = f \text{Log}(DDA)$ ), o teste de I de Moran com a análise de pseudo-significância também verificou a presença de dependência espacial com significância estatística nos resíduos. O modelo rejeita as hipóteses nula de normalidade, com base no teste estatístico de Jarque-Bera, e homocedasticidade, com base no teste Breusch-Pagan. No entanto, o teste Koenker-Basset aceita a hipótese nula de homocedasticidade e o histograma de distribuição de probabilidades dos resíduos (Figura D.1) mostra que mais de 95% das

amostras apresentam variação entre -2/+2 em relação à média 0 (zero), ou seja, aproxima-se à uma curva gaussiana. Por isso, os resultados de ambos os modelos podem ser considerados consistentes.

A análise gráfica do índice I de Moran mostra, de forma geral, uma distribuição uniforme e regular dos resíduos entre os quadrantes, com tendência de aglomeração dos tipos Alto-Alto e Baixo-Baixo - indicativo de dependência espacial. Os resultados dos modelos  $\text{Log(DAU)} = f \text{Log(DDA)}$  (Equação 5.1) e  $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$  (Equação 5.2) ainda para a resolução municipal estão resumidos na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Principais resultados das regressões não-espaciais e análise gráfica dos resíduos para as variáveis logarítmicas na resolução municipal.

			Previsto vs Estimado	Scatterplot de Moran
<b>Log(DAU) = f Log(DDA)</b> (k = 2)	R <sup>2</sup> ajust.	0.12		
	Akaike	167.4		
	$\beta$	0.257		
	Jarque-Bera	p>0.01		
	Breusch-Pagan	p>0.01		
	Koenker-Basset	p>0.01		
	Moran	0.39		
<b>Log(DPU) = f Log(DDA)</b> (k = 4)	R <sup>2</sup> ajust.	0.05		
	Akaike	250.819		
	$\beta$	0.2484		
	Jarque-Bera	p<0.01		
	Breusch-Pagan	p<0.01		
	Koenker-Basset	p>0.01		
	Moran	0.30		

Fonte: Produção da autora.

Mesmo após o processo de transformação linearizante das variáveis, ainda se verifica baixo coeficiente de determinação ajustado (R<sup>2</sup>) para ambos os modelos. Esses resultados descrevem um baixo poder explicativo da variável independente – *desmatamento* – em relação às variáveis dependentes – *área urbana* e *população urbana*.

Os resultados obtidos pelas regressões lineares não-espaciais corroboram as hipóteses de não-correlação entre os processos e mostram que a expansão de *áreas urbanas*, *população urbana* e *desmatamento* ocorrem de forma dissociada no tempo e no espaço. Além disso, não tendo sido detectada considerável dependência espacial das variáveis, a aplicação de técnicas de regressão espacial torna-se dispensável, sendo os resultados obtidos na regressão linear não-espacial considerados satisfatórios para compreender a dinâmica dos fenômenos na área de estudo.

No entanto, tendo em vista a heterogeneidade espacial discutida pela literatura, dado os objetivos investigativos da pesquisa e os pequenos agrupamentos de dependência espacial local identificados pelo LISA Map (Figura C.1 e Figura E.1), a GWR foi aplicada ao conjunto de dados, como uma ferramenta para a análise exploratória da variabilidade espacial da relação em estudo, para que fossem analisados, os diferentes padrões da associação entre as variáveis considerando a estrutura espacial a que estão inseridos. Os resultados gerais da GWR são descritos na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Principais resultados dos modelos de regressão espacial local na resolução municipal.

	<b>Log(DAU) = f Log(DDA)</b>	<b>Log(DPU) = f Log(DDA)</b>
R <sup>2</sup> Ajust.	0.40	0.36
Akaike	129.50	212.27
α (mediana)	0.15	3.24
B (mediana)	0.23	0.15

Fonte: Produção da autora.

Para ambos os modelos, de *área urbana* ( $\text{Log(DAU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) e de *população urbana* ( $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$ ), o coeficiente de determinação atingiu valores pouco significativos. O *desmatamento* é capaz de explicar apenas 36% da dinâmica de *população urbana* e 40% da dinâmica de expansão de *área urbana*, para os municípios como unidade espacial de referência. Destes 36%, 29 Municípios (20% do total) têm valores significativos para  $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$ , e dos 40%, 65 Municípios (45% do total) têm valores significativos para  $\text{Log(DAU)} = f \text{Log(DDA)}$ . Este resultado indica que de modo geral, mesmo considerando as relações espaciais, o *desmatamento* possui pouca capacidade de explicar a dinâmica de *expansão urbana* no território paraense. No entanto, considerando que tanto o *desmatamento* quanto a *expansão urbana* são processos

que estão condicionados a diversos agentes e fatores, o resultado obtido torna-se expressivo. Tanto o  $R^2$  ajustado, como o valor de Akaike indicaram que o modelo de *área urbana* ( $\text{Log(DAU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) apresenta um ajuste melhor em relação à variável independente ( $\text{Log(DDA)}$ ) para esta unidade espacial de referência.

Além do coeficiente angular, que estima a contribuição da variável independente (X) no aumento de uma unidade da variável dependente (Y), o intercepto também revela importantes características dos fenômenos que devem ser enfatizadas. Indica, por exemplo, o valor médio da variável Y em cada unidade de análise independente da inclusão de variáveis explicativas no modelo. Essa informação auxilia na compreensão da influência das variáveis explicativas no modelo e mostra a dinâmica da variável dependente na área de estudo. Ressalta-se que dos resultados obtidos apenas foram considerados os parâmetros estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $\pm 1.96$  – estatística t).

Os coeficientes angulares, nos municípios onde seus valores são estatisticamente significativos, obtidos do modelo de *área urbana* ( $\text{Log(DAU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) (Figura 5.8c) mantiveram o mesmo sinal da regressão linear não-espacial, no entanto, com variadas intensidades, delineando padrões espaciais que demonstram a variação da contribuição da variável independente sobre a variável dependente. O intercepto<sup>14</sup>, um primeiro indicativo de associação espacial entre as variáveis, não tem significância estatística em quase toda a área de estudo, o que representa que a variação da *área urbana* ( $\text{Log(DAU)}$ ) se manifesta de forma dependente do efeito da variação do *desmatamento acumulado* ( $\text{Log(DDA)}$ ) para esta unidade de análise (Figura 5.8d).

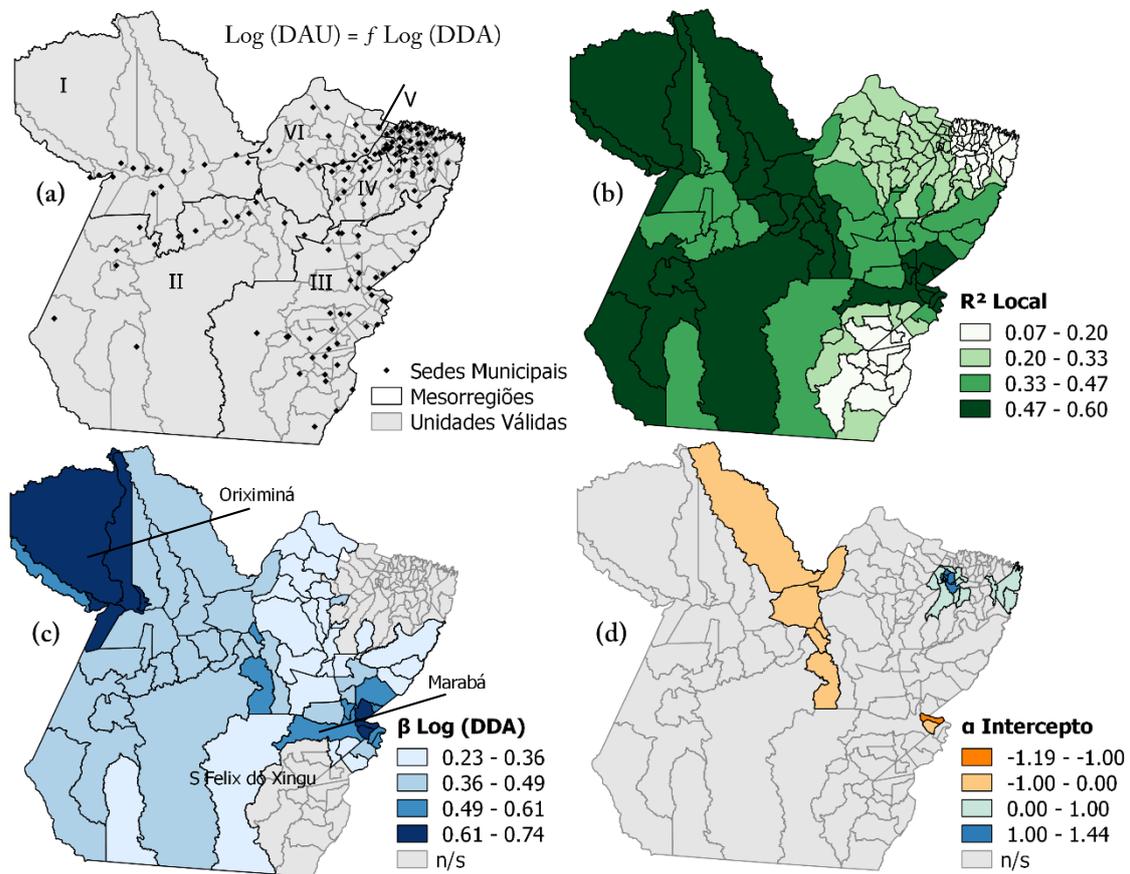
A estrutura espacial mapeada pela GWR indica que as áreas estatisticamente significativas são capazes de demonstrar a variabilidade espacial da relação entre as variáveis. Toda área mapeada pelo modelo  $\text{Log(DAU)} = f \text{Log(DDA)}$  é dividida em dois polos (leste-oeste) com coeficientes positivos em diferentes intensidades, com exceção da parte norte da Mesorregião Sudeste, que abrange Marabá e alguns municípios do entorno, e parte noroeste da Mesorregião do Baixo Amazonas. Estes dois grupos de

---

<sup>14</sup> Valor da variável dependente quando a variável independente é igual a zero.

municípios apresentaram valores atípicos em relação a seus vizinhos (Figura 5.8c). Nestas duas regiões que se destacam, observa-se que a atividade de *desmatamento* dos seus vizinhos é capaz de influenciar mais intensamente suas dinâmicas de *expansão urbana*, medida pela variação da *área urbana*. Sendo a parte norte da Mesorregião Sudeste afetada pelos altos valores de *desmatamento* da vizinhança de Marabá – que obteve expressivo crescimento de *área urbana* – no período, com destaque para o município de São Felix do Xingu, e, a parte noroeste da Mesorregião do Baixo Amazonas é influenciada pelos baixos valores de *desmatamento* na vizinhança de Oriximiná e entorno - que obteve baixo crescimento de *área urbana*.

Figura 5.8 – Resultados do modelo  $\text{Log(DAU)} = f \text{Log(DDA)}$  da Regressão Geograficamente Ponderada com a resolução municipal.

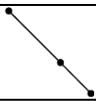
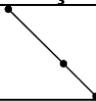
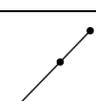
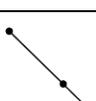


(a) Conjunto amostral – sedes municipais: I – Mesorregião do Baixo Amazonas, II – Mesorregião do Sudoeste Paraense, III – Mesorregião do Sudeste Paraense, IV – Mesorregião do Nordeste Paraense, V – Mesorregião Metropolitana de Belém, VI – Mesorregião do Marajó; (b)  $R^2$  local; (c) Coeficiente angular; (d) Intercepto; n/s – não significativo.

Fonte: Produção da autora.

Para analisar a relação entre os diferentes grupos de intensidade do coeficiente angular - mapeados pela GWR - e os padrões da relação entre *grau de urbanização* e *desmatamento* - identificados para os municípios na Etapa 1 - foi proposta a sobreposição dos resultados. No entanto, sabendo que para a GWR foi utilizada a diferença dos valores das variáveis, para auxiliar na interpretação dos mapas (Figura 5.9), os padrões observados na etapa anterior foram reclassificados de modo que as variações das intensidades do *desmatamento* e *grau de urbanização* entre períodos (2000-2010 e 2010-2014) fossem desconsideradas e apenas o padrão geral das variáveis, entre 2000 e 2014, analisado para o agrupamento dos municípios (Tabela 5.7).

Tabela 5.7 - Grupos reclassificados com base nos padrões de *desmatamento* e *grau de urbanização* em 2000, 2010 e 2014.

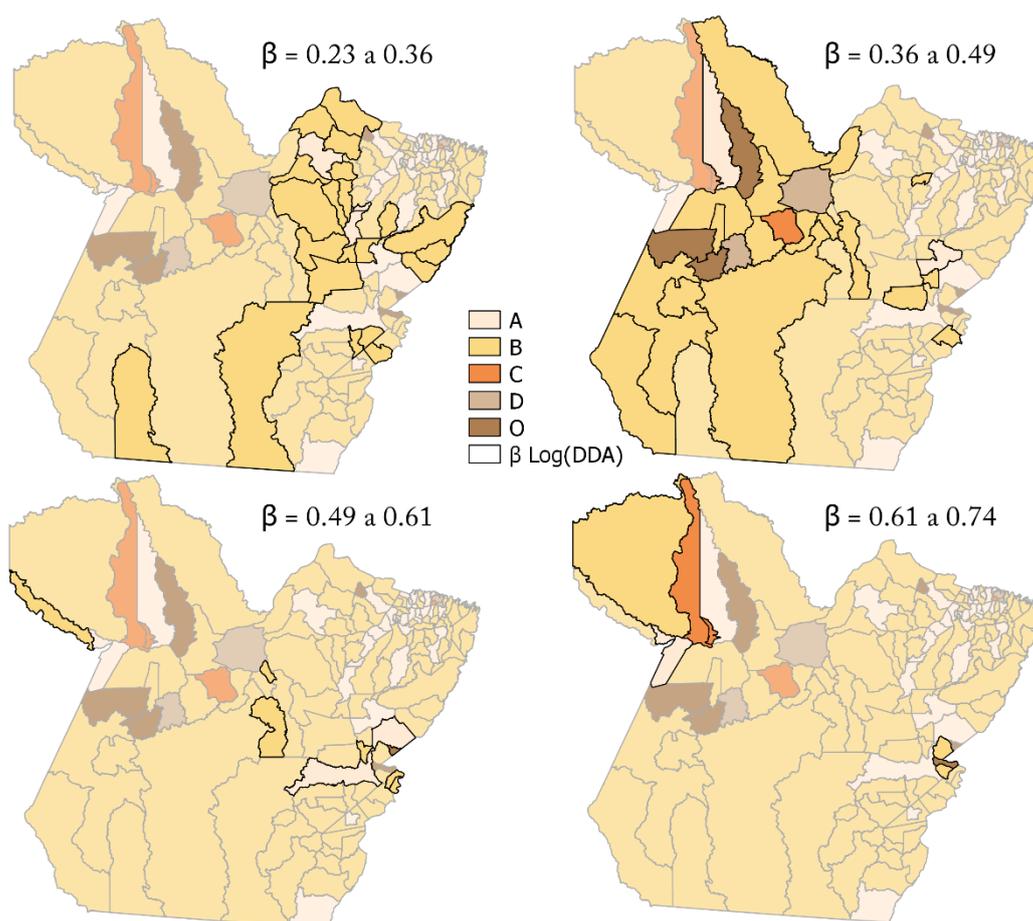
GRUPO	Desmatamento	Grau de Urbanização (GU)	Descrição
A			Redução do desmatamento e GU entre 2000 e 2014.
B			Redução do desmatamento e aumento do GU entre 2000 e 2014.
C			Aumento do desmatamento e aumento do GU entre 2000 e 2014.
D			Aumento do desmatamento e redução do GU entre 2000 e 2014.
O	Outros		Padrões não replicáveis.

Fonte: Produção da autora.

Ao analisar a sobreposição dos resultados das duas etapas – Etapa 1 e Etapa 2 - (Figura 5.9) notou-se que as classes do coeficiente angular encontradas pela GWR (Figura 5.8c) demonstraram, conforme anteriormente citado, uma estrutura de relação positiva entre as variáveis *área urbana* e *desmatamento*. Contudo, mesmo após a simplificação das tipologias (Tabela 5.7), os agrupamentos dos coeficientes são diferentes dos padrões observados na etapa anterior. Este resultado demonstra que apesar de se tratar da mesma resolução espacial (municípios), as diferentes medidas utilizadas para definir *expansão urbana* (*grau de urbanização* e diferença de *área urbana*) e *desmatamento* (*incremento*

e diferença de *desmatamento acumulado*), e as diferentes técnicas de análise (análise de tendências e análise espacial) aplicadas, resultaram em distintos regimes espaciais quando do agrupamento dos municípios. Destaca-se ainda que a sobreposição dos resultados não tem objetivos comparativos, mas apenas a visualização conjunta dos padrões obtidos pelas diferentes técnicas.

Figura 5.9 - Padrões simplificados da relação entre GU e *desmatamento* (A a Outros), e coeficientes angulares ( $\beta$ ) da regressão espacial  $\text{Log}(\text{DAU}) = f \text{Log}(\text{DDA})$  por intervalos do coeficiente.



Fonte: Produção da autora.

O grupo de municípios que apresentou maiores valores do coeficiente (0.61 a 0.74), por exemplo, corresponde aos municípios que na etapa anterior (Etapa 1) apresentaram os mais distintos padrões espaço-temporais dos processos de *expansão urbana* e *desmatamento* (A, B, C e O), mesmo após simplificação (Tabela 5.7). Os distintos regimes espaciais de distribuição dos grupos de municípios indicam a importância da

análise multiescalar para revelar os regimes espaciais de funcionamento da relação *urbanização-conversão florestal*.

Em relação ao modelo de *população urbana* ( $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) (Figura 5.11), os municípios onde os coeficientes angulares foram estatisticamente significativos, também mantiveram o mesmo sinal da regressão linear não-espacial com diferentes intensidades (Figura 5.10c). O intercepto é estatisticamente significativo em toda a área de estudo, o que indica que a variação da *população urbana* ( $\text{Log(DPU)}$ ) se manifesta de forma independente do efeito da variação do *desmatamento acumulado* ( $\text{Log(DDA)}$ ) (Figura 5.10d).

Entre os resultados obtidos, o extremo norte da Mesorregião do Sudeste Paraense, abrangendo o município de Marabá e entorno, se destaca, assim como no modelo anterior, por apresentar os maiores valores de coeficientes angular e de determinação da área de estudo. Este resultado reflete um efeito de vizinhança, causado pelos altos valores de variação do *desmatamento* no entorno de Marabá – que apresentou valores altos de crescimento de *população urbana* -, com destaque a São Felix do Xingu (Figura B.2 e Figura B.3).

