

ANÁLISE DA DINÂMICA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO TOCANTINS

Bernardo Campolina (CEDEPLAR/UFMG)

Érica Cristina Kneib (Universidade Federal de Goiás)

Resumo

O objetivo do artigo é analisar a relação entre desmatamento e agropecuária no estado do Tocantins a partir dos dados das imagens de Satélite Land-Sat para quatro anos – 1990, 2000, 2005 e 2007. A primeira parte faz uma caracterização do desmatamento neste período considerando-se os municípios e as oito microrregiões do estado. A segunda parte do artigo faz uma análise espacial com o objetivo de identificar se há um padrão espacial do processo de desmatamento do estado ao longo dos últimos 17 anos, que é cruzado com a malha rodoviária. A terceira parte faz uma análise estatística de correlação onde as variáveis de desmatamento (antropização) são cruzadas com diversas variáveis sócio-econômicas (população, emprego, área de plantada de grãos, rebanho bovino, emprego e emprego agrícola), onde observamos que existem correlações fortes entre o aumento da área desmatada e o crescimento da população e da produção (agropecuária) e de outras variáveis sócio-econômicas. No último tópico é apresentado um modelo econométrico cujo objetivo é explicar quais variáveis influenciaram no crescimento da área desmatada do estado, onde conclui-se que o crescimento agropecuário e populacional foram as duas principais variáveis que explicam essa dinâmica ao longo dos últimos anos.

Palavras chave: imagem de satélite; Tocantins; economia do meio ambiente; agropecuária; desmatamento.

Abstract

The aim of this article is to analyze the relation between deforestation and agriculture in the state of Tocantins, Brazil. To achieve its purpose, it uses satellite images – Land-Sat in four different years – 1990, 2000, 2005 and 2007. The first part of the article characterizes the deforestation process considering the municipalities and microrregions of the state. The second part of the article analyzes the deforestation process using a spatial analysis. This allows us to identify a pattern of the deforestation process within the last 17 years. In the third part we use an statistical analysis to identify correlations between the deforestation variables and social-economic variables, such as population growth, GDP growth, employment, planted area, cattle herd, employment in agriculture, where we observe important high positive correlations among the deforestation variable and others. In the last topic we use an econometric model with the purpose of explaining which variables explain most the growth of deforestation, concluding that agricultural and population growth are the main variables to explain the dynamics of deforestation in the state of Tocantins.

Key words: satellite image, state of Tocantins; environmental economics; agriculture; deforestation.

Código JEL:Q01- Sustainable Development; Q15- Land Ownership and Tenure; Land Reform; Land Use; Irrigation; Agriculture and Environment; Q24- Land

1 - Introdução

Atualmente, as discussões em torno da dinâmica da cobertura e uso da terra vem sendo foco de atenção da comunidade científica e política principalmente, devido a sua relação com os processos de mudanças climáticas globais, especialmente na intensificação do efeito estufa.

O aumento na concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera é atribuído às atividades antrópicas, particularmente àquelas que envolvem queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra, a qual ocasiona remoção e queima da vegetação, quer seja para urbanização, quer seja na conversão de florestas para sistemas de cultivos agrícolas destinados à produção. No Brasil, 55% das emissões de GEE são derivadas das atividades de supressão e queima de vegetação de áreas florestadas e 25% de

atividades agropecuárias, sendo de uma menor importância as emissões originadas da queima de combustíveis fósseis e setor industrial (Fernandes e Fernandes, 2008). A agricultura assume ainda destacada participação nessas mudanças de cobertura e uso da terra devido à capacidade de promover essas alterações em larga escala geográfica, gerando complexos padrões espaciais na paisagem em um processo de longa duração (Meirelles *et al.*, 2007).

Dados multitemporais de sensoriamento remoto incorporados a ambiente SIG são frequentemente empregados para análises espaciais das mudanças da cobertura e uso da terra ao longo de um período (Campbell, 2006; Lambin, Geist, 2006), considerando que distúrbios, tanto naturais quanto de origem antrópica no meio ambiente, produzem variações detectáveis na resposta espectral do alvo ou do fenômeno estudado.

