



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

Programa de Ciência e Tecnologia para Gestão de Ecossistemas

Ação "Métodos, modelos e geoinformação para a gestão  
ambiental"

## **Configurações Espaciais do Processo de Desflorestamento da Amazônia**

*Silvana Amaral*

*Gilberto Câmara*

*Antônio Miguel Vieira Monteiro*

Relatório Técnico

## **1 Introdução**

Apenas a dimensão da Amazônia Legal, com seus 5 milhões de km<sup>2</sup>, seria um fator suficiente para proporcionar a variabilidade de condições ambientais atribuindo a heterogeneidade espacial da região. Fatores como a presença de várias etnias e culturas, o histórico de ocupação com as conseqüentes ondas migratórias, programas de desenvolvimento regional, entre outros, contribuem significativamente para a existência de muitas "Amazônias" neste vasto território.

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

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

## **2 Regionalizações da Amazônia**

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

O estudo das configurações territoriais de Hervé (1998) se propôs a fornecer informações à Secretaria de Coordenação da Amazônia para a implantação da Política Nacional Integrada para a Amazônia Legal. Através de dados provenientes do IBGE e outras instituições, este estudo procurou determinar pontos, eixos e áreas de concentração das políticas atuantes e representá-los através de mapas e modelos gráficos.

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

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

Faz uso de modelos gráficos para resumir estas formas nos principais traços da organização territorial da Amazônia, delineando um modelo global da região, apresentado na Figura 1, estruturado em 4 quadrantes,:

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

Destaca, dentre os 7 modelos identificados, o modelo das frentes pioneiras, por ser o mais complexo, novo e ativo da Amazônia atual. Este modelo indica vários processos que se sucedem no tempo e a marca espacial se inscreve desde indicadores precoces até indicadores de situação bem consolidada: chegada da população jovem, seguida pelas produções agrícolas (arroz), produção madeireira e agrícola, pecuária, e finalmente indicadores de concentração fundiária (proporção dos estabelecimentos rurais > 5.000 ha e proporção dos assalariados na mão-de-obra).

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

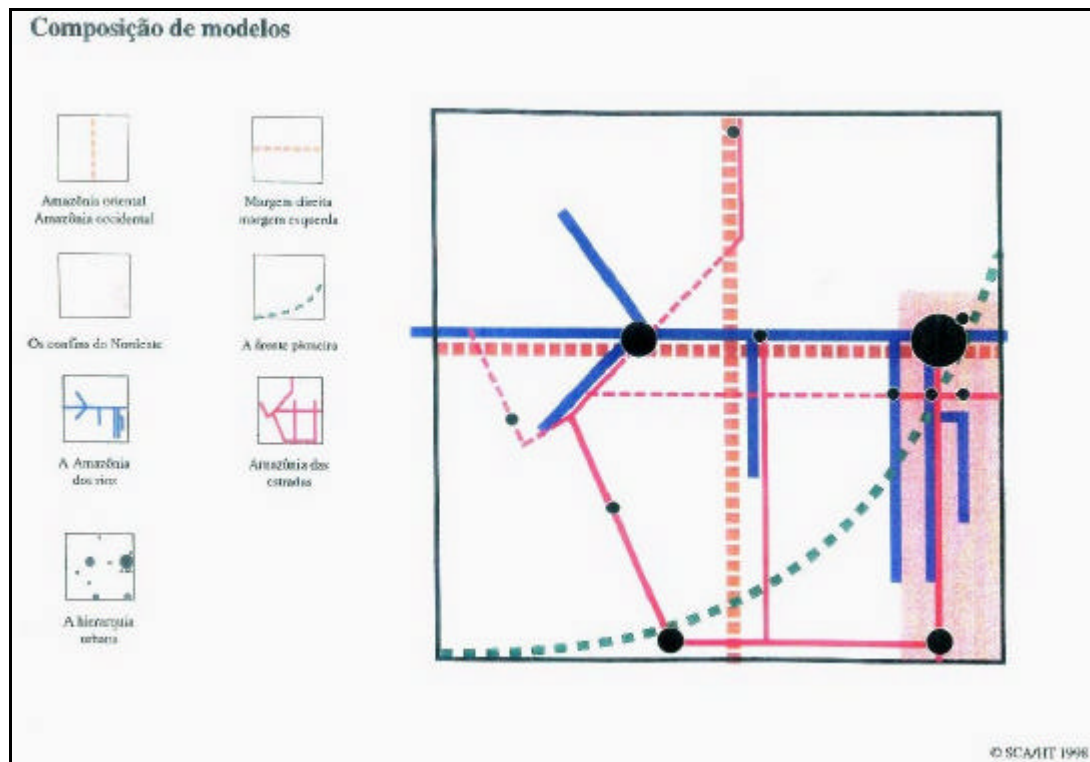


Figura 1 - Modelo de organização territorial da Amazônia Hervé (1998).