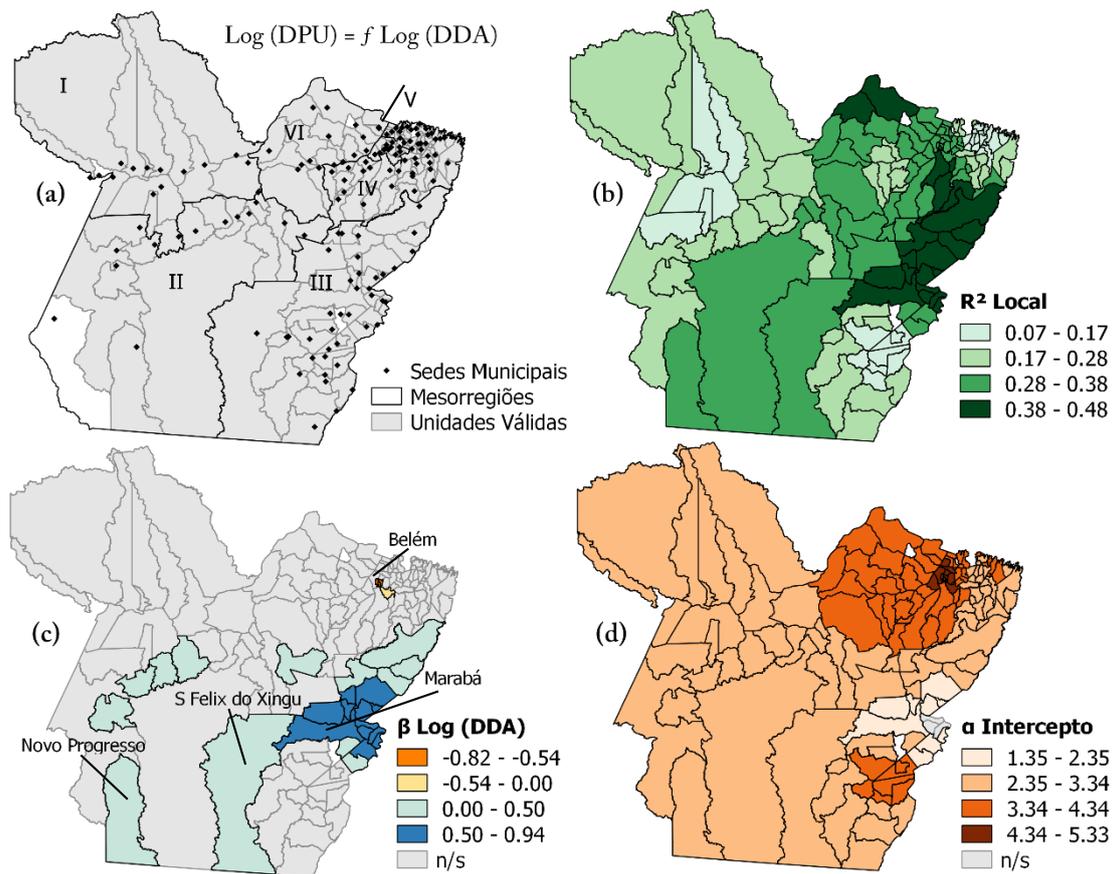
Os municípios localizados na Região Metropolitana de Belém (RMB) apresentaram coeficientes com valores negativos, delineando relação inversa entre a variação da *população urbana* ( $\text{Log(DPU)}$ ) na região e a variação do *desmatamento acumulado* ( $\text{Log(DDA)}$ ) de seus vizinhos. Este resultado é esperado, uma vez que a região apresenta alta concentração populacional e baixos valores de *desmatamento* em sua vizinhança no período (Figura B.2 e Figura B.3).

O Município de São Felix do Xingu e Novo Progresso, e vizinhança, apresentaram dinâmicas ativas de evolução de *população urbana* (DPU) e *desmatamento acumulado* (DDA) entre 2000 e 2014 (Figura B.2 e Figura B.3) e médios coeficientes de determinação e angular (Figura 5.10b - c). Esta dinâmica das variáveis explica os valores dos parâmetros da regressão (Figura 5.10b - c) nestes municípios.

Apesar de inseridos no mesmo limite político e ocorrerem concomitantemente, os processos de *desmatamento* e *expansão urbana* são dissociados no espaço geográfico. Outra característica que torna São Felix do Xingu e Novo Progresso casos particulares,

reside em suas significativas extensões territoriais. Ao se utilizar a sede de município como ponto inicial para a GWR, toda a diversidade de dinâmicas que ocorre ao longo da extensão municipal não será bem representada. Desta forma, municípios vizinhos, cujas sedes estejam mais próximas terão maior peso de influência nos resultados observados. O uso de centro de massa para o município (centroide) também não daria conta destes efeitos, uma vez que o processo de *urbanização* é muito concentrado nas sedes, e assim, também não representaria corretamente o fenômeno no espaço.

Figura 5.10 - Resultados do modelo  $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$  da Regressão Geograficamente Ponderada na resolução municipal.



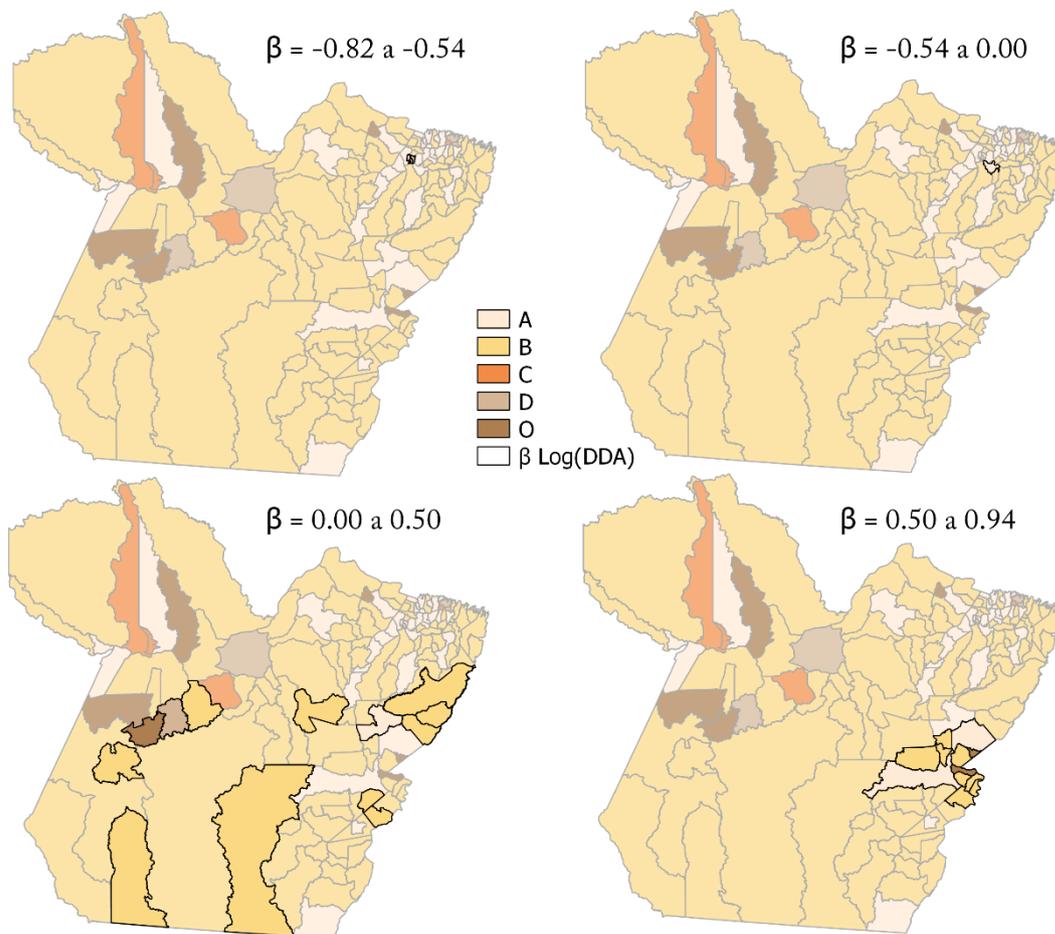
(a) Conjunto amostral – sedes municipais: I – Mesorregião do Baixo Amazonas, II – Mesorregião do Sudoeste Paraense, III – Mesorregião do Sudeste Paraense, IV – Mesorregião do Nordeste Paraense, V – Mesorregião Metropolitana de Belém, VI – Mesorregião do Marajó; (b)  $R^2$  local; (c) Coeficiente angular; (d) Intercepto; n/s – não significativo.

Fonte: Produção da autora.

Ao analisar a sobreposição dos resultados das duas etapas – Etapa 1 e Etapa 2, observam-se diferentes regimes espaciais associados aos agrupamentos obtidos pelas diferentes

técnicas de análise (Figura 5.11). E ainda, é possível observar a diversidade de padrões simplificados do *grau de urbanização* e *desmatamento* – obtidos a partir dos resultados da Etapa 1- contidos em um regime espacial identificado pela GWR (Figura 5.11).

Figura 5.11 - Padrões simplificados da relação entre GU e *desmatamento* (A a Outros), e coeficientes angulares ( $\beta$ ) da regressão espacial  $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$  por intervalos do coeficiente.



Fonte: Produção da autora.

Os doze municípios do grupo em que o coeficiente angular varia entre 0.50 e 0.94, considerado o grupo de municípios com o melhor ajuste entre as variáveis, obteve três diferentes tipologias quanto a relação do *desmatamento* e o *grau de urbanização* (A, B e O). Ainda que tenha se considerado a mesma dimensão (populacional) de *expansão urbana* (*grau de urbanização* e diferença de *população urbana*) em função do *desmatamento* (*incremento* e diferença de *desmatamento acumulado*) e a mesma resolução de análise (municípios), as diferentes técnicas proveram resultados distintos da

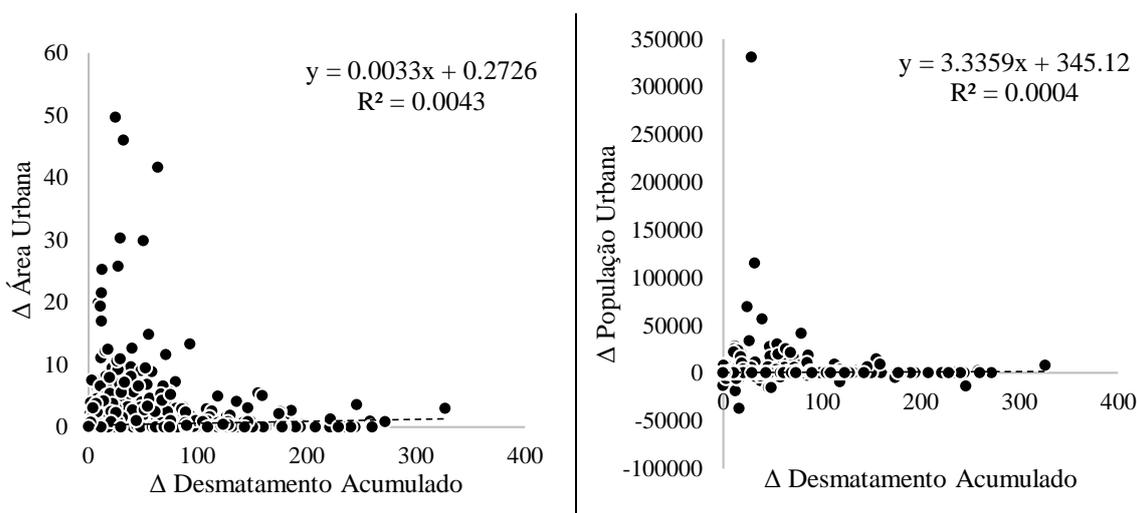
relação entre as variáveis e indicam a importância da contextualização dos resultados de acordo com a técnica, escala e base de dados utilizadas.

### 5.2.2. A Célula como Unidade Espacial de Referência

Antes de apresentar os resultados obtidos nas regressões lineares não-espaciais, ressaltase que foram utilizadas as mesmas bases de dados agregados em grade celular de 20x20km, onde células com valores atípicos foram retiradas do conjunto amostral.

A análise da relação entre as variáveis feita a partir dos diagramas de dispersão, no contexto bivariado (Figura 5.12), foi capaz de mostrar que não há significativa correlação entre as variáveis também na resolução celular. Dado este resultado, gerou-se os mapas de autocorrelação local (LISA) (Figura F.1) para investigação da contribuição da componente espacial para a relação entre os processos. Para estes mapas, foram observados padrões de associação espacial local, indicando unidades que possuem comportamentos semelhantes, estabelecendo aglomerados uniformes.

Figura 5.12 - Diagrama de dispersão das variáveis DAU ( $\Delta$  Área Urbana) e DPU ( $\Delta$  População Urbana) em função da variável DDA ( $\Delta$  Desmatamento Acumulado) na resolução celular.



Fonte: Produção da autora.

Os resultados obtidos pela regressão linear não-espacial indicaram que segundo o teste de I de Moran e análise de pseudo-significância (999 permutações), os resíduos do modelo de *área urbana* ( $DAU = f DDA$ ) para as unidades celulares apresentam baixa

dependência espacial, contudo, o valor é significativo. O modelo rejeita a hipótese nula de normalidade dos resíduos (Jarque-Bera). A hipótese de homocedasticidade é rejeitada pelo teste Breusch-Pagan e aceita pelo teste Koenker-Basset. Por não atender aos pressupostos de linearidade, os resultados dos parâmetros podem ser considerados inconsistentes.

De modo antagônico, no modelo de *população urbana* ( $DPU = f DDA$ ), o teste I de Moran com a análise da pseudo-significância aceitou a hipótese nula de independência espacial nos resíduos, não apresentando significativo valor de I de Moran. A hipótese de homocedasticidade é rejeitada pelo teste Breusch-Pagan e aceita pelo teste Koenker-Basset. A hipótese de normalidade, avaliada pelo teste Jarque-Bera, é rejeitada, por isso, os resultados do modelo também podem ser considerados inconsistentes. A Tabela 5.8 resume os resultados dos modelos  $DAU = f DDA$  (Equação 4.5) e  $DPU = f DDA$  (Equação 4.6) para as unidades celulares.

Tabela 5.8 - Principais resultados das regressões não-espaciais e análise gráfica dos resíduos na resolução celular.

			Previsto vs Estimado	Scatterplot de Moran
<b>DAU = f DDA (k = 2)</b>	R <sup>2</sup> ajust.	0.001		
	Akaike	10011.7		
	$\beta$	0.0015		
	Jarque-Bera	p<0.01		
	Breusch-Pagan	p<0.01		
	Koenker-Basset	p>0.01		
	Moran	0.19		
<b>DPU = f DDA (k = 8)</b>	R <sup>2</sup> ajust.	0		
	Akaike	47841.4		
	$\beta$	1.7031		
	Jarque-Bera	p<0.01		
	Breusch-Pagan	p<0.01		
	Koenker-Basset	p>0.01		
	Moran	-0.01		

Fonte: Produção da autora.

Para ambos os modelos a análise gráfica dos resíduos - diagrama de dispersão e histograma - confirma os resultados das estatísticas e verificou-se valores irrisórios de coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  ajust.), o que indica que a variável independente (DDA) não contribui sobre as variáveis dependentes (DAU e DPU). Além disso, foi observada a não-linearidade dos resíduos, comprometendo, desta forma, a análise dos resultados. Por conta disso, assim como para a escala municipal, procedeu-se a linearização do modelo por meio de transformação logarítmica das variáveis. Como anteriormente descrito, a logaritmização é útil estritamente a valores positivos, com isso, células que apresentaram valores negativos – ou iguais a zero – nas variáveis foram retiradas do conjunto amostral.

Pôde-se verificar a partir da análise dos resultados obtidos que, segundo o teste de I de Moran e análise de pseudo-significância (999 permutações), os resíduos do modelo de *área urbana* transformado  $\text{Log}(\text{DAU}) = f \text{Log}(\text{DDA})$  (Equação 5.1) apresentam baixo valor do índice de dependência espacial, porém, com significância. O modelo aceita a hipótese nula de homocedasticidade (Breusch-Pagan e Koenker-Basset) dos resíduos, e rejeita a de normalidade (Jarque-Bera). No entanto, o histograma de distribuição de probabilidades (Figura G.1) se aproxima de uma curva gaussiana e com isso, pode-se considerar que os resíduos do modelo são aproximadamente normais e os parâmetros estimados são consistentes.

Em relação ao modelo de *população urbana* transformado  $\text{Log}(\text{DPU}) = f \text{Log}(\text{DDA})$  (Equação 5.2), o teste de I de Moran com a análise de pseudo-significância não identificou a presença de dependência espacial nos resíduos, aceitando a hipótese nula de independência espacial. Em contraponto, o modelo rejeita a hipótese de normalidade com base no teste Jarque-Bera. No entanto, a hipótese é aceita a partir da análise do histograma de distribuição de probabilidades (Figura G.2). A hipótese de homocedasticidade é rejeitada pelo teste Breusch-Pagan, contudo, aceita pelo teste Koenker-Basset. Por isso, seus resultados também podem ser considerados consistentes.

A análise gráfica do índice de Moran mostra que, de forma geral, os resíduos estão bem distribuídos entre os quadrantes, com leve tendência à aglomeração dos tipos Alto-Alto ou Baixo-Baixo, indicando baixa autocorrelação espacial nos dados. Em relação aos coeficientes de determinação ajustados ( $R^2$ ), ambos os modelos ainda apresentaram

baixos valores mesmo após as transformações das variáveis. A Tabela 5.9 resume os resultados dos modelos  $\text{Log(DAU)} = f \text{ Log(DDA)}$  (Equação 5.1) e  $\text{Log(DPU)} = f \text{ Log(DDA)}$  (Equação 5.2) para as unidades celulares.

Tabela 5.9 - Principais resultados das regressões não-espaciais e análise gráfica dos resíduos para as variáveis logarítmicas na resolução celular.

			Previsto vs Estimado	Scatterplot de Moran
<b>Log(DAU) = f Log(DDA)</b> (k = 2)	R <sup>2</sup> ajust.	0.03		
	Akaike	1312.19		
	$\beta$	0.238		
	Jarque-Bera	p<0.01		
	Breusch-Pagan	p>0.01		
	Koenker-Basset	p>0.01		
	Moran	0.11		
<b>Log(DPU) = f Log(DDA)</b> (k = 4)	R <sup>2</sup> ajust.	0.03		
	Akaike	450.82		
	$\beta$	0.289		
	Jarque-Bera	p<0.01		
	Breusch-Pagan	p<0.01		
	Koenker-Basset	p>0.01		
	Moran	0.08		

Fonte: Produção da autora.

Apesar de não ter sido detectada significativa estrutura de autocorrelação espacial nos resíduos dos modelos de regressão, assim como para a resolução municipal, a discussão da heterogeneidade espacial dos fenômenos e detecção de pequenos agrupamentos de dependência espacial local por meio do LISA Map (Figura F.1 e Figura H.1) motivam a aplicação da regressão espacial local (GWR). Espera-se obter como resultado a identificação dos diversos padrões de correlação das variáveis que permitam a observação mais detalhada da evolução espaço-temporal dos fenômenos. Os resultados gerais da GWR são descritos na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Principais resultados dos modelos de regressão espacial local para a resolução celular.

	<b>Log(DAU) = f Log(DDA)</b>	<b>Log(DPU) = f Log(DDA)</b>
R <sup>2</sup> Ajust.	0.16	0.17
Akaike	1251.38	428.38
α (mediana)	-0.33	3.12
B (mediana)	0.14	0.18

Fonte: Produção da autora.

Os resultados globais de ajuste geral das variáveis dos modelos GWR para as células (Tabela 5.10) apresentaram valores baixos de coeficientes de determinação, indicando que também para unidades mais finas a influência do *desmatamento* (Log(DDA)) sob a dinâmica de *expansão urbana* (Log(DAU) e Log(DPU)) é pequena. O *desmatamento* é capaz de explicar cerca de 17% da dinâmica de *população urbana* e 16% da dinâmica de expansão de *área urbana*. Destas porcentagens, 26% das unidades válidas são significativas para o modelo de *população urbana* (Log(DPU) = f Log(DDA)) e 33% são significativas para o modelo de *área urbana* (Log(DAU) = f Log(DDA)). Os valores de R<sup>2</sup> ajustado e Akaike indicam que o modelo de *população urbana* (Log(DPU) = f Log(DDA)) apresenta um ajuste melhor em relação à variável independente (Log(DDA)) para esta unidade de análise.

Os coeficientes angulares locais, nas células estatisticamente significativas, obtidos do modelo de *área urbana* (Log(DAU) = f Log(DDA)) (Figura 5.13c) mantiveram o mesmo sinal da regressão linear não-espacial, com diferentes intensidades em diferentes porções do espaço. O intercepto tem significância estatística em aproximadamente metade do conjunto amostral de células, demonstrando que assim como existem áreas que os valores da variável Log(DAU) derivam da variável Log(DDA), em outras, ela se manifesta de forma independente.

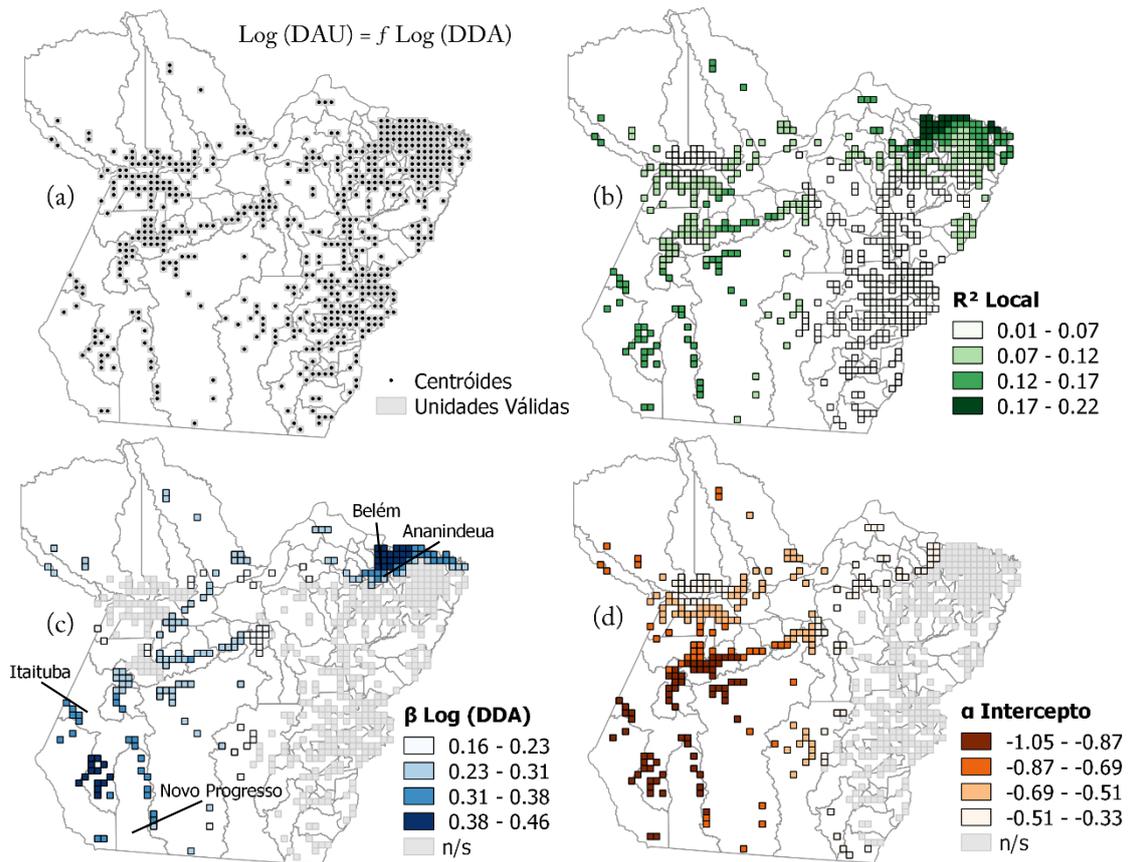
O modelo Log(DAU) = f Log(DDA) foi estatisticamente significativo para células nos eixos de grandes rodovias (BR-163 e BR-230). Este resultado captura a relação entre o desmatamento que ocorre ao longo das vias de circulação e expansão de assentamentos humanos nestes áreas. Além disso, o resultado do modelo destaca duas principais áreas pelos valores mais altos do coeficiente angular, ou seja, áreas onde o *desmatamento* dos

vizinhos contribui mais para a *expansão urbana*, medida pela *área urbana*. Essas áreas estão localizadas na Região Metropolitana de Belém (RMB) e na parte sul de Itaituba. A RMB apresenta células, próximas às sedes municipais de Belém e Ananindeua, com valores médios-altos de variação de *área urbana* (DAU) no período e baixos valores de variação do *desmatamento acumulado* (DDA) no entorno (Figura B.1 e Figura B.3). De modo semelhante, Itaituba apresentou médios valores de *desmatamento* no entorno, principalmente nas áreas próximas a Novo Progresso, e baixos valores de variação de *área urbana* (DAU) (Figura B.1). Deste modo, para estas células, os valores dos parâmetros não correspondem ao esperado. Este resultado pode estar relacionado à influência de efeitos espaciais dos vizinhos não contíguos, que apesar de espacialmente afastados, contribuem nos resultados dos parâmetros pela ponderação do modelo espacial.

Outro destaque foram as células localizadas no município de Novo Progresso, que apresentaram coeficiente angular e de determinação com valores médios a altos (Figura 5.13b - c). O resultado dos parâmetros conseguiu refletir o esperado à medida que para as áreas onde as células significativas estão localizadas no município, o alto *desmatamento* (DDA), no período de 2000 a 2014, do entorno contribui para a expressiva variação da *área urbana* (DAU) na região (Figura B.1).

Os valores dos coeficientes de determinação variaram entre 0.01 e 0.22. Este resultado indica que, ainda que presente, de modo geral nesta resolução, o *desmatamento* (Log(DDA)) contribui pouco para a dinâmica de *área urbana* (Log(DAU)) (Figura 5.13b) mesmo ao se considerar estruturas de associação espacial.

Figura 5.13 – Resultados do modelo  $\text{Log(DAU)} = f \text{Log(DDA)}$  da Regressão Geograficamente Ponderada na resolução celular.



(a) Conjunto amostral; (b)  $R^2$  local; (c) Coeficiente angular; (d) Intercepto; n/s – não significativo.

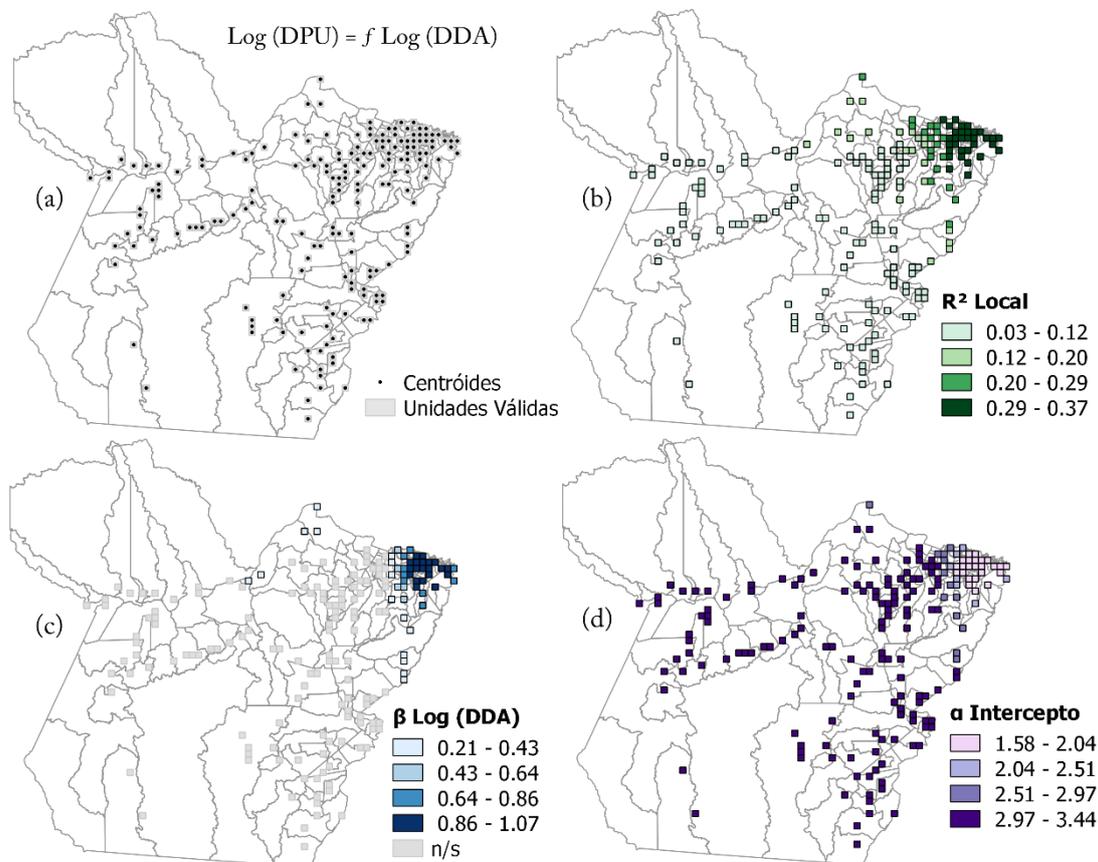
Fonte: Produção da autora.

Em relação ao modelo de *população urbana* ( $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$ ), os coeficientes angulares, nas células estatisticamente significativas, também mantiveram o mesmo sinal da regressão linear não-espacial (5.14c). O intercepto é estatisticamente significativo em toda a área de estudo, o que significa que a variação da *população urbana* ( $\text{Log(DPU)}$ ) se manifesta de forma independente do efeito da variação do *desmatamento acumulado* ( $\text{Log(DDA)}$ ) (Figura 5.14d).

Dos resultados do modelo  $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$  destaca-se um grupo de células no Nordeste Paraense. Esta região pouco se destaca do contexto geral quanto à variação da *população urbana* (DPU) no período (Figura B.2). De forma análoga, por se tratar de uma área intensamente desmatada no passado e com poucos remanescentes florestais, a variação do *desmatamento acumulado* (DDA) na área, e seu entorno, é diminuta (Figura

B.3). Estas características particulares respondem pela significância estatística dos coeficientes angulares da GWR nesta região (Figura 5.14c).

Figura 5.14 – Resultados do modelo  $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$  da Regressão Geograficamente Ponderada na resolução celular.



(a) Conjunto amostral; (b)  $R^2$  local; (c) Coeficiente angular; (d) Intercepto; n/s – não significativo.

Fonte: Produção da autora.

Para o coeficiente de determinação, grande parte das células estatisticamente significativas apresentou baixo a médio valor de  $R^2$  ajustado (0.2 a 0.4), o que significa que, ainda que presente, de modo geral nesta resolução, a variação do *desmatamento acumulado* ( $\text{Log(DDA)}$ ) tem pouca contribuição no aumento da *população urbana* ( $\text{Log(DPU)}$ ) (Figura 5.14b).

A análise espacial a partir da técnica GWR buscou explorar localmente a dinâmica bivariada dos processos representados pelos modelos propostos. Os padrões observados representam as estruturas espaciais locais de relação entre as dinâmicas das variáveis.

Ambos os modelos -  $\text{Log(DAU)} = f \text{ Log(DDA)}$  e  $\text{Log(DPU)} = f \text{ Log(DDA)}$  - apresentaram baixos valores de  $R^2$ , global e localmente, para as duas unidades espaciais utilizadas na análise, indicando a baixa capacidade explicativa do *desmatamento* em função da *expansão urbana* – populacional e territorial – mesmo ao se considerar estruturas de dependência espacial.

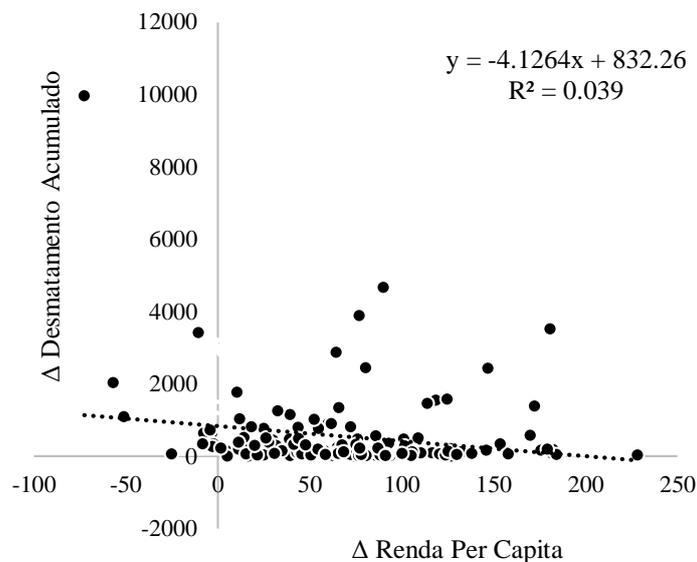
### **5.3. Etapa 3: Degradação Ambiental versus Desenvolvimento Socioeconômico: Curvas Ambientais de Kuznets na Investigação da Relação Urbanização- Conversão Florestal**

Nesta etapa buscou-se investigar padrões de associação espacial entre a *degradação ambiental*, medida pelo *desmatamento*, e o *desenvolvimento socioeconômico*, representando uma dimensão do processo de *expansão urbana*. Para esta associação, gerou-se uma tipologia desta relação baseada na abordagem teórico-conceitual que dá origem a Curva Ambiental de Kuznets (EKC) (GROSSMAN e KRUEGER, 1991, 1995). Nesta etapa analisou-se, na escala do estado do Pará, apenas os municípios como unidade espacial de referência para a análise.

#### **5.3.1. O Município como Unidade Espacial de Referência**

Para a verificação inicial da hipótese de não-estacionariedade na dinâmica entre as variáveis, o diagrama de dispersão entre X ( $\Delta$  Renda *Per Capita*) versus Y ( $\Delta$  *Desmatamento Acumulado*) foi produzido (Figura 5.15). Nesta análise inicial não foi significativa a correlação entre os processos. Dado este resultado, verificou-se a necessidade de investigar a contribuição da componente espacial para compreensão dos processos em análise.

Figura 5.15 - Diagrama de dispersão da variável DDA ( $\Delta$  Desmatamento Acumulado) em função da variável DREN ( $\Delta$  Renda *Per Capita*).



Fonte: Produção da autora.

Além do diagrama de dispersão, um mapa de autocorrelação espacial local (LISA) bivariado (DDA/DREN) foi gerado para que fossem identificados padrões de dependência espacial local (Figura I.1). Para este mapa, foram observados padrões de associação espacial, dando destaque à região central do sudoeste paraense, abrangendo os municípios de Placas, Uruará, Medicilândia, Altamira e outros, que apresentou padrão de associação do tipo Baixo-Baixo, ou seja, nesta região, os municípios com baixos valores de variação da renda *per capita* são vizinhos de municípios com baixo *desmatamento* no período analisado.

Em seguida, o modelo de regressão não-espacial possibilitou a observação quantitativa da necessidade de se considerar o atributo espacial na observação da relação entre o *desmatamento* e o *desenvolvimento socioeconômico*. Para o modelo multivariado não-espacial  $DDA = f DREN + DREN^2 + DREN^3 + z$  (Equação 4.12), o teste I de Moran com a análise da pseudo-significância (999 permutações) obteve baixo valor do I, no entanto, estatisticamente significativo, rejeitando a hipótese de independência espacial dos resíduos. A hipótese de homocedasticidade foi aceita pelo teste Koenker-Basset, no entanto a de normalidade foi rejeitada, e, por isso, seus resultados podem ser considerados inconsistentes. Os resultados da regressão não-espacial são resumidos na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 - Principais resultados da regressão não-espacial e análise gráfica dos resíduos.

$DDA = f DREN + DREN^2 + DREN^3 + z$ (k = 2)			Previsto vs Estimado	Scatterplot de Moran
	R <sup>2</sup> ajust.	0.35		
	Akaike	2365.19		
	Jarque-Bera	p<0.01		
	Breusch-Pagan	p<0.01		
	Koenker-Basset	p>0.01		
Moran	0.26			

Fonte: Produção da autora.

Conforme visto anteriormente, transformações logarítmicas dão conta de ajustar as probabilidades a uma curva gaussiana e obter resultados consistentes ao se tratar dados prioritariamente positivos (PINO, 2014). Com base nisso, a transformação *log* foi aplicada ao modelo ( $DDA \sim DREN + DREN^2 + DREN^3 + z$ ). Os municípios que apresentaram valores negativos, ou iguais a zero, das variáveis foram retirados do conjunto de dados para teste dos modelos linearizados.

O modelo de regressão com as variáveis transformadas que descreve a relação entre o *desmatamento* e as variáveis socioeconômicas  $\text{Log}(DDA) = f DREN + DREN^2 + DREN^3 + z$  (Equação 5.3) teve o município de Santa Cruz do Arari retirado do conjunto por apresentar variação do *desmatamento* no período igual a 0 (zero). A função matemática que descreve o modelo transformado é:

$$\text{Log}(DDA) = \beta_0 + \beta_1 DREN + \beta_2 DREN^2 + \beta_3 DREN^3 + z\alpha + \varepsilon \quad (5.3)$$

onde, *DDA* é a diferença de desmatamento acumulado, *DREN* é a diferença da renda *per capita* e o vetor **z** representa as variáveis socioeconômicas complementares.

Os resultados do modelo  $\text{Log}(DDA) = f DREN + DREN^2 + DREN^3 + z$  mostram que o teste de I de Moran com a análise de pseudo-significância (999 permutações) verificou a presença de dependência espacial nos resíduos estatisticamente significativa. O modelo aceita as hipóteses nulas de homocedasticidade e normalidade pelos testes estatísticos

(Tabela 5.12), validados pelo diagrama de dispersão (*scatterplot*) dos resíduos e histograma da distribuição de probabilidade. A relação entre *desmatamento* (Log(DDA)) e renda *per capita* municipal é significativa e negativa para sua forma original (DREN), sendo identificada, nos termos da EKC, relação monotônica decrescente com a variável dependente (Log(DDA)). Em relação às variáveis complementares, a diferença da porcentagem de empregados com carteira (DPEMPC), diferença da porcentagem dos ocupados no setor de serviços (DTSERV) e diferença da porcentagem da população com coleta de lixo (DPPCL) têm relação significativa com o *desmatamento* (Log(DDA)), sendo positiva para DPEMPC e DTSERV e negativa para DPPCL (Tabela J.1).

Tabela 5.12 - Principais resultados da regressão não-espacial para a variável dependente transformada e análise gráfica dos resíduos.

			Previsto vs Estimado	Scatterplot de Moran
$\text{Log(DDA)} = f \text{ DREN} + \text{DREN}^2 + \text{DREN}^3 + \mathbf{z}$	R <sup>2</sup> ajust.	0.19		
	Akaike	257.77		
	Jarque-Bera	p>0.01		
	Breusch-Pagan	p>0.01		
	Koenker-Basset	p>0.01		
	Moran	0.33		

Fonte: produção da autora.

Foi identificada estrutura de autocorrelação espacial estatisticamente significativa para o modelo  $\text{Log(DDA)} = f \text{ DREN} + \text{DREN}^2 + \text{DREN}^3 + \mathbf{z}$ , sendo recomendada a aplicação de técnicas de análise espacial para o estudo da relação entre as variáveis. Além do diagnóstico geral de autocorrelação espacial dado pelo índice I de Moran e análise de permutações, agrupamentos de dependência espacial local foram identificados pelo LISA Map (Figura K.1). Com isso, a GWR foi aplicada aos dados para que fosse revelada, de forma exploratória, a variabilidade espacial dos padrões de associação entre as variáveis.

As especificações gerais para calibração do modelo espacial local foram as mesmas utilizadas na etapa anterior (Etapa 2), ou seja: modelo gaussiano, função *kernel* adaptativo

e critério automático de seleção de banda. Os resultados gerais da GWR são descritos na Tabela 5.13.