O estudo finaliza por apresentar a planificação por eixos do passado, presente e futuro. O mapa das áreas de colonização pública e programas especiais, e o mapa de IIPND, refletem os programas de planificações das décadas de 70 e 80. Para representar as estratégias atuais, o autor organiza os mapas do Programa Brasil em Ação, dos eixos nacionais de integração e desenvolvimento, propostos pelo BNDES e Ministério do Planejamento e Orçamento, e o mapa da comparação entre os eixos propostos com as ações do PPG7, identificando conflitos. Para resumir a análise anterior e indicar as perspectivas para a região, apresenta um mapa síntese das intervenções estatais e mutações do espaço amazônico (Figura 2) e o mapa dos eixos de ontem hoje a amanhã, resumindo cinco séculos de história (Figura 3).

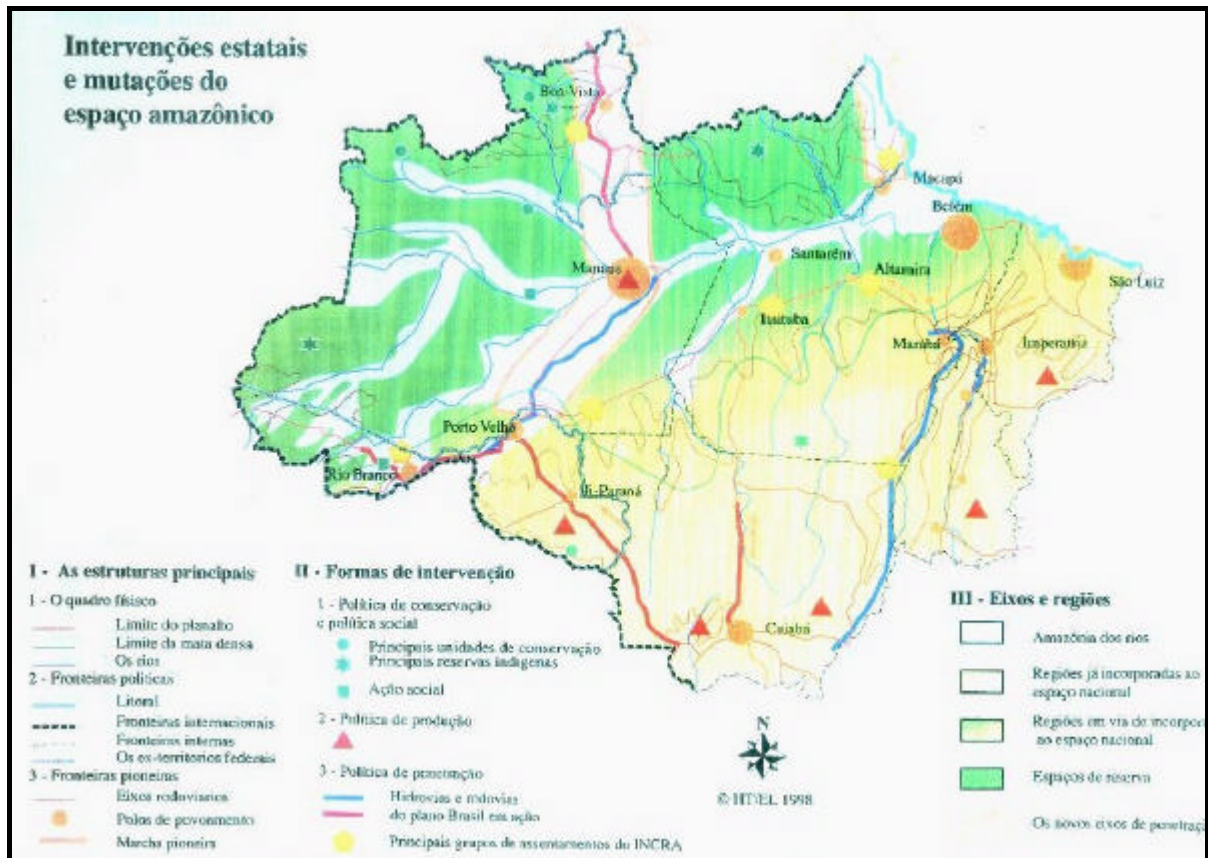


Figura 2 - Mapa síntese das intervenções estatais Hervé (1998).

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

A macroregião da Amazônia Oriental, corresponde às áreas desmatadas do sudeste do Pará e a agroindústria do cerrado matogrossense, com expansão para o Tocantins e Rondônia, de limites em Açailândia no Maranhão e Cacoal em Rondônia. A autora sugere a exclusão desta unidade da Amazônia Legal, uma vez foi uma construção geo-política, que não corresponde à presença de ecossistemas florestais. Esta macroregião seria contemplada por políticas de "consolidação de áreas dinâmicas", ou seja recuperação de áreas degradadas e apoio aos pequenos produtores, pela construção de vicinais e disponibilização de equipamento social dos núcleos urbanos, para lhes garantir estabilidade. Se a soja por exemplo, ocupar esta região como extensão das culturas do Mato Grosso, os pequenos produtores aumentarão a pressão de desmatamento.