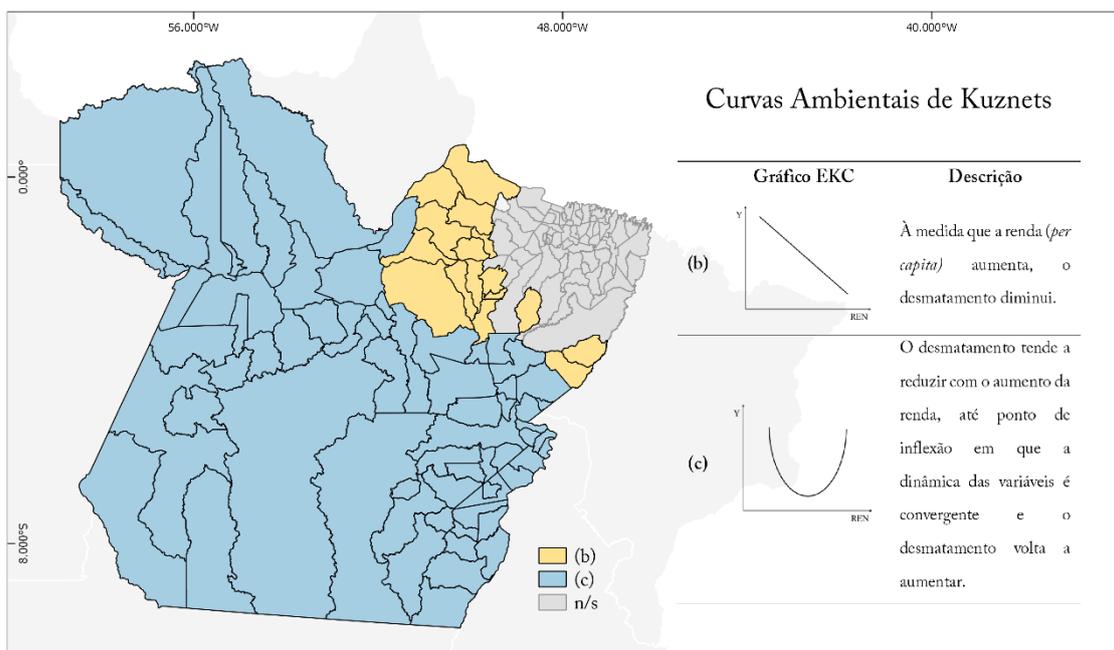
Tabela 5.13 - Principais resultados do modelo de regressão espacial local (GWR).

<b><math>\text{Log(DDA)} = f \text{ DREN} + \text{DREN}^2 + \text{DREN}^3 + z</math></b>	
R <sup>2</sup> Ajust.	0.42
Akaike	188.95

Fonte: Produção da autora.

Em virtude do grande número de resultados, os parâmetros locais estimados pelo modelo GWR são apresentados na forma de mapas. A Figura 5.16 apresenta o mapa da relação do *desmatamento* ( $\text{Log(DDA)}$ ) em função da renda *per capita* (DREN, DREN<sup>2</sup> e DREN<sup>3</sup>) para identificação das formas de EKC representativas desta relação. Ressalta-se que dos resultados obtidos apenas foram considerados os parâmetros estatisticamente significativos a 95% de confiança (+/- 1.96 – estatística t).

Figura 5.16 – Mapa de coeficientes locais da EKC e seus padrões observados.



n/s – não significativo.

Fonte: Produção da autora.

A relação entre a variação do *desmatamento acumulado* ( $\text{Log(DDA)}$ ) entre 2000 e 2010 e a variação da renda *per capita* (DREN, DREN<sup>2</sup>, DREN<sup>3</sup>), no mesmo período, não é

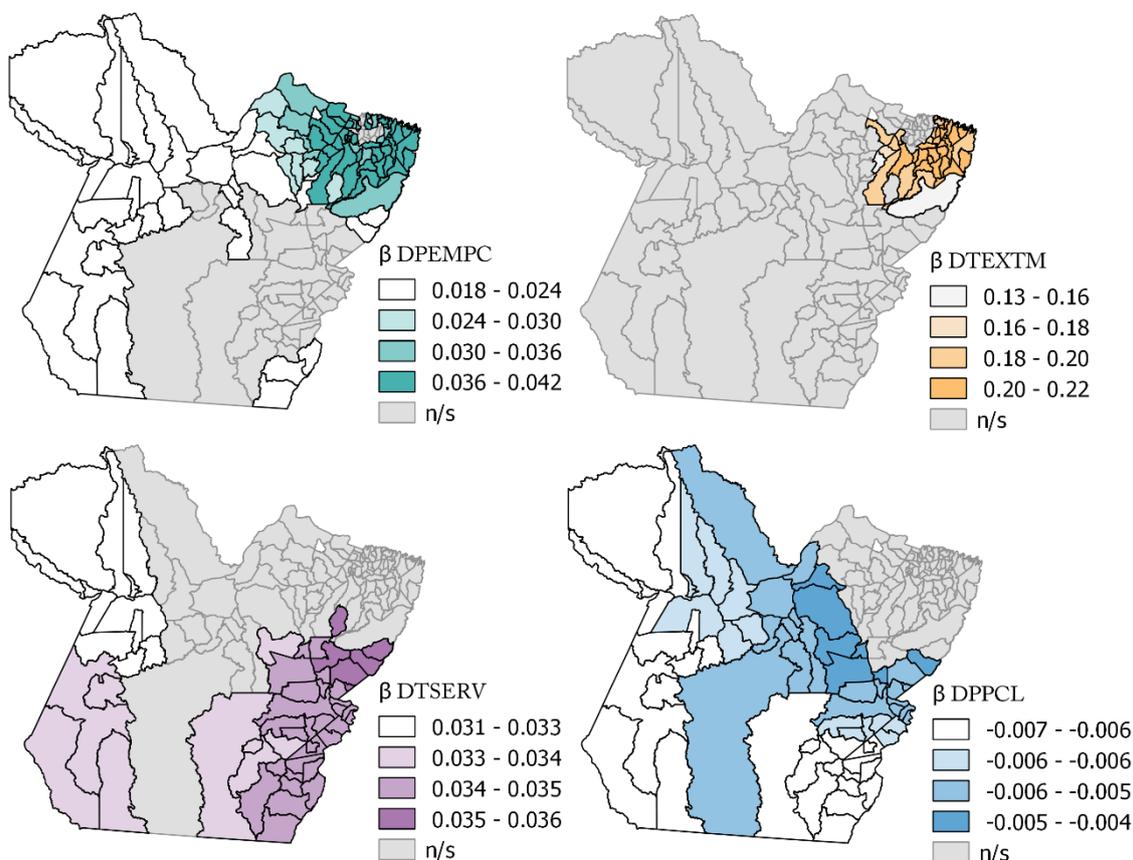
significativa para a região nordeste do Pará. Os municípios nesta área fazem parte, ou sofrem influência, da Região Metropolitana de Belém (RMB), caracterizada pela concentração de infraestruturas urbanas com consequentes maiores valores dos índices socioeconômicos. Ao mesmo tempo, é identificada por seus baixos valores de *desmatamento*, decorrente da escassez de recursos florestais na região. Neste sentido, ao se incluir os efeitos espaciais da relação entre as variáveis, esta área não é estatisticamente significativa.

Em todos os outros municípios, duas formas de EKC foram observadas. Nos municípios imediatamente ao redor da área não significativa (RMB e entorno), há o predomínio da forma monotônica decrescente da EKC, enquanto, no restante dos municípios, prevalece a forma de “U” (Figura 5.16). Estas duas formas são interpretadas como: para o formato monotônico decrescente, à medida que a renda *per capita* aumenta, o *desmatamento* diminui; e, para o formato em “U”, o aumento inicial da renda *per capita* gera a redução do *desmatamento*, até um ponto de inflexão que define a mudança de relação entre as variáveis, e, a partir dele, à medida que a renda aumenta o *desmatamento* é convergente e também se eleva. O padrão prioritário em forma de “U” pode estar relacionado com a própria natureza da variável renda *per capita*, que se encontra associada à integração de todos os valores produzidos pelas atividades econômicas exercidas no município. No caso do Pará, quando tem como principal componente em sua formação, em particular, a economia ligada ao setor agropecuário, é este setor que responde por grande parte do *desmatamento* na região Amazônica como um todo. Desta forma, municípios com valores de renda *per capita* mais altos apontam atividades de *desmatamento* ativas para o mesmo período, uma vez que a economia que gerava esta renda necessitou de *conversão florestal*.

Em relação às variáveis socioeconômicas complementares (Figura 5.17), a diferença da porcentagem de empregados com carteira entre 2000 e 2010 (DPEMPC), a diferença da porcentagem de ocupados no setor extrativo mineral (DTEXTM), a diferença da porcentagem de ocupados no setor de serviços (DTSERV) se relacionam positivamente com a variação do *desmatamento acumulado* (Log(DDA)) em todos os municípios em que o coeficiente angular é significativo. Por sua vez, a diferença da porcentagem da população com coleta de lixo (DPPCL) estabelece relação negativa com a variação do

*desmatamento* (DDA) no período. Estes resultados relevam padrões espaço-temporais de desmatamento e transformações socioeconômicas associadas à expansão urbana.

Figura 5.17 – Mapas dos coeficientes locais das variáveis complementares significativas.



DPEMPC - diferença da porcentagem de empregados com carteira; DTEXTM - diferença da porcentagem de ocupados no setor extrativo mineral; DTSERV - diferença da porcentagem de ocupados no setor de serviços; DPPCL - diferença da porcentagem da população com coleta de lixo.

Fonte: Produção da autora.

A variação espacial dos coeficientes locais das variáveis complementares (DPEMPC, DTEXTM, DTSERV e DPPCL) em função da atividade de *desmatamento* ( $\text{Log}(\text{DDA})$ ) deve ser explicada não pela contribuição direta destas variáveis para a *conversão florestal*, mas sim, por refletir uma síntese do perfil socioeconômico, e de desenvolvimento urbano, variável de acordo com o padrão de evolução do *desmatamento*. A renda *per capita* (DREN,  $\text{DREN}^2$  e  $\text{DREN}^3$ ) captura as atividades econômicas subjacentes ao PIB municipal e estas atividades geram efeito direto sobre a renda e variáveis complementares, que são utilizadas para observar o *desenvolvimento socioeconômico* ligado à infraestrutura, e, portanto, à *urbanização*.

Os resultados dos parâmetros locais sugerem que a relação entre o *desmatamento*, e o *desenvolvimento socioeconômico*, representando a dimensão socioeconômica da *expansão urbana*, apresentam baixa correlação global e se manifesta de forma desigual no espaço. Este resultado indica que, apesar de observado um padrão geral que descreve a relação entre o *desmatamento* e a *renda* (formato em “U” da EKC), as variáveis complementares expressam a variabilidade espacial dos perfis socioeconômicos municipais, ou precariedades dos territórios urbanos, e reforçam a importância metodológica das múltiplas escalas de análise para observação das dinâmicas de *urbanização e conversão florestal*.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONTRIBUIÇÕES

O estudo da evolução dos processos de *urbanização* e *conversão florestal* na primeira etapa do trabalho (Etapa 1), por estados na Amazônia Legal e municípios do Pará, ao invés de tendências e padrões lineares claros e definidos, propõe questionamentos acerca da evolução destes processos no tempo e espaço, assim como os contextos históricos e fatores socioeconômicos subjacentes.

Os diferentes padrões de evolução das variáveis evidenciaram as particularidades regionais e ressaltaram a importância do recorte espaço-temporal para interpretação da realidade amazônica. Para os nove estados da Amazônia Legal e os 143 municípios do Pará, a evolução dos processos de *conversão florestal* e *urbanização*, mediados pelo *desmatamento* e *expansão urbana*, apresentou diferentes comportamentos. Os padrões de evolução da *taxa de desmatamento*, *incremento de desmatamento* e *grau de urbanização* discriminaram sete grupos na escala estadual e onze grupos na escala municipal. O padrão observado para o estado do Pará na resolução estadual foi replicado em 35% dos municípios do estado na resolução municipal. Os outros municípios apresentaram padrões diversificados que não refletem o observado para o agregado por UF. Estas diferenças destacam a variedade de formas de coocorrência ou concordância destes processos e mostram que, mesmo inseridos em contextos histórico-geográfico semelhantes, há fatores e agentes diversos atuando nas dinâmicas de *urbanização* e *conversão florestal*, resultando em respostas heterogêneas na evolução das variáveis, que não podem ser reduzidos a uma única escala de análise, assim como a uma única causa ou fator.

Desta forma, na primeira etapa do trabalho (Etapa 1), a partir da análise das tendências gerais de evolução das variáveis, pôde-se observar os diferentes padrões de relação entre os processos de *desmatamento* e *expansão urbana*, como elementos observáveis da *urbanização* e *conversão florestal*, assim como a importância da escala de observação para compreender processos heterogêneos no tempo e espaço, e complexos em relação aos agentes e fatores subjacentes.

A análise de associação espacial da *urbanização* e *conversão florestal*, mostrou que ambos os modelos, considerando a relação de *desmatamento* com *área urbana* ou *população urbana*, apresentaram baixos valores de coeficiente de determinação, global e

localmente, em ambas as unidades espaciais, indicando a baixa capacidade explicativa do *desmatamento* para a *expansão urbana* – populacional e territorial. Em suma, tanto os modelos globais (não espaciais) quanto os locais (espaciais) apontaram a baixa contribuição do processo de *conversão florestal* sob o processo de *urbanização*.

Na resolução municipal, mesmo entre municípios contíguos e com semelhanças em seus históricos de ocupação, as distintas dinâmicas mais recentes (2000 a 2014) de *desmatamento* e *expansão urbana* resultaram em poucas relações significativas de associação espacial. Na resolução celular, ao se analisar unidades espaciais dissociadas de limites político-administrativos, observou-se a descontinuidade espacial dos processos de *desmatamento* e *expansão urbana*, que apesar de concomitantes, ocorrem em diferentes lugares dentro do município. Essas diferenças espaciais reforçam a compreensão desta relação como indireta e não causal. Além disso, comparando-se os resultados das regressões espaciais, as diferenças nas estruturas de associação espacial entre as unidades, conforme a mudança de resolução, indicam que os processos interagem de formas distintas em diferentes recortes territoriais.

Com isso, na segunda etapa do trabalho (Etapa 2), o uso de modelos GWR destacou características importantes dos processos que não puderam ser capturadas pelas regressões não-espaciais. Os efeitos locais estatisticamente significativos mostraram a variabilidade da relação entre as variáveis, relações de vizinhança e a importância da escala para detectar esses padrões, ou seja, nuances que não são retratadas ao usar um modelo global como métrica de correlação. Desta forma, os resultados dos modelos espaciais locais, em ambos as resoluções, mesmo que em áreas restritas, permitiram explorar os efeitos espaciais da relação entre as variáveis.

A análise da relação *urbanização-conversão florestal* permitiu, à luz da teoria da Curva Ambiental Kuznets (EKC), identificar padrões de relação entre o *desmatamento* e o perfil de *desenvolvimento socioeconômico* dos municípios do estado Pará. Para esta escala foram observados dois formatos da EKC – monotônica decrescente e “U” – que descreveram as formas de relação entre os processos de *desmatamento* e *expansão urbana*, tendo o *desenvolvimento socioeconômico* como dimensão de análise. Além disso, as variáveis socioeconômicas complementares significativas foram identificadas, seus parâmetros locais especializados e, a partir destes mapas, foi possível observar a

variabilidade espacial dos fatores socioeconômicos em função da dinâmica de *desmatamento* municipal.

Por fim, na terceira etapa do trabalho (Etapa 3), o uso de modelos GWR para mapear a relação entre o processo de *desmatamento* e a dimensão socioeconômica do processo de *expansão urbana*, e identificar tipologias com base na teoria da Curva Ambiental de Kuznets (EKC), auxiliou na observação das formas de relação entre o *desmatamento* e os diferentes perfis de *desenvolvimento socioeconômico*, e mostraram que, de modo geral, no contexto da Amazônia paraense, o *desmatamento* e a renda tendem à convergência em cenários economia consolidada.

Os diferentes padrões de evolução e agrupamentos das unidades de análise, resultantes das três etapas metodológicas (análise de tendências, regressões espaciais e EKC) mostraram que a relação *urbanização-conversão florestal*, mediada por seus elementos observáveis *desmatamento* e *expansão urbana*, foi sensível à escala, abordagem e dados mediadores. Assim, ressalta-se a importância de adequar os recortes metodológicos ao se buscar interpretar quanti-qualitativamente a interação entre processos que dependem de agentes e fatores operando em múltiplos níveis e escalas. Estes apontamentos enriquecem a discussão sobre a heterogeneidade da relação entre a *urbanização* e a *conversão florestal* na Amazônia, discutida na literatura. Assim como retoma à discussão da *urbanização* como uma questão emergente na Amazônia, conforme delineado por Bertha Becker ao caracterizá-la como uma *floresta urbanizada*. Deste modo, pode-se afirmar que os processos de *urbanização* e aqueles de *conversão florestal* evoluem de formas distintas, certamente interligados, mas em graus e intensidades que se revelam ao longo do tempo, do espaço e das escalas de observação.

A proposta do presente trabalho de explorar as diferentes formas de relação e associação espacial entre a *urbanização* e a *conversão florestal* revelam o esforço para capturar todas as formas de relação entre os processos. Demonstrem ainda, a necessidade de estudo analítico dos fatores subjacentes – e imediatos - aos processos, assim como, a discussão mais aprofundada dos fatores históricos regionais que descrevem os padrões observados para as dinâmicas atuais. Com isso, para trabalhos futuros, recomenda-se, com o apoio da literatura e observações de campo, a discussão dos agentes e fatores associados aos

diferentes padrões de relação entre os processos de *urbanização* e *conversão florestal* na Amazônia brasileira.

Além disso, em vista da sensibilidade da abordagem metodológica adotada na Etapa 1 (análise de tendências gerais) em capturar diferentes padrões de relação entre os processos de *urbanização* e *conversão florestal*, sugere-se que a metodologia seja adaptada às diferentes dimensões da *urbanização* exploradas neste trabalho, considerando, por exemplo, a dimensão territorial (área urbana), e dimensão socioeconômica, a partir de um índice sintético que caracterize o perfil socioeconômico municipal. Esta abordagem permitirá uma análise geral dos padrões de relação entre os processos e contribuirá, de forma mais abrangente, para a discussão da diversidade destes padrões.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. Zoneamento ecológico e econômico da Amazônia: questões de escala e método. **Estudos Avançados**, v. 3, n. 5, p. 4–20, 1989.

AFFONSO, A. G.; ESCADA, M. I. S.; AMARAL, S.; SOUZA, A. R.; SIQUEIRA, J. M.; TORRES, N. C.; CAMILOTTI, V. L.; DAL'ASTA, A. P.; COSTA, L. C. O.; SOARES, F. R. **As comunidades ribeirinhas do Baixo Tapajós (PA): infraestrutura, mobilidade, serviços socioambientais e conectividade**. São José dos Campos: INPE, 2016. 150p. (Relatório de Campo).

AGUIAR, A.P. et al. Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: exploring intra-regional heterogeneity. **Ecological Modelling**, v. 209, p.169-188, 2007.

ALENCAR, A.; NEPSTAD, N; MCGRATH, D; MOUTINHO, P; PACHECO, P; DIAZ, M. D. C. V; SOARES FILHO, B. **Desmatamento na Amazônia: indo além da emergência crônica**. Manaus: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), 2004. 89 p.

ALMEIDA, C. A. et al. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. **Acta Amazonica**, v. 46, n. 3, p. 291–302, 2016.

ALVES, P. A.; AMARAL, S.; ESCADA, M. I. S.; MONTEIRO, A. M. V. Explorando as relações entre a dinâmica demográfica, estrutura econômica e mudanças no uso e cobertura da terra no sul do Pará: lições para o Distrito Florestal Sustentável da BR-163. **Geografia**, v. 35, n. 1, p. 165-182, 2010.

ALVES, P. A.; AMARAL, S.; MONTEIRO, A. M. V.; ESCADA, M. I. S. **Explorando as relações entre a dinâmica demográfica, estrutura econômica e mudanças no uso e cobertura da terra no sul do Pará**. São José dos Campos: INPE, 2008. 50p. (Relatório de Campo).

AMARAL, S. **Geoinformação para estudos demográficos: representação espacial de dados de população na Amazônia Brasileira**. Tese (Doutorado de Engenharia de Transporte) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

AMARAL, S.; CAMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Configurações espaciais do processo de desflorestamento da Amazônia**. São José dos Campos: INPE, Brasil, 2001.

AMARAL, S.; GAVLAK, A. A.; ESCADA, M. I. S.; MONTEIRO, A. M. V. Using remote sensing and census tract data to improve representation of population spatial distribution: case studies in the Brazilian Amazon. **Population and Environment**, v. 34, n. 1, p. 142–170, 2012.

AMARAL, S. B., N.; DAL'ASTA, A. P.; ESCADA, M. I. S.; SOARES, F. R. **Tem fofoca na currutela" Núcleos urbanizados e uso da terra de Alta Floresta (MT) ao Crepurizão (PA) na Transgarimpeira**. São José dos Campos: INPE, 2012b. 58p. (Relatório de Campo).

ANSELIN, L. Local indicators of spatial association – LISA. **Geographical Analysis**, v. 27, n. 2, p. 93-115, 1995.

ANSELIN, L. **SpaceStat tutorial**: a workbook for using SpaceStat in the analysis of spatial data. UrbanaChampaign: University of Illinois, 1992.

ARBIA, G. **Spatial econometrics**: statistical foundations and applications to regional analysis. Berlin: Springer, 2006.

ARRAES, R. A.; DINIZ, M. B.; DINIZ, M. J. T. Curva ambiental de Kuznets e desenvolvimento econômico sustentável. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 44, p. 525–547, 2006.

ARROW, K. et al. Economic growth, carrying capacity and the environment. **Science**, v.268, p.520-521, 1995.

ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R. Deforestation slowdown in the Brazilian Amazon: prices or policies? **Environment and Development Economics**, v. 20, n. 6, p. 697–722, 2015.

ATLAS BRASIL (Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil). **IDHM Pará**. 2000. Disponível em < <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/consulta/>>. Acesso em 20 de março de 2018.

ATLAS BRASIL (Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil). **IDHM Pará**. 2010. Disponível em < <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/consulta/>>. Acesso em 20 de março de 2018.

ATLAS BRASIL (Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil). **Índice Theil-L Pará**. 2000. Disponível em < <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/consulta/>>. Acesso em 20 de março de 2018.

ATLAS BRASIL (Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil). **Índice Theil-L Pará**. 2010. Disponível em < <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/consulta/>>. Acesso em 20 de março de 2018.

BAENINGER, R. A nova configuração urbana no brasil: desaceleração metropolitana e redistribuição da população. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 11., 1998. **Anais...** ABEP, 1998.

BARBIER, E.B.; BURGESS, J.C. The Economics of Tropical Deforestation. **Journal of Economic Surveys**, v.5, n.3, 2002.

BARBIERI, A. F. Mobilidade populacional e meio ambiente em áreas de fronteira: uma abordagem multi-escalar. **Revista Brasileira de Estudos Populacionais**, v.24, n.2, p. 225-246, 2007.

BARBIERI, A. F.; MONTE-MÓR, R. L. M. Towns in the jungleW: exploring linkages between rural-urban mobility , urbanization and development in the Amazon. In: SHERBINIIN, A.; RAHMAN, A.; BARBIERI, A.; FOTSO, J. C.; ZHY, Y. (Eds.). **Urban population-environment dynamics in the developing world: case studies and**

lessons learned. Paris: Committee for International Cooperation in National Research in Demography (CICRED), 2009.

BÁRCENA M. J.; MENÁNDEZ P.; PALACIOS M.B.; TUSELL F. Alleviating the effect of collinearity in geographically weighted regression. **Journal of Geographical Systems**, v. 16, n. 4, p. 441–466, 2014.

BATTHARAI, M.; HAMMIG, M. Institutions and environmental kuznets curve for deforestation: a crosscountry analysis for Latin America, Africa and Asia. **World Development**, v.29, n.6, 2001.

BAUMONT, C. **Spatial effects in housing price models: do housing prices capitalize urban development policies in the agglomeration of Dijon (1999)?** Dijon, France: Université de Bourgogne, 2004.

BECKER, B. **Amazônia: geopolítica na virada do III milênio**. 4. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.

BECKER, B. K. **Amazônia**. São Paulo: Ática, 1990.

BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 71-86, 2005.

BECKER, B. K. Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários? **Parcerias Estratégicas**, v. 6, n. 12, p. 135–159, 2001.

BECKER, B. K. Undoing myths: the Amazon - an urbanized forest. In: CLÜSENER, G. M.; SACHS, I. (Eds.). **Brazilian perspectives on sustainable development of the Amazon region: man and biosphere series**. Paris: UNESCO, 1995. p.53-89.

BECKER, B. K.; STENNER, C. **Um futuro para a Amazônia**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

BECKER, B. **Urbe amazônida**. Rio de Janeiro: Garamond, 2013.

BECKER, B.; EGLER, C. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos Estados da Amazônia Legal**. Brasília: MMA, 1997.

BERK, K. N. Tolerance and condition in regression computations. **Journal of the American Statistical Association**, v. 72, n. 360, p. 863-866, 1977.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. . **Biomass brasileiros**. 2009. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2009/10/biomass-brasileiros>>. Acesso em: 09 maio 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE.. **Malha digital Brasil**. 2010. Disponível em <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em: 24 mar. 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE.. **PPCDAm**: Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal. Fase I. Brasília, DF: MMA, 2004.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **PPCDAm**. Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal. Fase III. Brasília, DF: MMA, 2013.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Unidades de conservação estaduais**. 2017. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-georreferenciados>>. Acesso em 02: jul. 2017.

BRENNER, N. Teses sobre urbanização. **E-Metropolis**, v. 19, p. 6–26, 2014.

BRITO, F.; SOUZA, J. Expansão urbana nas grandes metrópoles: o significado das migrações intrametropolitanas e da mobilidade pendular na reprodução da pobreza. **São Paulo em Perspectiva**, v. 19, n. 4, p. 48–63, 2005.

BRONDIZIO, E. S.; MORAN, E. F. Level-dependent deforestation trajectories in the Brazilian Amazon from 1970 to 2001. **Population and Environment**, v. 34, n. 1, p. 69–85, 2012.

BRUNSDON, C.; FOTHERINGHAM, A. S.; CHARLTON, M. E. Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity. **Geographical Analysis**, v. 28, n. 4, p. 281–298, 1996.

CARDOSO, A. C. D. (Org.). **O rural e o urbano na Amazônia**: diferentes olhares e perspectivas. Belém: EDUFPA, 2006.

CARDOSO, A. C. D.; LIMA, J. J. F. A influência do governo federal sobre cidades na Amazônia: os casos de Marabá e Medicilândia. **Novos Cadernos NAEA**, v. 12, n. 1, p. 161–192, 2009.

CARDOSO, A. C. D.; MELO, A. C. C.; GOMES, T. V. O urbano contemporâneo na fronteira de expansão do capital: padrões de transformações espaciais em seis cidades do Pará, Brasil. **Revista de Morfologia Urbana**. v.4, n.1, p. 5-28, 2016.

CARDOSO, A. C. D.; NEGRÃO, M. R. G. Das máquinas autoritárias de planejamento do Século XX, às máquinas de crescimento urbano do Século XXI: o caso do Sudoeste do Pará. In: ENCONTRO NACIONAIS DA ANPUR, 15., 2013, Recife. **Anais...** 2013.

CARMO, M. B. S.; COSTA, S. M. F. Os paradoxos entre os urbanos no município de Barcarena, Pará. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 8, n. 3, p. 291–305, 2016.

CARR, D. L. Proximate population factors and deforestation in tropical agricultural frontiers. **Population and Environment**, v. 25, n. 6, p.585-612, 2004.

CARVALHO, G. O. et al. Frontier expansion in the Amazon: balancing development and sustainability. **Environment Science Policy Sustainable Development** v. 44, p.32–42, 2002.

CARVALHO, T. S.; ALMEIDA, E. A hipótese da curva de Kuznets ambiental global: uma perspectiva econométrico-espacial. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 40, n. 3, p. 587–615, 2010.

CARVALHO, T. S.; MAGALHÃES, A.; DOMINGUES, E. P. Desmatamento e a contribuição econômica da floresta na Amazônia. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 46, n. 2, p. 499–531, 2016.

CASTELLS, M. **La cuestión urbana**. 7. ed. México: Siglo Veintiuno, 1974.

CAVIGLIA-HARRIS, J. et al. Busting the boom-bust pattern of development in the Brazilian Amazon. **World Development**, v. 79, p. 82–96, 2016.

CLIFF, A.; ORD, J. K. Testing for spatial autocorrelation among regression Residuals. **Geographical Analysis**, v. 4, p. 267–284, 1972.

COSTA, F. A. Contributions of fallow lands in the Brazilian Amazon to CO<sub>2</sub> balance, deforestation and the agrarian economy: Inequalities among competing land use trajectories. **Elementa: Science of the Anthropocene**, v. 4, p. 1–24, 2016.

COSTA, F. A. Mercado de terras e trajetórias tecnológicas na Amazônia. **Economia e Sociedade**, v. 21, n. 2, p. 245–273, 2012.

CROPPER, M.; GRIFFITHS, C. The interaction of population growth and environmental quality. **The American Economic Review**. v. 84, n. 2, p. 250–254, 1994.

DAL’ASTA, A. P. S.; PINHO, C. M. D.; SOARES, F. R.; REGO, G. F. J.; SIQUEIRA, J. M.; ESCADA, M. I. S.; BRIGATTI, N.; AMARAL, S.; CAMILOTTI, V. L.; DÓRIA, V. E. M. **As comunidades de terra firme do sudoeste do Pará: população, infraestrutura, serviços, uso da terra e conectividades**. São José dos Campos: INPE, 2014. 96p. (Relatório de Campo).

DAL’ASTA, A. P.; AMARAL, S.; SOARES, F. R.; MONTEIRO, A. M. V. Evolução recente da população urbana comparada à evolução do desmatamento nos municípios do Distrito Florestal Sustentável da BR-163. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 18., 2012. **Anais...** São Paulo: ABEP, 2012. p 1-12.

DAL’ASTA, A. P. **Representações do fenômeno urbano na Amazônia contemporânea: observações no sudoeste paraense**. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, 2016.

DAL’ASTA, A. P.; AMARAL, S.; ARCANJO, J. S. O loteamento urbano da Amazônia: inferências a partir do sensoriamento remoto no sudoeste paraense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2017, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2017.

DAL’ASTA, A. P.; GAVLAK, A. A.; ESCADA, M. I. S.; BRIGATTI, N.; AMARAL, S. **Núcleos de ocupação humana e usos da terra entre Santarém e Novo Progresso**,

**ao longo da BR-163 (PA).** São José dos Campos: INPE, 2011. 52p. (Relatório de Campo).

DAL’ASTA, A. P.; SOUZA, A. R.; PINHO, C. M. D.; COSTA, L. C. L.; ESCADA, M. I. S.; RIBEIRO, R. M.; AMARAL, S. AFFONSO, A. **Instituições, as feiras e os produtores: diferentes olhares das (inter)relações entre a cidade e o campo no sudoeste paraense.** São José dos Campos: INPE, 2016. (Relatório de Campo).

DE BRUYN, S. M.; VAN DEN BERGH, J. C. J. M.; OPSCHOOR, J. B. Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves. **Ecological Economics**, v. 25, p. 161-175, 1998.

DINIZ, M. B. et al. A Amazônia (legal) brasileira: evidências de uma condição de armadilha da pobreza. In: RIVERO, S., JAYME JR., F. G. (Orgs.) **As Amazônias do século XXI.** Belém: UFPA, 2008, p. 125-154.

ESCADA, M. I. S. et al. **Caracterização das comunidades entre Uruará e Anapu, na área de influência da Transamazônica (BR-230):** relatório da expedição de campo 2014. São José dos Campos: INPE, 2017. (Relatório de Campo).

ESCADA, M. I. S. et al. **Infraestrutura, serviços e conectividade das comunidades ribeirinhas do Arapiuns, PA.** São José dos Campos: INPE, 2013. 121p. (Relatório de Campo).

ESCADA, M. I. S.; AMARAL, S.; RENNÓ, C. D.; PINHEIRO, T. F. **Levantamento do uso e cobertura da terra e da rede de infra-estrutura no distrito florestal da BR-163** São José dos Campos: INPE, 2009. 52 p. . (Relatório de Campo).

FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS DO PARÁ - FAPESPA. **Estimativas e projeções do PIB paraense 2014 – 2020.** Belém: FAPESPA, 2016. 15p.

FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS DO PARÁ. **Estimativas e projeções do PIB Paraense 2015-2020.** Belém: FAPESPA, 2017. 14p.

FARIAS, A. R.; MINGOTI, R.; VALLE, L. B.; SPADOTTO, C. A.; LOVISI, E. F. **Identificação, mapeamento e quantificação das áreas urbanas do Brasil.** Campinas: EMBRAPA, 2017. (Comunicado Técnico).

FEITOSA, F. F.; MONTEIRO, A. M. V. Vulnerabilidade e modelos de simulação como estratégias mediadoras: contribuição ao debate das mudanças climáticas e ambientais. **Geografia**, v. 37, n. 2, p. 289–305, 2012.

FERRARO, P. J.; HANAUER, M. Advances in measuring the environmental and social impacts of environmental programs. **Annual Review of Environmental and Resources**, p. 495–517, 2014.

FERREIRA, A.M.M.; SALATI, E. Forças de transformação do ecossistema amazônico. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 54, 2005.

FERREIRA, L. V.; PAROLIN, P.; MUÑOZ, S. H.; CHAVES, P. P. O efeito da fragmentação e isolamento florestal das áreas verdes da região metropolitana de Belém. **Pesquisas Botânica**, n. 63, p. 357-367, 2012.

FORSTER, B. A. Optimal consumption planning in a polluted environment. **Economic Record**, v. 49, n. 128, p. 534-545, 1973.

FOTHERINGHAM, A. S.; OSHAN, T.M. Geographically weighted regression and multicollinearity: dispelling the myth. **Journal of Geographical Systems**, v. 18, p. 303-329, 2016.

FOTHERINGHAM, A. S. Scale independent spatial analysis. In: GOODCHILD, M.; GOPAL, S. (Eds). **The accuracy of spatial data bases**, London: Taylor & Francis, 1989. p: 221-228.

FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO - FUNAI. **Terras indígenas**. 2017. Disponível em <<http://www.funai.gov.br/index.php/shape>>. Acesso em 02 jul. 2017.

GALLEGO-ÁLVAREZ, I. et al. Environmental performance in countries worldwide: determinant factors and multivariate analysis. **Sustainability**, Switzerland, v. 6, n. 11, p. 7807-7832, 2014.

GEHLKE, C. E.; BIEHL, K. Certain effects of grouping upon the size of the correlation coefficient in census tract material. **Journal of the American Statistical Association**, v. 29, n. 185, p. 169-17, 1934.

GIBSON, C.; OSTROM, E.; AHN, T. K. The concept of scale and the human dimensions of global change. **Ecological Economics**, v. 32, n. 2, p. 217-239, 2000.

GOMES, S.C.; BRAGA, M.J. Desenvolvimento econômico e desmatamento na Amazônia Legal: uma análise econométrica. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008. **Anais...** Rio Branco, 2008.

GREIG, D. M. **Optimisation**. [S.l.]: Longman Publishing, 1980.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. Environmental impacts of a North American free trade agreement. **National Bureau of Economic Research**, 1991.

GROSSMAN, G; KRUEGER. A. Economic growth and the environment. **Quarterly Journal of Economics**, v.110, n.2, p.353-377, 1995.

GRUVER, G. W. Optimal investment in pollution control capital in a neoclassical growth context. **Journal of Environmental Economics and Management**, v.3, p.165-177, 1976.

HARRIS, P.; BRUNSDON, C.; LU, B.; NAKAYA, T.; CHARLTON, M. Introducing bootstrap methods to investigate coefficient non-stationarity in spatial regression models. **Spatial Statistics**, v. 21, p. 241-261, 2017.

HARVEY, David. **A justiça social e a cidade**. São Paulo: Hucitec, 1980.

HOFFMANN, R. O índice de desigualdade de Theil-Atkinson. **Revista de Econometria**, v. 11, n. 2, p. 143-160, 1991.

HOGAN, D. J.; D'ANTONA, A. O.; CARMO, R. L. Dinâmica demográfica recente da Amazônia. In: BATISTELLA, M.; MORAN, E. F.; ALVES, D. S. (Orgs.) **Amazônia: natureza e sociedade em transformação**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008. p. 71–116.

HOMMA, A. K. O. **História da Agricultura na Amazônia**. Brasília: Embrapa, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Áreas urbanizadas**. 2005. Disponível em < <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html?edicao=16668&t=acesso-ao-produto>>. Acesso em: 12 maio 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Áreas urbanizadas**. 2015. Disponível em < <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html?edicao=15952&t=acesso-ao-produto>>. Acesso em: 12 maio 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo demográfico 1991**. 1991. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo1991/>>. Acesso em 02 mar. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo demográfico 2000**. 2000. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/>>. Acesso em 02 mar. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **América do Sul**. 2000b. Disponível em <[https://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm)>. Acesso em: 24 mar. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo demográfico 2010**. 2010. Disponível em < <http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 02 mar. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Dados de população e situação de domicílio**. 2010a. Disponível em <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>>. Acesso em: 05 mar. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Dados populacionais do Estado do Pará 2000 e 2010**. 2010b. Disponível em < <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=pa>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Sinopse do censo demográfico 2010**. 2010c. Disponível em < <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>>. Acesso em: 12 jul. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Malha digital Pará**. 2010d. Disponível em < [https://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm)>. Acesso em: 12 jul. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estimativa populacional 2014**. 2014. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2014/default.shtm>>. Acesso em: 06 mar. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa da Amazônia Legal: fronteira agrícola**. 2005. Disponível em <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas\\_tematicos/mapas\\_murais/fronteira\\_agricola.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/fronteira_agricola.pdf)>. Acesso em: 03 jul. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Síntese de notas técnicas**. 2009. Disponível em <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2009/sintese\\_notas\\_tecnicas.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2009/sintese_notas_tecnicas.pdf)>. Acesso em: 03 mar. 2017.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE - ICMBIO. **Unidades de conservação federais**. 2017. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/geoprocessamentos/51-menu-servicos/4004-downloads-mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-uc-s>>. Acesso em: 02 jul. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA - INCRA. **Acervo fundiário**. 2012. Disponível em <<http://acervofundiario.incra.gov.br/i3geo/ogc/index.php>>. Acesso em: 02 jul. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamento na Amazônia Legal**. 3 ed. São José dos Campos: INPE, 2006. 37p. Disponível em <[http://www.obt.inpe.br/prodes/metodologia\\_TaxaProdes.pdf](http://www.obt.inpe.br/prodes/metodologia_TaxaProdes.pdf)> Acesso em: 20 fev. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Dados por município PRODES**. 2015. Disponível em < <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>>. Acesso em: 16 jun. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Taxa de desmatamento Amazônia Legal**. 2017. Disponível em < <http://www.obt.inpe.br/prodes/dashboard/prodes-rates.html>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **TerraClass 2004**. 2004. Disponível em < [http://www.inpe.br/cra/projetos\\_pesquisas/terraclass2004.php](http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2004.php)>. Acesso em: 06 mar. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **TerraClass 2014**. 2014. Disponível em < [http://www.inpe.br/cra/projetos\\_pesquisas/terraclass2014.php](http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2014.php)>. Acesso em: 06 mar. 2017.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL - ISA. **Programa de monitoramento de áreas protegidas**: unidades da federação. 2014. Disponível em < <https://uc.socioambiental.org/c%C3%B4mputos/amaz%C3%B4nia-legal/unidades-da-federa%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 02 jul. 2017.

JACOBS, J. **The economy of cities**. New York: Random House, 1969.

KAIMOWITZ, D. et al. **Hamburger connection files Amazon destruction**. Bangon, Indonesia: Center for International Forest Research, 2004.

KIRBY, K. R. et al. The future of deforestation in the Brazilian Amazon. **Futures**, v. 38, n. 4, p. 432–453, 2006.

KUTNER, M. H. et al. **Applied linear models**. 5 ed. New York: McGraw-Hill Irwin, 2004.

LEFEBVRE, H. **A revolução urbana** (1972). Belo Horizonte: UFMG, 1999. p.14-32.