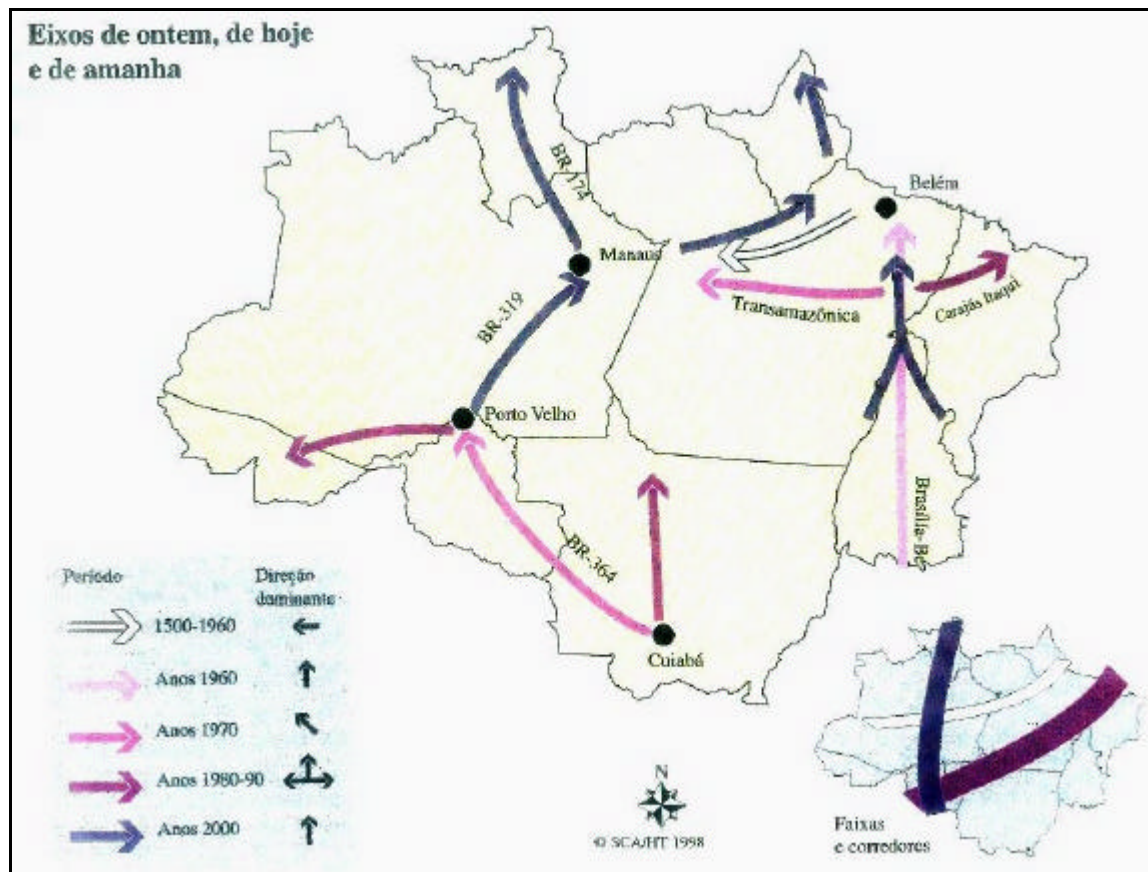


Figura 3- Eixos do passado, presente e futuro Hervé (1998).

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

A macroregião da Amazônia Ocidental ainda não possui eixos estabelecidos ou programados, e assim deveria ser objeto de política de desenvolvimento sustentável, baseado na circulação fluvial modernizada e na exploração racional produtos para mercados sofisticados como biotecnologia, madeira certificada, perfumes, óleos, essências, aromas, pesca, e na criação de áreas especiais para fortalecimento e defesa das fronteiras. Estas grandes regiões serão futuramente detalhadas em sub-regiões.

A diferença entre as duas regionalizações apresentadas encontra-se nas perspectivas futuras principalmente para a Amazônia Ocidental, para a qual Hervé (1998) prevê a consolidação do eixo de Rondônia a Roraima para os anos 2000, enquanto que Becker (2001) espera que esta região possa ser destinada ao

desenvolvimento sustentável. Contudo, há uma concordância geral, considerando que ambos exploram o processo histórico de ocupação e contextualizam os processos diante das políticas públicas previstas para a região. Ambos estudos utilizam mapas para apresentar os dados ou o resultado das análises, nenhuma informação é contudo proveniente de medidas realizadas diretamente sobre os mapas, ou de procedimentos da integração dos mesmos.

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

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

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

O processo de desmatamento na Amazônia brasileira acontece espacialmente concentrado na região da fronteira da Amazônia Legal. Este fato é evidente ao se constatar que para fins de monitoramento de queimadas, o IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis) definiu uma região denominada Arco do Desflorestamento, constituída pelos estados do Pará, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Maranhão, Amazonas, Rondônia, Acre e Tocantins (IBAMA, 1997).