LEFEBVRE, H. **De l'État**. Paris: Union Générale, 1978.

LUCAS, R. E. B.; WHEELER, D.; HETTIGE, H. Economic development, environmental regulation and the international migration of toxic industrial pollution: 1960-1988. In: LOW, P. (Ed.). **International trade and the environment**. Washington: World Bank, 1992.

MACEDO, M. R. A. Regressão geograficamente ponderada aplicada ao estudo da relação pecuária e desmatamento no sudeste do estado do Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba, PR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011.

MACHADO, L. A fronteira agrícola na Amazônia (Agricultural frontier in the Amazon). In: BECKER, B. K.; CHRISTOFOLETTI, A.; DAVIDOCH, F. R.; GEIGER, R.P.P. (Eds.). **Geografia e meio ambiente no Brasil** (Geography and Environment in Brazil). São Paulo: Hucitec, 1998. p.181-217.

MACHADO, L. O. O controle intermitente do território amazônico. **Revista Território**, v. 1, n.2, p. 19-32, 1997.

MACHADO, L. O. Urbanização e mercado de trabalho na Amazônia brasileira. **Cadernos IPPUR**, Rio de Janeiro, v. 13, n.1, p.109-138, jan./jul. 1999.

MADEIRA, J. L.; SIMÕES, C. C. Estimativas preliminares da população urbana e rural segundo as unidades da federação de 1960/1980 por uma nova metodologia. **Revista Brasileira de Estatística**, v. 33, n. 129, p. 3–11, 1972.

MARGULIS, S. **Causas do desmatamento da Amazônia brasileira**. Brasília: Banco Mundial, 2003. 100p.

MARGULIS, S. **Quem são os agentes dos desmatamentos na Amazônia e por que eles desmatam.** Brasília: Banco Mundial, 2002.

MARTÍNEZ-ZARZOSO, I.; MARUOTTI, A. The impact of urbanization on CO2 emissions: evidence from developing countries. **Ecological Economics**, v. 70, p. 1344–1353, 2011.

MATIAS-PEREIRA, J. O processo de ocupação e de desenvolvimento da Amazônia: a implementação de políticas públicas e seus efeitos sobre o meio ambiente. **Revista de Informação Legislativa**, v. 34, n. 134, p. 75–86, 1997.

MELLO-THÉRY, N. A.; THÉRY, H. O planejamento territorial, o estado e a Amazônia na obra de Bertha Becker: algumas reflexões. **Revista Bibliográfica de Geografia y Ciencias Sociales**. v. 19, n. 1103, 2014.

MIRANDA, E. E.; GOMES, E. G.; GUIMARÃES, M. Mapeamento e estimativa da área urbanizada do Brasil com base em imagens orbitais e modelos estatísticos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005.

MOLOTH, H. The city as a growth machine: toward a political economy of place. **The American Journal of Sociology**, v. 82, n. 2, p. 309–332, 1976.

MONTEIRO, A. M. V.; CARDOSO, A. C. D. Project URBISAmazônia : what is the nature of the urban phenomenon in the contemporary Amazônia? cities, places and networks in the multi-scale configuration of the urban setting in contemporary Amazônia. **GLP NewsLetter**, n. 8, p. 26–28, 2012.

MONTE-MÓR, R. L. M. **Modernities in the jungle:** extended urbanization in the Brazilian Amazon. Thesis (Doctor) - University of California, Los Angeles (UCLA), 2004.

MONTE-MÓR, R. L. M. **O que é o urbano, no mundo contemporâneo.** Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 2006. 14p.

MONTE-MÓR, R. L. M. Urbanização extensiva e lógicas de povoamento: um olhar ambiental. In: SANTOS, M.; SOUZA, M. A.; SILVEIRA, M. L. (Eds.). **Território, globalização e fragmentação.** São Paulo: Hucitec/Anpur, 1994.

MORAN, P. A. F. Notes on continuous stochastic phenomena. **Biometrika**, London, v. 37, n. 2, p.17-23, 1950.

MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; SHIMABUKURO, Y. E.; ANDERSON, L. O.; ARAI, E.; DEL BON ESPIRITO-SANTO, F.; MORISETTE, J. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 39, 2006.

MOURA, H. A.; MOREIRA, M. D. M. A População da Região Norte: processos de ocupação e de urbanização recentes. modelos e cenários para a Amazônia: o papel da ciência. **Parcerias Estratégicas**, v. 6, n. 12, p. 214–238, 2001.

NÚCLEO DE ALTOS ESTUDOS AMAZÔNICOS - NAEA. **Plano de desenvolvimento regional sustentável da região de integração Xingu**. Belém: UFPA, 2009.

NAZARETH, T.; BRASIL, M.; TEIXEIRA, P. Manaus: crescimento populacional e migrações nos anos 1990. **Informe Gepec**, v. 121, n.esp., p. 488–502, 2011.

NEPSTAD, D. et al. Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. **Science**, v. 344, n. 118, p. 1118–1123, 2014.

NEPSTAD, D.; CAPOBIANCO, J. P.; BARROS, A. C.; CARVALHO, G.; MOUTINHO, P.; LOPES, U.; LEFEBVRE, P. **Avança Brasil**: os custos ambientais para a Amazônia. Belém: IPAM, 2000. Disponível em <[http://www.mma.gov.br/estruturas/pda/\\_arquivos/prj\\_mc\\_048\\_pub\\_rel\\_001\\_ae.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/pda/_arquivos/prj_mc_048_pub_rel_001_ae.pdf)>. Acesso em: 12 jul. 2018.

NEVES, P. C. B.; MENEZES, R. C.; PENA, H. W. A. Análise da dinâmica das atividades econômicas predominantes no município de placas, região de integração do Xingu-Pará-Brasil. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, n. 194, 2014.

OLIVEIRA, R. C.; ALMEIDA, E. S. **Deforestation in the Brazilian Amazonia and spatial heterogeneity**: a Local environmental Kuznets curve approach. Juiz de Fora: **UFJF**, 2011. Disponível em <<http://www.ufjf.br/poseconomia/files/2011/06/TD-005-2011-Eduardo-Simoes-de-Almeida.pdf>>. Acesso em: 6 ago. 2016.

OPENSHAW, S.; TAYLOR, P. A million or so correlation coefficients: three experiments on the modifiable area unit problem. In: WRIGLEY, N. (Ed). **Statistical applications in the spatial science**. [S.l.]: Pion, 1979. p. 127-144.

OPENSHAW, S. **The modifiable areal unit problem**. Norwich, England: Geobooks, 1984.

OSBORNE, J. W. Improving your data transformations: applying the Box-Cox transformation. **Practical Assessment, Research and Evaluation**, v. 15, p. 1-9, 2010.

OZTURK, I., AL-MULALI, U. Investigating the validity of the environmental Kuznets curve hypothesis in Cambodia. **Ecological Indicators**, v. 57, p. 324–330, 2015.

PANDOLFO, C. **Amazônia brasileira**: ocupação, desenvolvimento e perspectivas atuais e futuras. Belém: CEJUP, 1994. p 15-35.

PERZ, S. G.; ARAMBURÚ, C.; BREMNER, J. Population, land use and deforestation in the Pan Amazon Basin: a comparison of Brazil, Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú and Venezuela. **Environment, Development and Sustainability**, v. 7, n. 1, p. 23–49, 2005.

PINO, F. A. A questão da não normalidade: uma revisão. **Revista de Economia Agrícola**, v. 61, n. 2, p. 17–33, 2014.

PROGRAMA NACIONAL DAS NAÇÕES UNIDAS - PNUD. **Índice de desenvolvimento humano**. 2010. Disponível em <  
<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/consulta/>>. Acesso em: 26 out. 2017.

PRATES, R. C. **O desmatamento desigual na Amazônia brasileira: sua evolução, suas causas e conseqüências sobre o bem-estar**. 2008. 160p. Tese (Doutorado em Ciências Economia Aplicada) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

PRATES, R. C.; BACHA, C. J. C. Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia. **Economia e Sociedade**, v. 20, n. 3, p. 601–636, 2011.

REIS, E.; MARGULIS, S. **Perspectivas econômicas do desflorestamento da Amazônia**. Brasília: IPEA, 1991. (Texto para Discussão, 215).

REYDON, B. P. O desmatamento da floresta amazônica: causas e soluções. **Política Ambiental/Conservação Internacional**, v. 8, p. 143–155, 2011.

RIBEIRO, R.; AMARAL, S.; MONTEIRO, A. M. V. A desconcentração da população urbana nas cidades paraenses: geoinformação no estudo do descompasso entre o crescimento da população e da extensão de áreas urbanas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2017, Santos, SP. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2017.

RIBEIRO, W. D. O. Entre a metrópole e a cidade média: a complexidade das interações espaciais e das dinâmicas de centralidade da cidade de Castanhal, no nordeste paraense. **Geo USP Espaço e Tempo**, v. 20, n. 1, p. 115–129, 2016.

RICHARDS, P.; VANWEY, L. Where deforestation leads to urbanization: how resource extraction is leading to urban growth in the brazilian amazon. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 105, n. 4, p. 806–823, 2015.

RIVERO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, W. Pecuária e desmatamento: Uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova Economia**, v. 19, n. 1, p. 41–66, 2009.

RODRIGUES, A. S. L.; EWERS, R. M.; PARRY, L.; SOUZA, C.; VERÍSSIMO, A.; BALMFORD, A. Boom-and-bust development patterns across the Amazon deforestation frontier. **Science**, v.12, n.5933, p.1435-1437, 2009.

ROSSI, A. **A Arquitetura da cidade** (1966). 2 ed. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. 3. ed. São Paulo: HUCITEC, 1996.

SANTOS, R.B.N; DINIZ, M.B.; DINIZ, M.J.T.; RIVERO, S.L.M.; OLIVEIRA JUNIOR, J.N. **Estimativa da curva de Kuznets ambiental para a Amazônia Legal**. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 56., 2008. **Anais...** Rio Branco, 2008.

SCHOR, T.; OLIVEIRA, J. A. Reflexões metodológicas sobre o estudo da rede urbana no Amazonas e perspectivas para a análise das cidades na Amazônia brasileira. **Revista ACTA Geográfica**, p. 15–30, 2011.

SELDEN, T. M.; SONG, D. Environmental quality and development: is there a Kuznets Curve for air pollution emission? **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 27, p.147-162, 1994.

SERÁFICO, J.; SERÁFICO, M. A Zona Franca de Manaus e o capitalismo no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 54, p. 99–113, 2005.

SMULDERS, S.; BRETSCHEGER, L. **Explaining environmental Kuznets curves: how pollution induces policy and new technologies**. Tilburg University, 2001.

SOARES-FILHO, B. S. Fragmentação da paisagem florestal em função da estrutura e dinâmica fundiária no norte do Mato Grosso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001.

SOUZA, N. S. A. **Amazônia brasileira: processo de ocupação e a devastação da floresta: boletim científico**. Brasília: Escola Superior do Ministério Público, 2010. 40p.

SOUZA, R. A. et al. Spatial variation of deforestation rates in the Brazilian Amazon: a complex theater for agrarian technology, agrarian structure and governance by surveillance. **Land Use Policy**, n. 30, p. 915– 924, 2012.

STERN, D. I. The rise and fall of the environmental Kuznets curve. **World Development**, v. 32, n. 8, p. 1419–1439, 2004.

STERN, D. I.; COMMON, M. S.; BARBIER, E. B. Economic growth and environmental degradation: the environmental Kuznets curve and sustainable development. **World Development**, v. 24, p. 1151-1160, 1996.

SURI, V.; CHAPMAN, D. Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets curve. **Ecological Economics**, v. 25, p.195-208, 1998.

TAMHANE, A. C.; DUNLOP D. D. **Statistics and data analysis:from elementary to intermediate**. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2000.

THEIL, H. **Economics and information theory**. North-Holland, 1967.

TOBLER, W. Frame independent spatial analysis. In: GOODCHILD, M.; GOPAL, S. (Eds). **The accuracy of spatial data bases**. London: Taylor & Francis, 1989. P.115-122.

TRITSCH, I.; ARVOR, D. New pattern of socio-economic development and deforestation in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v. 59, p. 446–455, 2016.

TRITSCH, I.; LE TOURNEAU, F. M. Population densities and deforestation in the Brazilian Amazon: new insights on the current human settlement patterns. **Applied Geography**, v. 76, p. 163–172, 2016.

TRITSCH, I.; TORNEAU, F.-M. **Dinâmica da população e do desmatamento na Amazônia brasileira entre 2000 e 2010: ua visão baseada nos dados espaciais e estatísticas**. Paris: Environnement et Géomatique, 2014.

VALE, P. M.; ANDRADE, D. C. Comer carne e salvar a Amazônia? A produtividade da pecuária em Rondônia e sua relação com o desmatamento. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 20, n. 2, p. 381–408, 2012.

VALERIANO, D. M.; ESCADA, M. I. S.; CÂMARA, G.; AMARAL, S.; MAURANO, L.E.; RENNÓ, C. D.; ALMEIDA, C.; MONTEIRO, A. M. V. Dimensões do Desmatamento na Amazônia Brasileira. In: MARTINE, G. (Ed.). **População e sustentabilidade na era das mudanças ambientais globais: contribuições para uma agenda brasileira**. Belo Horizonte: ABEP, p. 223–238, 2012.

VIVERET, P. **Reconsiderar a Riqueza**. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 2006. 221 p.

WHEELER, D; TIEFELSDORF, M. Multicollinearity and correlation among local regression coefficients in geographically weighted regression. **Journal of Geographical Systems**, v. 7, n. 2, p. 161–187, 2005.

WHEELER, D. C. Diagnostic tools and a remedial method for collinearity in geographically weighted regression. **Environment and Planning A: Economy and Space**, v. 39, n. 10, p. 2464–2481, 2007.

WHEELER, D.C. Simultaneous coefficient penalization and model selection in geographically weighted regression: the geographically weighted lasso. **Environment and Planning A: Economy and Space**, v. 41, n. 3, p. 722–742, 2009.

WRIGHT, S. J.; MULLER-LANDAU, H. C. The future of tropical forest species. **Biotropica**, v. 38, n. 3, p. 287–301, 2006.

WRIGLEY, N.; HOLD, T.; STEEL, D.; TRANMER, M. Analysing, modelling, and resolving the ecological fallacy. In: LONGLEY, P.; BATTY, M. (Eds). **Spatial analysis: modelling in a GIS environment**. New York: John Wiley and Sons, 1996.

**APÊNDICE A – Tabela de grupos de municípios identificados por similaridade na Etapa 1.**

Tabela A.1 – Grupos de municípios identificados por similaridade na análise de tendências do grau de urbanização e incremento de desmatamento para os anos de 2000, 2010 e 2014.

<b>Municípios</b>				
<b>1</b>	Abaetetuba Ananindeua Belém Breves Marabá São Francisco			
<b>2</b>	Barcarena	Curuçá	São Caetano	
	Benevides	Igarapé-Açu	Sapucaia	
	Bujaru	Igarapé-Miri	Terra Alta	
	Cachoeira do Arari	Mocajuba	Terra Santa	
	Capanema	Nova Timboteua	Tomé-Açu	
	Capitão Poço	Santa Isabel		
	Castanhal	Santana do Araguaia		
<b>3</b>	Santa Luzia São Domingos do Capim São Geraldo Viseu			
<b>4</b>	Almeirim	Concórdia do Pará	Oeiras do Pará	Santa Maria do Pará
	Anajás	Cumarú do Norte	Pacajá	Santarém
	Anapu	Curralinho	Palestina do Pará	Santo Antônio
	Augusto Correa	Eldorado dos Carajás	Parauapebas	São Domingos
	Aurora do Pará	Garrafão do Norte	Peixe-Boi	São Felix do Xingu
	Bagre	Gurupá	Piçarra	São Sebastião
	Belterra	Inhangapi	Ponta das Pedras	Soure
	Bom Jesus do Tocantins	Itupiranga	Prainha	Ulianópolis
	Bonito	Limoeiro do Ajuru	Redenção	Uruará
	Cametá	Marituba	Rio Maria	Vigia
	Canaã dos Carajás	Moju	Salvaterra	Xinguara
	Colares	Muaná	Santa Barbara	
	Conceição do Araguaia	Novo Repartimento	Santa Maria	
<b>5</b>	Bannach Ipixuna do Pará Jacareacanga Pau D'Arco Senador José			

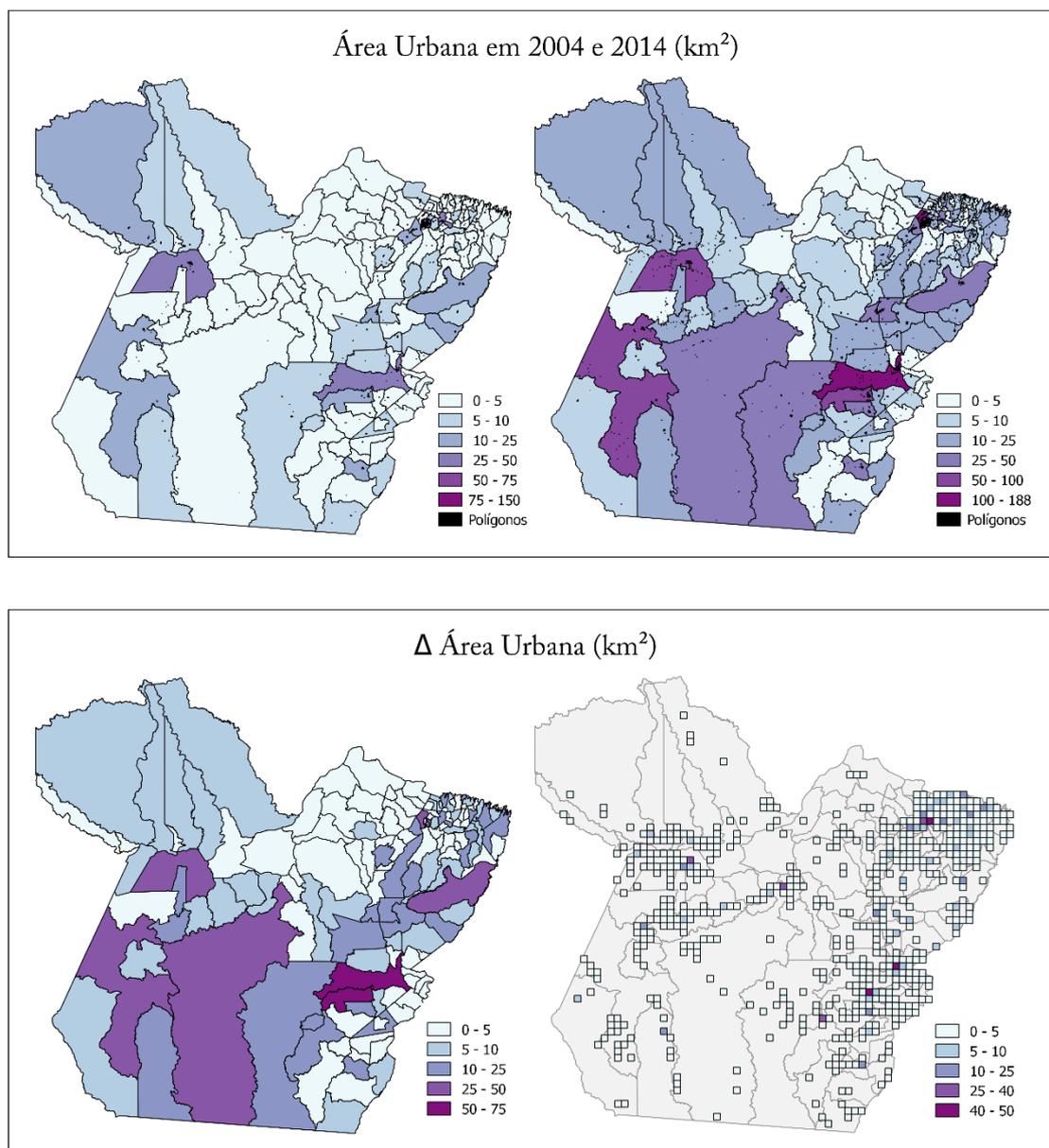
Tabela A.1 – Grupos de municípios identificados por similaridade na análise de tendências do grau de urbanização e incremento de desmatamento para os anos de 2000, 2010 e 2014 (continuação).