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

Os termos desmatamento e desflorestamento serão usados indistintamente, seguindo o conceito do INPE (1999) e referem-se a um fenômeno dinâmico, de conseqüências das mais variadas naturezas, de causas integradas e complexas, e espacialmente estruturado. Assim sendo, constitui-se um objeto de estudo

adequado para a exploração de relações espaciais com outras variáveis e investigação de possíveis regionalizações da Amazônia.

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

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

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

Destas análises serão obtidas regionalizações baseadas nas taxas de desmatamento.

### **3.1 MATERIAIS E MÉTODOS**

Foram utilizados dados de desflorestamento da Amazônia Legal, provenientes do Projeto de Desmatamento - PRODES do INPE (1999), na forma de taxa de desmatamento ( $\text{km}^2/\text{ano}$ ) sobre a malha municipal do IBGE de 1994. Os dados referem-se às taxas de desflorestamento obtidas para os períodos de 1991 a 1992 e de 1992 a 1994, denominadas neste trabalho por TX91\_92 e TX92\_94.

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

A Tabela 1 apresenta o subconjunto de variáveis selecionadas. Os valores de cada variável foram atribuídos aos municípios da malha municipal brasileira de 1994.

Tabela 1 - Variáveis demográficas e sócio-econômicas selecionadas.

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO
DENS_POP	Densidade populacional - contagem 1996
TX91_92	Taxa de desmatamento entre 1991 e 1992 (km <sup>2</sup> /ano)
TX92_94	Taxa de desmatamento entre 1992 e 1994 (km <sup>2</sup> /ano)
PHOMENS	População de homens - contagem 1996
PMULHERE	População de mulheres - contagem 1996
PURBAN	População urbana - contagem 1996
PRURAL	População rural - contagem 1996
EMPDORES	Número de empregadas domésticas residentes - 1996
AR0Z94	Quantidade de ARROZ produzido - 1994
MAND94	Quantidade de MANDIOCA produzida - 1994
SOJA94	Quantidade de SOJA produzida - 1994
BOVI94	Quantidade de BOVINO (unidade) - 1994
LEIT94	Quantidade de LEITE produzido (ml) - 1994
MADEI94	Quantidade de MADEIRA extraída (m <sup>3</sup> ) - 1994

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

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

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

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

- Índice I de Moran (global)
- Índice c de Geary

- Diagrama de Dispersão de Moran (Moran "Scatterplot")
- Moran Local
- Estatística  $G_i$  e  $G_i^*$  e nova estatística  $G_i$  e  $G_i^*$

Considerando-se TX92\_94 uma variável dependente e as variáveis DENS\_POP, TX91\_92, PHOMENS, PMULHERES, PURBANA, PRURAL, AROZ94, MAND94, SOJA94, BOVI94, LEIT94 e MADEI94 variáveis explicativas, procedeu-se a análise de regressão linear através dos mínimos quadrados. O objetivo foi verificar se a ocorrência do desflorestamento entre 1992-94 poderia ser explicada por algum subconjunto das variáveis disponíveis.

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

### 3.2 RESULTADOS

#### 3.2.1 Análise da dependência espacial das taxas de desmatamento

Como primeira abordagem para verificação de padrões de agregação espacial, procedeu-se a comparação entre a visualização estatística (classes de desvio-padrão em relação à média) e a média móvel, com coeficiente de média móvel igual a 4, para as variáveis de desmatamento (Figuras 4 e 5). A visualização da média móvel para as taxas de desflorestamento de 91-92 e 92-94 acentuou esta atividade na região da fronteira da Amazônia Legal, apresentando configurações espaciais muito semelhante para as duas datas. As Figuras de média móvel ressaltam ainda as regiões de não-floresta, com suas taxas de desflorestamento abaixo da média, correspondendo ao leste de Tocantins e norte do Maranhão.

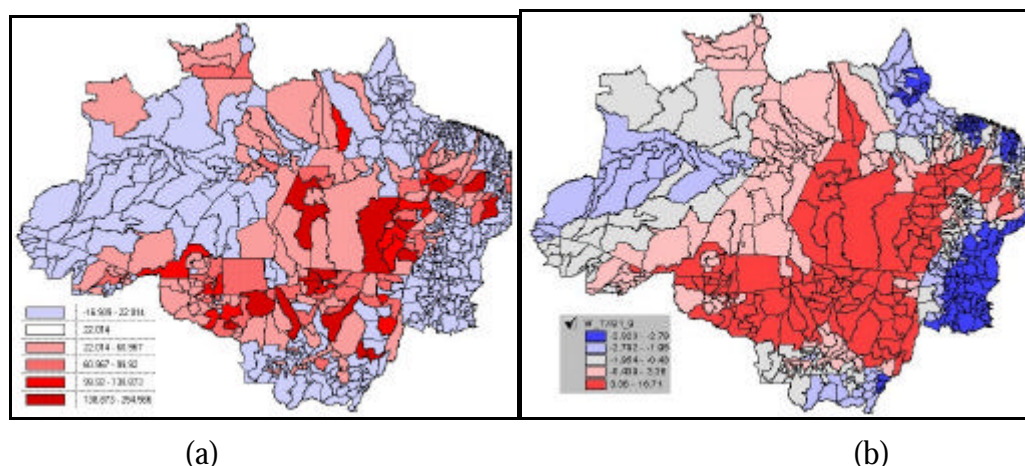


Figura 4 - TX91\_92 - (a) Visualização estatística - desvios da média e (b) Média Móvel - valores padronizados.

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

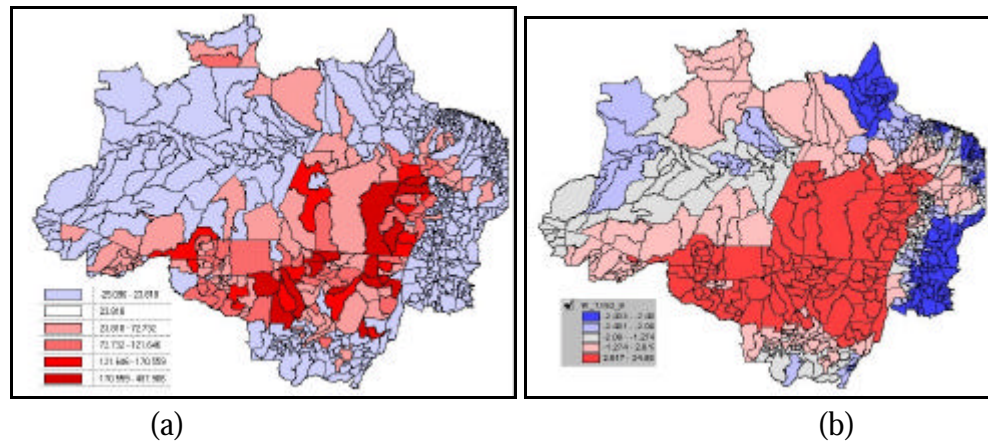


Figura 5 - TX92\_94 - (a) Visualização estatística - desvios da média e (b) Média Móvel - valores padronizados.

Os valores de índice de correlação espacial global de Moran e Geary testados encontram-se nas Tabelas 2 e 3. As variáveis destacadas nas tabelas correspondem àquelas cujos testes de probabilidade indicaram valores não significativos (probabilidade maior ou igual a 0,05), o que sugere ausência de autocorrelação espacial ou seja, aleatoriedade.

Tabela 2 - Índice I de Moran.

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

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

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

Tabela 3 - Índice c de Geary.

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

Os diagramas de dispersão de Moran realizado sobre as variáveis TX91\_92 e TX91\_92 são apresentados nas Figuras 6 e 7. Os números referentes aos municípios citados a seguir são apresentados na Figura 7.

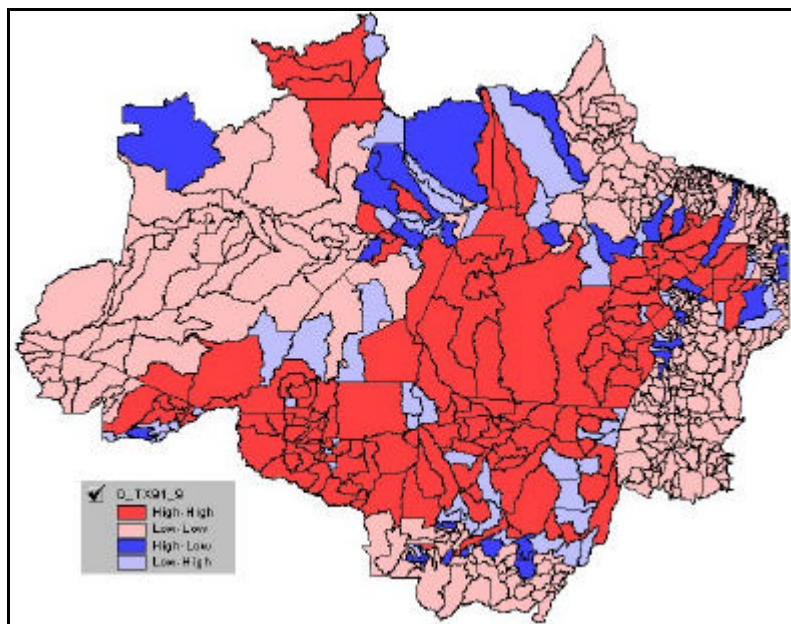


Figura 6 - Diagrama de Dispersão de Moran - TX91\_92.