<b>6</b>	Acará	Marapanim	
	Bragança	Nova Ipixuna	
	Breu Branco	Oriximiná	
	Cachoeira do Piriá	Paragominas	
	Chaves	Tailândia	
	Dom Eliseu		
<b>7</b>	Baião		
	Maracanã		
	Rondon do Pará		
	São João da Ponta		
<b>8</b>	Água Azul	Novo Progresso	
	Altamira	Ourilândia	
	Brejo Grande	São Miguel	
	Irituia	Tracuateua	
	Itaituba	Trairão	
	Melgaço	Tucumã	
	Nova Esperança	Vitória do Xingu	
<b>9</b>	Afuá	Medicilândia	
	Curuá	Óbidos	
	Floresta do Araguaia	Santarém Novo	
	Jacundá	Tucuruí	
<b>10</b>	Magalhães Barata		
	Placas		
	Primavera		
	Salinópolis		
<b>Outros</b>	Abel Figueiredo	Goianésia do Pará	Quatipuru
	Alenquer	Jurutí	Rurópolis
	Aveiro	Mãe do Rio	Santa Cruz do Arari
	Brasil Novo	Monte Alegre	São João de Pirabas
	Curionópolis	Ourém	São João do Araguaia
	Faro	Porto de Moz	

Fonte: Produção da autora.

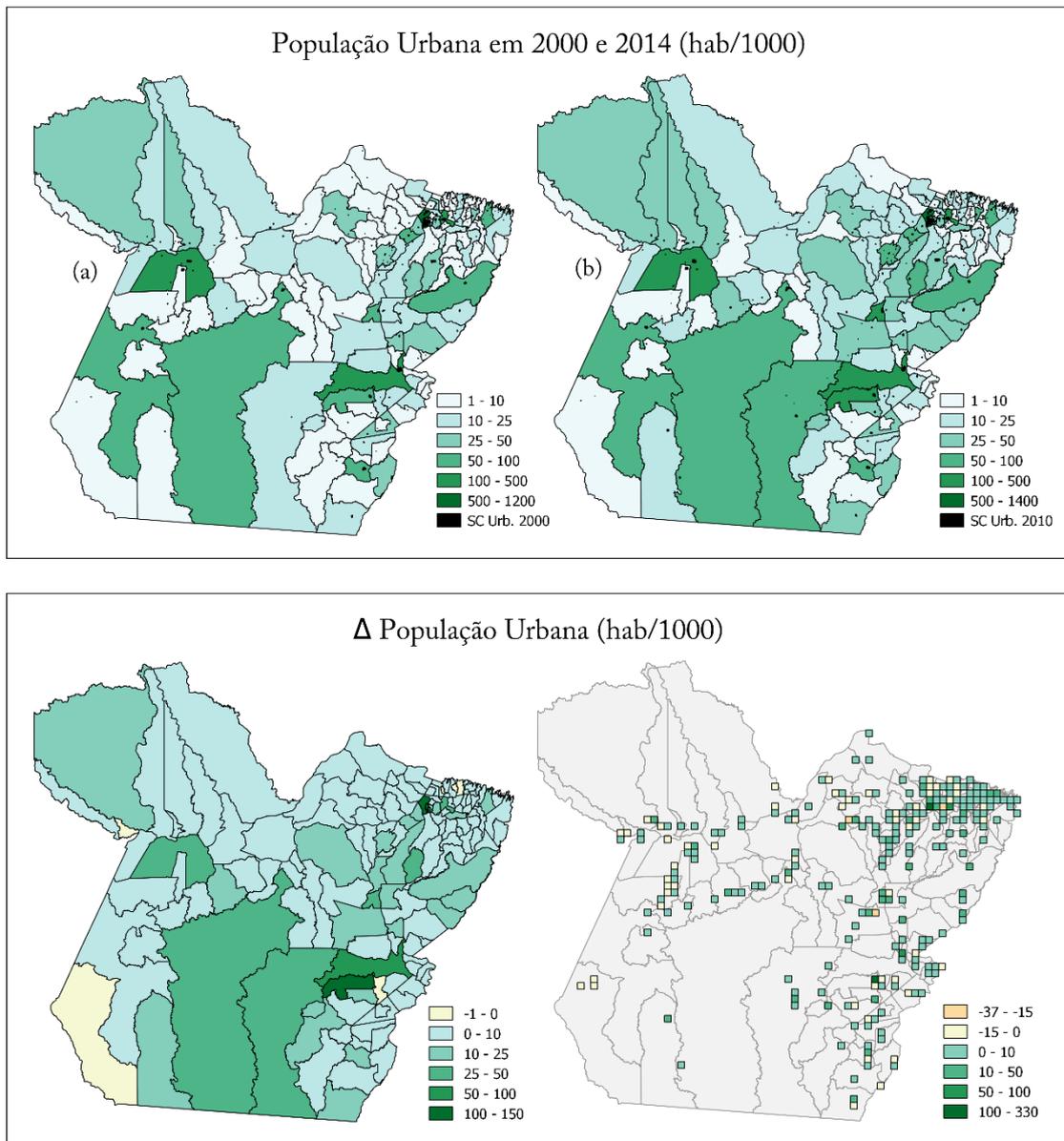
**APÊNDICE B – Mapas de espacialização das variáveis (área urbana, população urbana e desmatamento acumulado).**

Figura B.1 – Área urbana em 2000 e 2014 e diferença de área urbana (DAU) no período nos municípios do estado do Pará.



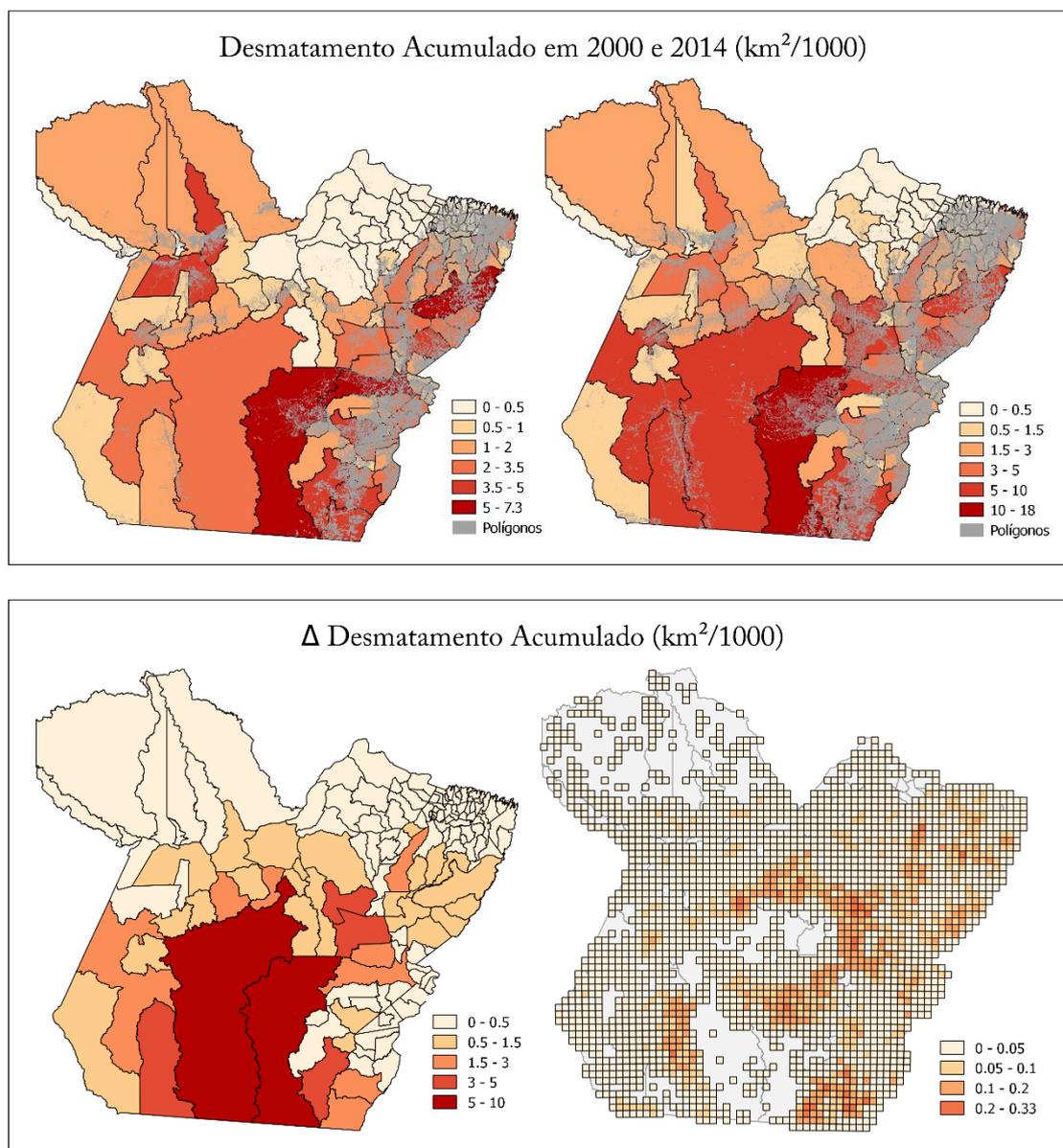
Fonte: Produção da autora.

Figura B.2 – População urbana em 2000 e 2014 e diferença de população urbana (DPU) no período nos municípios do estado do Pará.



Fonte: Produção da autora.

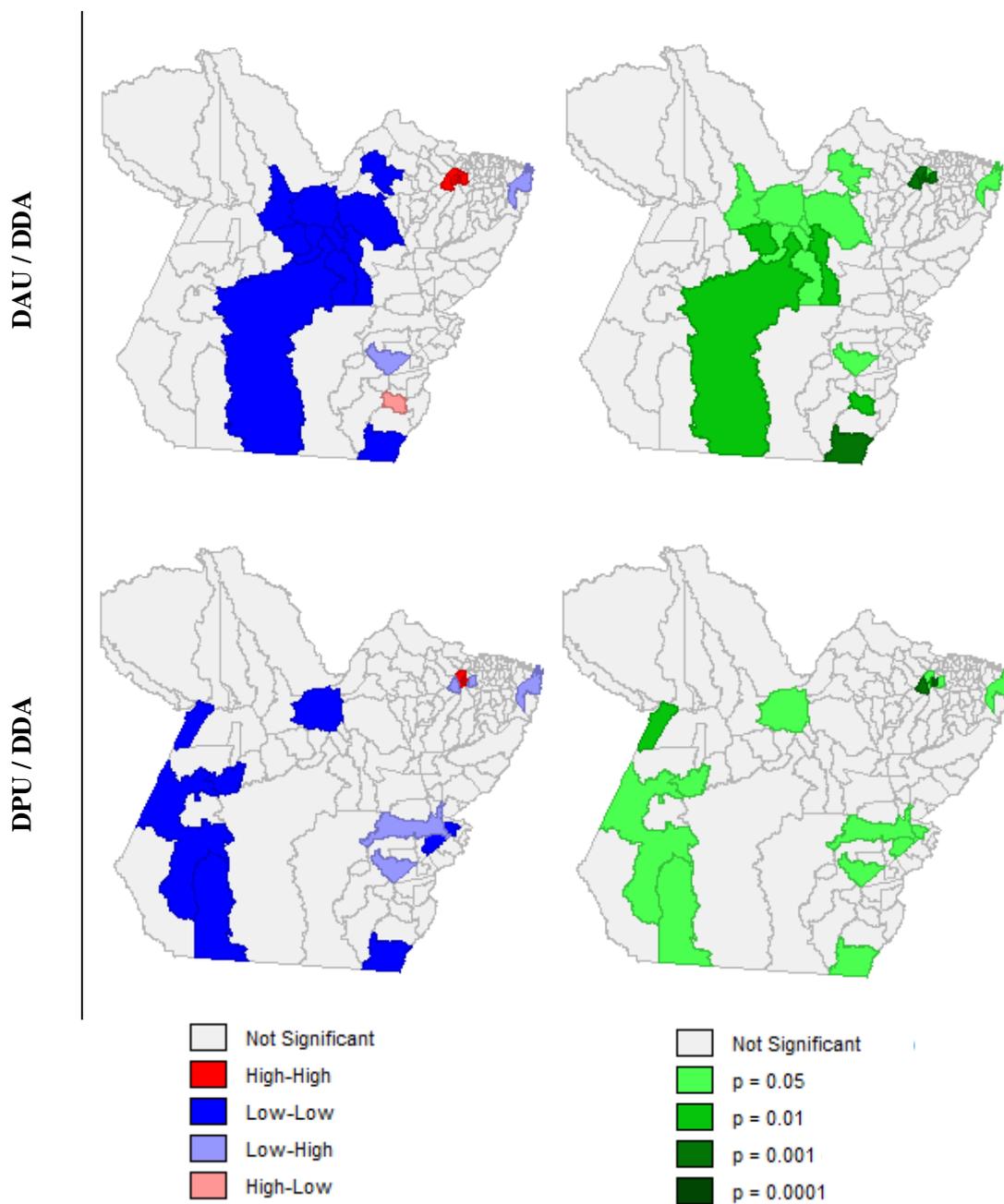
Figura B.3 – Desmatamento acumulado em 2000 e 2014 e diferença de desmatamento acumulado (DDA) no período nos municípios do estado do Pará.



Fonte: Produção da autora.

**APÊNDICE C - Mapas de dependência espacial local (LISA) bivariado da relação entre área urbana e desmatamento – DAU / DDA - e população urbana e desmatamento – DPU / DDA - na resolução municipal.**

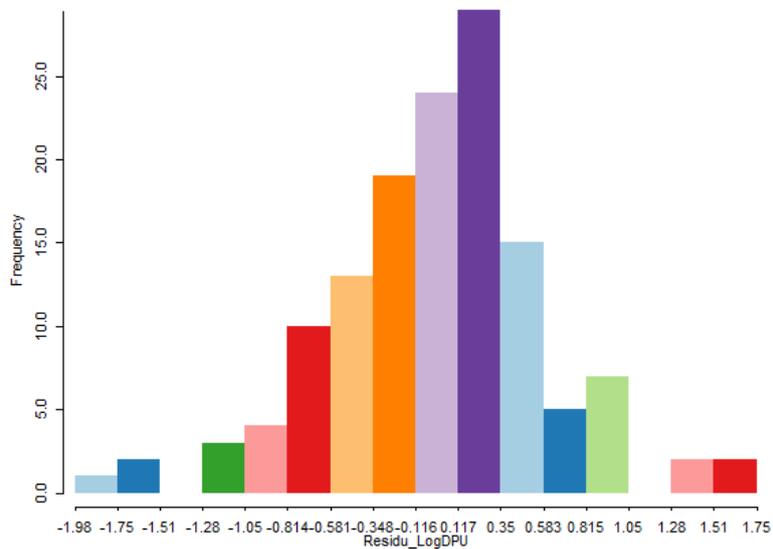
Figura C.1 - Mapas de dependência espacial local (LISA) bivariado da relação entre área urbana e desmatamento – DAU / DDA - e população urbana e desmatamento – DPU / DDA - na resolução municipal.



Fonte: Produção da autora.

**APÊNDICE D - Histograma de distribuição de probabilidade dos resíduos da regressão que descreve a relação entre a população urbana e o desmatamento ( $\text{Log(DPU)} = f \text{ Log(DDA)}$ ) na resolução municipal.**

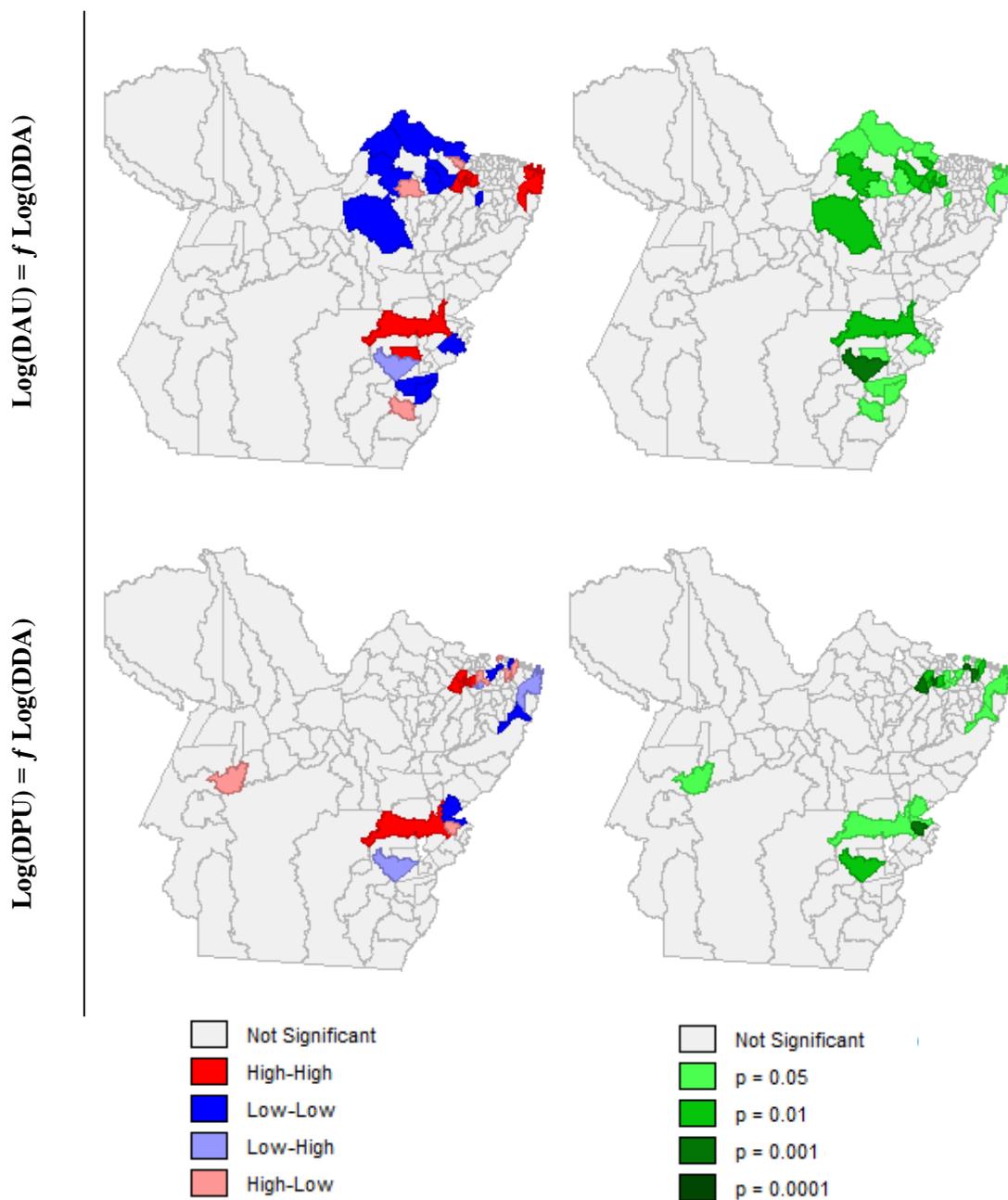
Figura D.1 – Histograma de distribuição de probabilidade dos resíduos da regressão que descreve a relação entre a população urbana e o desmatamento ( $\text{Log(DPU)} = f \text{ Log(DDA)}$ ) na resolução municipal.



Fonte: Produção da autora.