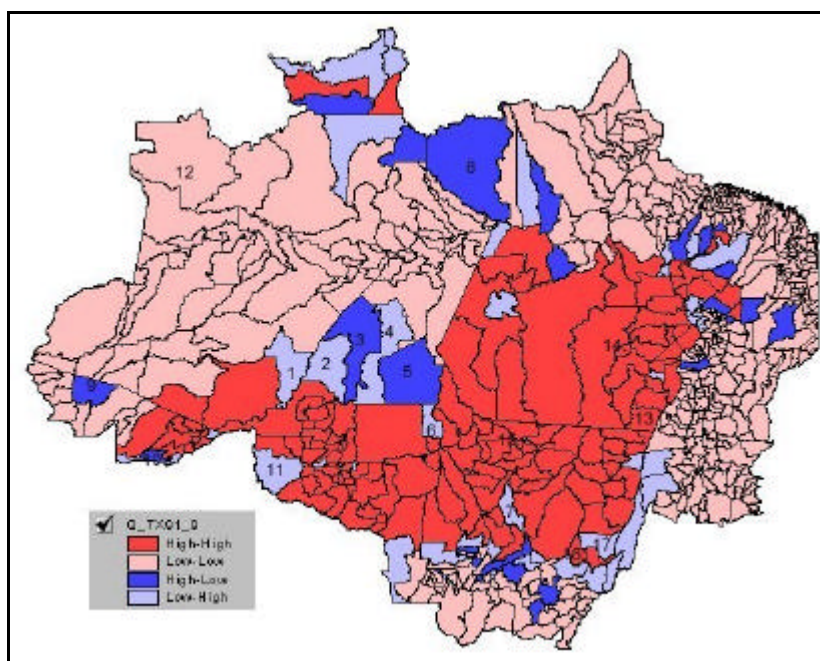


Figura 7 - Diagrama de Dispersão de Moran para TX92\_94 e localizações dos municípios citados no texto.

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

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

Verifica-se regiões de transição de regime, tanto para a TX91\_92 como para TX91\_92, exatamente nos locais de borda, contato entre a fronteira da Amazônia Legal e as áreas de fraca atividade de desflorestamento. Os municípios de Camutama (1), Humaitá (2), Novo Aripuanã (4) (Figura 7) no sul do Amazonas, indicam regiões de transição, confirmadas pelo aumento da atividade de desflorestamento (TX92\_94) dos municípios de Manicoré (3) e Apuí (5) vizinhos. A região do município de Oriximiná-PA (8), por seus valores altos em relação à vizinhança nas duas datas, e seus arredores, poderia ser indicado como região de transição, assim como o sul do Acre, em Brasiléia (10).

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

A análise quantitativa dos valores extremos do diagrama de dispersão de Moran ("outliers") é apresentada na Tabelas 4 que apresenta os valores de resíduo máximo normalizado para as 10 observações mais extremas.

Tabela 4 - "Outliers" do Diagrama de Dispersão de Moran - Resíduo Máximo normalizado para TX91\_92 e TX92\_94.

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

Observa-se que Santana do Araguaia (13), Tucumã (14), Nova Guarita(15), Campinápolis (16) e Água Boa (17) foram valores extremos para as duas datas consideradas. Estes municípios não foram espacialmente identificados (no diagrama de dispersão de Moran) como diferentes das observações vizinhas, mas são extremos de valores em relação à tendência central: Água Boa, Nova Guarita e Tucumã apresentaram baixos valores para TX91\_92 e TX92\_94, diferentemente de seus vizinhos, com altas taxas, são municípios de pequena extensão territorial. Em Campinápolis e Santana do Araguaia ocorre o oposto, altas taxas de desmatamento observadas e vizinhos com taxas pequenas.

A Figura 8 apresenta os resultados do método LISA - Moran Local aplicados sobre as variáveis TX91\_92 e TX92\_94.

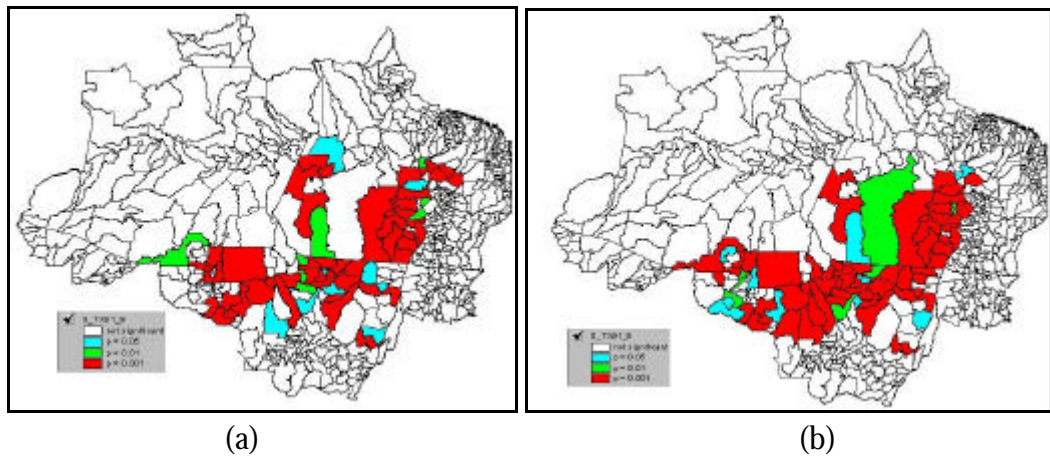


Figura 8 - Moran Local - (a) TX91\_92 e (b) TX92\_94.