**APÊNDICE E - Mapas de dependência espacial local (LISA) dos resíduos dos modelos que descrevem a relação entre área urbana e desmatamento ( $\text{Log(DAU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) e população urbana e desmatamento ( $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) na resolução municipal.**

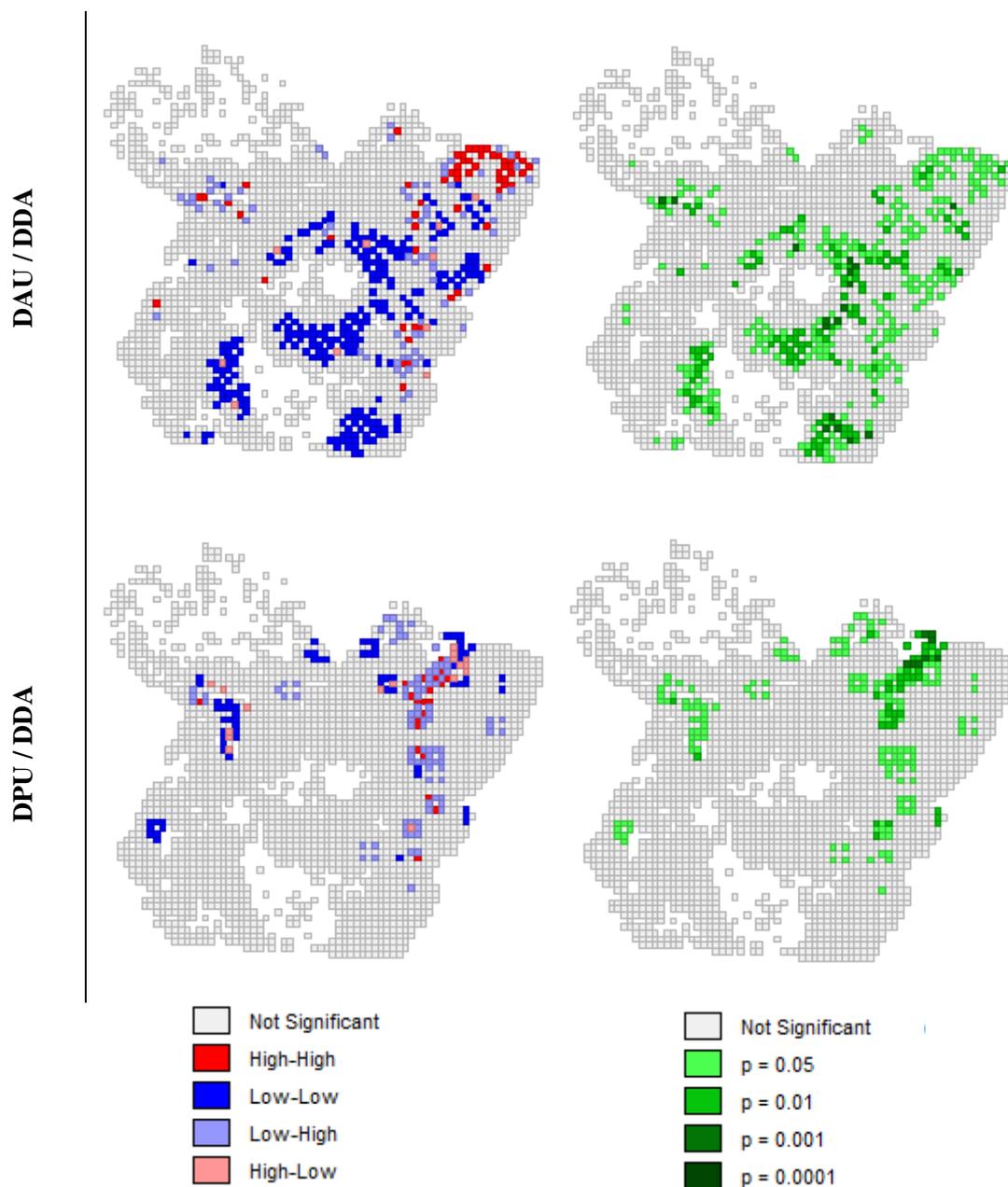
Figura E.1 - Mapas de dependência espacial local (LISA) dos resíduos dos modelos que descrevem a relação entre área urbana e desmatamento ( $\text{Log(DAU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) e população urbana e desmatamento ( $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) na resolução municipal.



Fonte: Produção da autora.

**APÊNDICE F - Mapas de dependência espacial local (LISA) bivariado da relação entre área urbana e desmatamento – DAU / DDA - e população urbana e desmatamento – DPU / DDA - na resolução celular.**

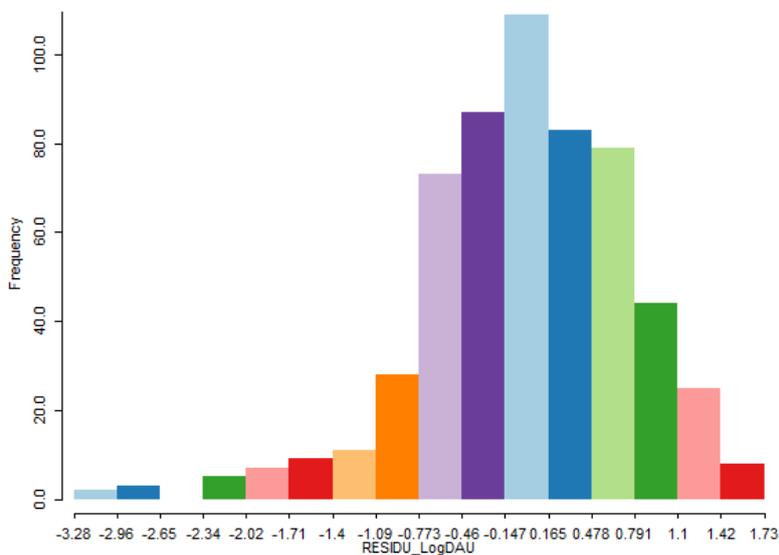
Figura F.1 - Mapas de dependência espacial local (LISA) bivariado da relação entre área urbana e desmatamento – DAU / DDA - e população urbana e desmatamento – DPU / DDA - na resolução celular.



Fonte: Produção da autora.

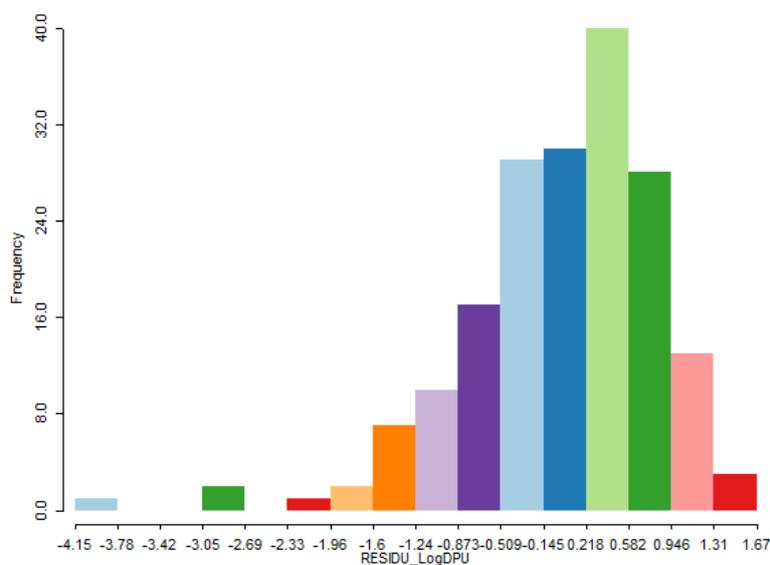
## APÊNDICE G - Histograma de distribuição de probabilidade dos modelos linearizados na resolução celular.

Figura G.1 – Histograma de distribuição de probabilidade dos resíduos da regressão que descreve a relação entre a área urbana e o desmatamento ( $\text{Log(DAU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) na resolução celular.



Fonte: Produção da autora.

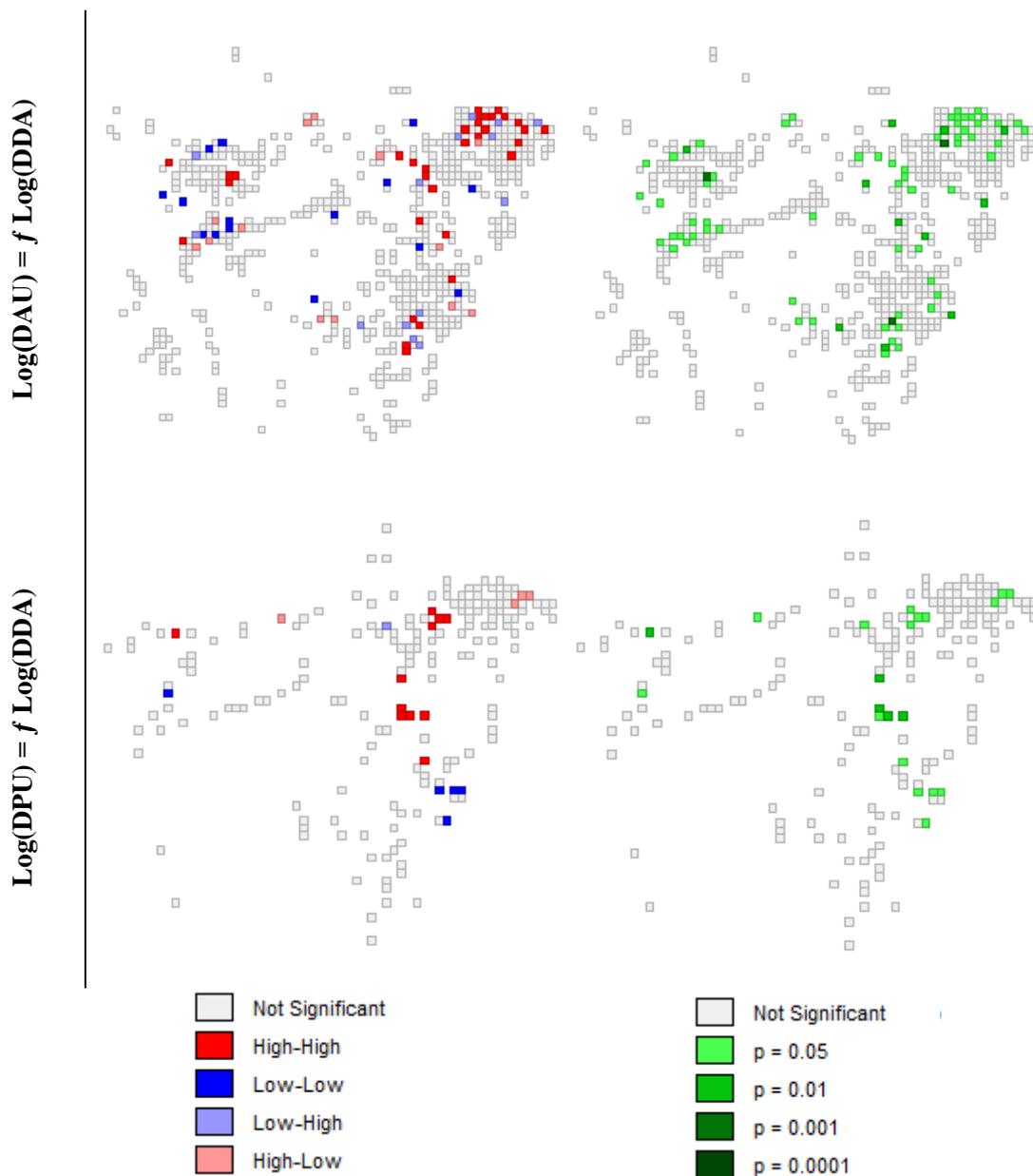
Figura G.2 – Histograma de distribuição de probabilidade dos resíduos da regressão que descreve a relação entre a população urbana e o desmatamento ( $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) na resolução celular.



Fonte: Produção da autora.

**APÊNDICE H - Mapas de dependência espacial local (LISA) dos resíduos dos modelos que descrevem a relação entre área urbana e desmatamento ( $\text{Log(DAU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) e população urbana e desmatamento ( $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) na resolução celular.**

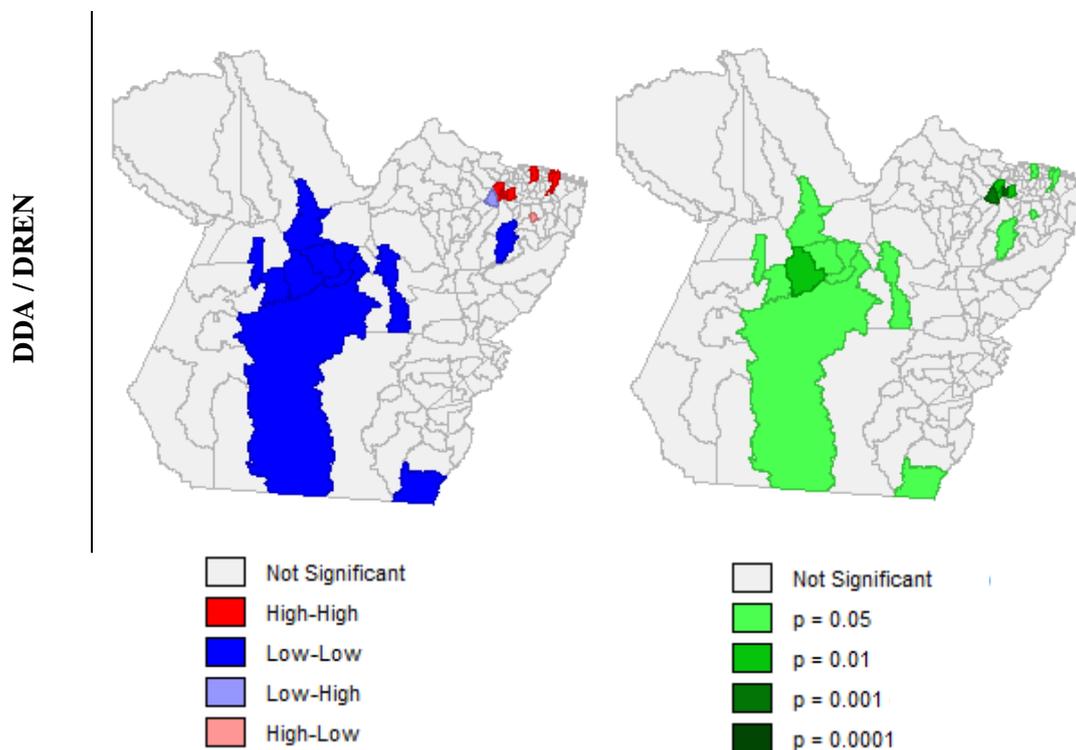
Figura H.1 - Mapas de dependência espacial local (LISA) dos resíduos dos modelos que descrevem a relação entre área urbana e desmatamento ( $\text{Log(DAU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) e população urbana e desmatamento ( $\text{Log(DPU)} = f \text{Log(DDA)}$ ) na resolução celular.



Fonte: Produção da autora.

**APÊNDICE I - Mapas de dependência espacial local (LISA) bivariado da relação entre desmatamento e renda *per capita* – DDA / DREN - na escala municipal.**

Figura I.1 - Mapas de dependência espacial local (LISA) bivariado da relação entre desmatamento e renda *per capita* – DDA / DREN - na escala municipal.



Fonte: Produção da autora.

**APÊNDICE J - Coeficientes angulares ( $\beta$ ) do modelo que descreve a relação entre o desmatamento e as variáveis socioeconômicas ( $\text{Log(DDA)} = f \text{ DREN} + \text{DREN}^2 + \text{DREN}^3 + z$ ).**

Tabela J.1 - Coeficientes angulares ( $\beta$ ) do modelo que descreve a relação entre o desmatamento e as variáveis socioeconômicas ( $\text{Log(DDA)} = f \text{ DREN} + \text{DREN}^2 + \text{DREN}^3 + z$ ).

Variável Independente	$\beta$
DREN	-0.0085*
DREN <sup>2</sup>	6.84e-005
DREN <sup>3</sup>	-2.08e-007
DIDHM	1.9588
DITHEIL	-
DHOM	0.0003
DEAE	0.0149
DPPE	-
DPPF	-
DPDVUL	-
DTXEN	0.0808
DESPN	-0.0130
DMINF	-
DPSOB	-
DPAGUA	0.0045
DPPE	-
DPPCL	-0.0063*
DPEMPC	0.0236*
DEMPSP	-0.0006
DTAGRO	0.0118
DTEXTM	0.0288
DTIND	0.0135
DTSERV	0.0338*
DTCP	0.0039
DPU	-

(\*) significante a 5%.

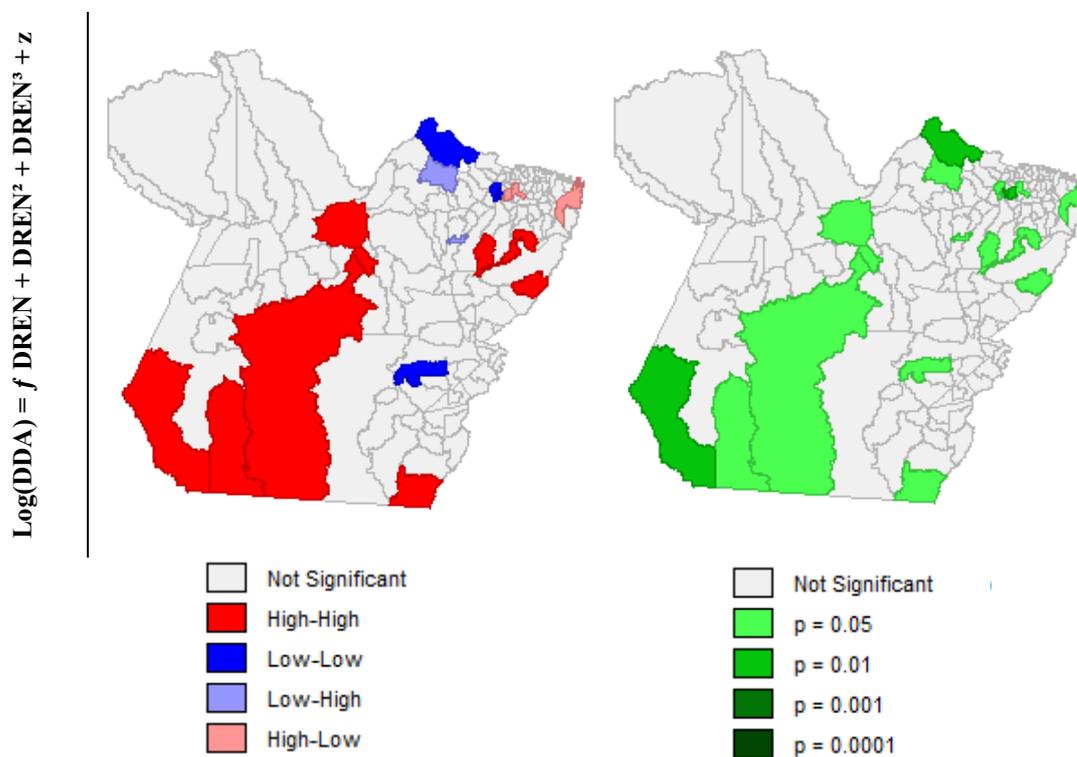
(I)  $\text{LogDDA} \sim \text{DREN} + \text{DREN}^2 + \text{DREN}^3 + z$

(II)  $\text{LogDDA} \sim \text{DREN} + \text{DREN}^2 + \text{DREN}^3 + \text{DPU} + z$

Fonte: produção da autora.

**APÊNDICE K - Mapas de dependência espacial local (LISA) dos resíduos dos modelos que descrevem a relação entre o desmatamento e as variáveis socioeconômicas ( $\text{Log(DDA)} = f \text{ DREN} + \text{DREN}^2 + \text{DREN}^3 + z$ ) na escala municipal.**

Figura K.1 - Mapas de dependência espacial local (LISA) dos resíduos dos modelos que descrevem a relação entre o desmatamento e as variáveis socioeconômicas ( $\text{Log(DDA)} = f \text{ DREN} + \text{DREN}^2 + \text{DREN}^3 + z$ ) na escala municipal.



Fonte: Produção da autora.