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

Observa-se ainda uma tendência de aumento das áreas de desflorestamento, uma vez que os valores para TX91\_92 assemelham-se a uma expansão dos resultados obtidos para TX91\_92, como registrado em Rondônia e no Pará, através da incorporação de Altamira ( $p=0,01$ ).

A Figura 9 apresenta os resultados da nova estatística  $G_i$  para as variáveis TX91\_92 e TX91\_92 .

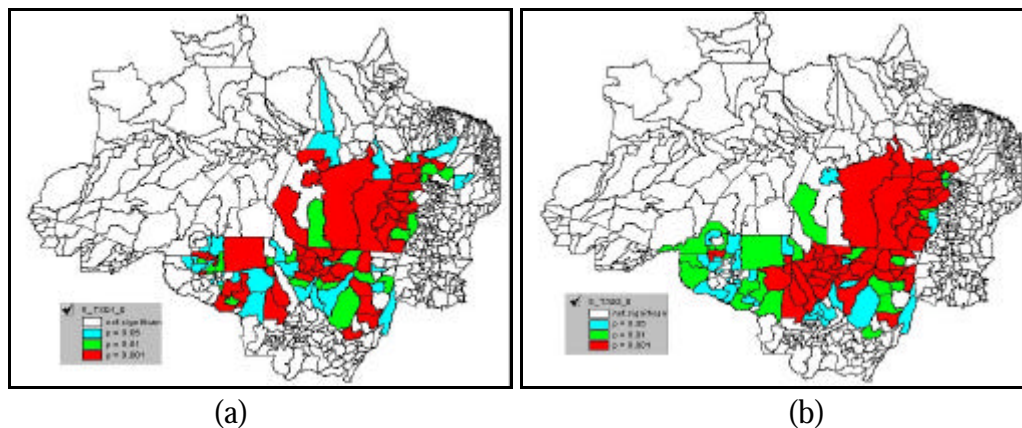


Figura 9 - Nova estatística  $G_i$  para (a) TX91\_92 e (b) TX92\_94.

De um modo geral, a introdução do valor para o município que está sendo calculado através do cálculo de  $G_i^*$ , aumenta a significância e inclui uma vizinhança maior de valores significantes (Figura 10).

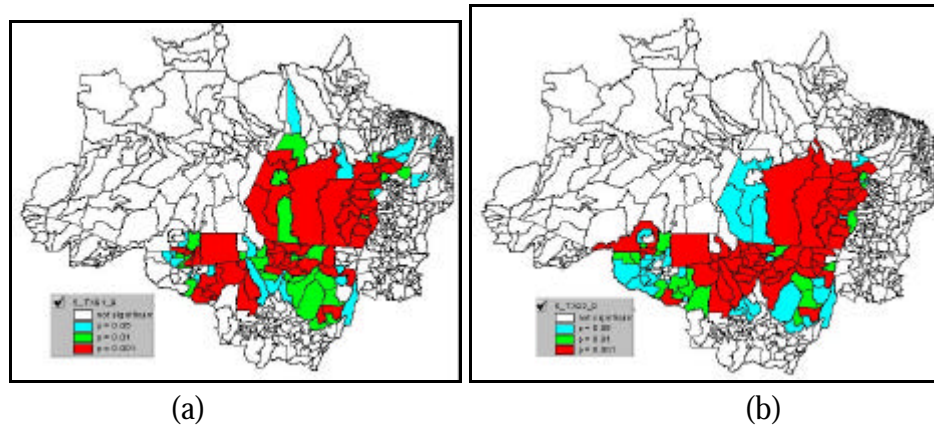


Figura 10 - Nova estatística  $G_i^*$  para (a) TX91\_92 e (b) TX92\_94.

Observa-se ainda, comparando-se a estatística  $G_i^*$  para TX91\_92 e para TX91\_92 a inclusão de áreas no oeste de Rondônia e a união dos dois principais núcleos (leste de Rondônia e Mato Grosso e outro no sul do Pará), contíguos em 1994.

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

Observa-se ainda que na região de Roraima, apesar de valores indicativos de associação espacial para a variável TX91\_92 no diagrama de dispersão de Moran, estes valores não são significativos para a estatística de autocorrelação global, como observado nos valores de Moran Local e das estatísticas  $G_i$ .

### 3.2.2 Regressão entre taxa de desmatamento 1992-1994 e demais variáveis

A Tabela 5 apresenta o resultado da análise de regressão, considerando a variável TX92\_94 como variável dependente e as demais como variáveis explicativas. Nesta encontram-se destacadas as variáveis que contribuíram para a regressão.

Tabela 5 - Valores de b, desvio padrão, t-Student e probabilidade para regressão linear entre TX92\_94 e demais variáveis

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

Foram observados valores de  $R^2 = 0,68$ , e  $R_a^2 = 0,67$ , indicando um ajuste linear. Observa-se que apenas TX91\_92, PURBAN, PRURAL e MADEI94 apresentaram valores de teste t de Student abaixo de 5% de probabilidade, sendo estas as variáveis que contribuem para a regressão linear. Contudo, excluindo-se a variável TX91\_92 para a explicação da TX92\_94, obtém-se  $R^2 = 0,15$  e um  $R_a^2 = 0,13$ , indicando inexistência de um ajuste linear entre os dados.

Avaliando-se a regressão quanto aos pressupostos necessários (Tabela 6) observou-se que há multicolineariedade nos dados, ou seja, há correlação espacial entre as variáveis explicativas. Os erros não possuem distribuição normal, há

heterocedasticidade e dependência espacial dos erros das variáveis. Os resultados da análise de regressão sugerem a existência de regimes espaciais diferentes no conjunto de dados. Este fato se confirma pela heterogeneidade da Amazônia Legal no que se refere à estratégia de ocupação do solo e conseqüentemente, na atividade de desflorestamento. Este resultado era esperado, uma vez que diversos são os fatores e agentes que atuam na região condicionando diferentes velocidades e padrões de desmatamento.

Tabela 6- Análise dos pressupostos da regressão entre TX92\_94 e demais variáveis.

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

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

### 3.2.3 Análise de Regressão considerando apenas o Estado de Rondônia

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

Como resultado obteve-se um  $R^2 = 0,70$  e  $R^2$  ajustado = 0,64 (estatística  $F = 10,9$  com probabilidade de  $5,9 \times 10^{-7}$ ), as demais estatísticas são apresentadas nas Tabelas 7 e 8 abaixo.

Tabela 7- Valores de b, desvio padrão, t-Student e probabilidade para regressão linear entre TX92\_94 e demais variáveis para Rondônia.

Variável	b Estimado	Desvio Padrão	t-Student	
			t	Prob
LOGTX91	<b>0,700</b>	<b>0,138</b>	<b>5,08</b>	<b>0,00</b>
LOGPURB	<b>-0,087</b>	<b>0,065</b>	<b>-1,35</b>	<b>0,19</b>
LOGPRUR	<b>0,319</b>	<b>0,142</b>	<b>2,24</b>	<b>0,03</b>
LAROZ94	<b>-0,041</b>	<b>0,086</b>	<b>-0,48</b>	<b>0,64</b>
LBOV94	<b>0,275</b>	<b>0,126</b>	<b>2,18</b>	<b>0,04</b>
LLEIT94	<b>-0,356</b>	<b>0,098</b>	<b>-3,62</b>	<b>0,00</b>
LMADEI94	<b>0,029</b>	<b>0,044</b>	<b>0,67</b>	<b>0,51</b>

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

Observa-se que a multicolineariedade persiste (valor maior que 30, na Tabela 8), mas os pressupostos de normalidade, homocedasticidade e ausência de dependência espacial são preservados, o que permite considerar os valores de  $R^2$  e o valor de b estimado (para as variáveis explicativas indicadas pelo teste t de Student) como válidos.

Tabela 8- Análise dos pressupostos da regressão entre TX92\_94 e demais variáveis para Rondônia.

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

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

#### 4 Considerações Finais

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

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

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

Os resultados da análise de Moran Local evidenciaram apenas a região de fronteira da Amazônia Legal como observações significantes para a estatística global de associação. Regiões da Amazônia oriental (Amazonas, Acre, Roraima e Amapá) não contribuíram significativamente para a autocorrelação espacial do desmatamento, apesar de alguns "focos" indicados no diagrama de dispersão de Moran. A região de não-floresta também não contribuiu para a associação espacial. A tendência da evolução espacial do desmatamento também pode ser observada na comparação entre os mapas de Moran Local para as taxas de 1991-92 e 1992-94.

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

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

Considerando-se apenas o estado de Rondônia, e normalizando-se as variáveis, a regressão apresentou um ajuste linear da mesma ordem ( $R^2=0,70$ ). O pressuposto de multicolineariedade persistiu, indicando a forte correlação linear entre as variáveis, porém os pressupostos de normalidade, heterocedasticidade e dependência espacial foram válidos. As variáveis TX91\_92, PRURAL, BOVI94 e LEIT94 podem ser consideradas explicativas da taxa de desmatamento de 1992-94 com nível de significância de 5%.

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

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

Ainda como resultado adicional da análise apresentada, a variável PURBANA, não apresentou autocorrelação espacial significativa, nos Índice I de Moran e c de Geary. A população urbana também não contribuiu para explicar as taxas de desmatamento de 1992-94, conforme apresentado na análise de regressão. Ao compararmos a regionalização do desmatamento (Figuras 5 por exemplo) com os padrões obtidos na análise de superfície por kernel da população urbana e da razão população urbana/população total (Figuras 2.13 e 2.14), observa-se a nítida relação inversa entre desmatamento e urbanização (medida através da população urbana como indicadora do processo).

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

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

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

industrialização no caso de Manaus, ou a concentração nas capitais como observado no Amapá e Roraima.

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

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