Esses mapas temporais permitem identificar as tendências da dinâmica da área de estudo, incluindo suas taxas líquidas e brutas para cada período analisado, como também a evolução dessas taxas no decorrer do tempo (Soares Filho, 2005).

Nesses estudos para a detecção de mudanças ou dinâmica da paisagem, diferentes técnicas vêm sendo empregadas (Maldonado *et al.*, 2007; Shalaby, Tateishia, 2007; Verburg, Overmars, 2007), com os processos de alterações da cobertura e uso da terra, comumente representados em relação à perda da vegetação (Souza Jr., 2006; Graça *et al.*, 2007; Lu *et al.*, 2008).

Os levantamentos sobre a cobertura e o uso da terra, retratando as formas e a sua dinâmica de ocupação, também representam instrumento valioso para a avaliação da capacidade de suporte ambiental, contribuindo para a identificação de alternativas promotoras da sustentabilidade do desenvolvimento (IBGE, 2006). Contudo, no entendimento da dinâmica da cobertura e uso da terra para fins de planejamento ambiental, ressalta-se a necessidade de caracterizar os agentes envolvidos nesse processo, ou seja, as relações entre as modificações do uso da terra com fatores físicos, biológicos, sócio-econômicos e políticos (Lorena, Lambin, 2008; Silva *et al.*, 2008; Soler *et al.*, 2008). A associação de mapeamentos temporais e dados censitários, por exemplo, contribuem para o delineamento da trajetória histórica e entendimento das interações entre os fatores ambientais e sócio-econômicos que interferem na dinâmica de uma região (Alves, 2004; Batistella, Moran, 2005). Os resultados de análises de padrões de coberturas e usos da terra e seus determinantes dependem, contudo, da extensão e resolução espaciais da análise (Gibson, Ostrom, Ahn, 2000).

A Amazônia brasileira tem sido historicamente alvo de atividades antrópicas (INPE, 2008), com a conversão de regiões de florestas em áreas destinadas à agropecuária (Morton *et al.*, 2006; Souza Jr., 2006; Nepstad *et al.*, 2008), contribuindo para a alteração do ambiente e diminuição da biodiversidade (Costa *et al.*, 2007). No caso específico de Tocantins, inserido em uma região de contato dos biomas Amazônia e Cerrado (IBGE, 2004), a escassez de dados referente à expansão da ocupação, e conseqüentemente da redução das áreas de vegetação natural, ressalta a necessidade de um mapeamento atualizado do Estado, considerando ainda o fator histórico de sua paisagem.

Os dados relativos ao desmatamento foram obtidos a partir das imagens do satélite Landsat que foram devidamente tratadas e organizadas para elaboração da dinâmica, que incluíam os mapeamentos da cobertura e uso da terra de 1990, 2000, 2005 e 2007.

A seguir utilizamos a análise espacial para analisar os dados de uso e ocupação da terra, em especial a evolução da área antrópica.

A intersecção dos mapas foi realizada par a par, sendo 1990 e 2000, 1990 e 2005, 2000 e 2005, 2005 e 2007. Adicionalmente, esta operação foi realizada para os mapas de 1990 e 2007, visando entender o processo de dinâmica de forma integrada, considerando todo o período, e relacioná-lo com os fatores sócio-econômicos.

Essa atividade e as demais referentes à geração dos dados de dinâmica foram realizadas no *software* ArcGIS (versão 9.2).

2 – Análise espacial da dinâmica

A tabela 1 abaixo apresenta a evolução da área antropica e da classe de agropecuária por microrregião e para o estado do Tocantins nos anos de 1990, 2000, 2005 e 2007.

A área antropica do estado passou de 5,2 milhões de hectares em 1990 para 8,5 milhões de hectares em 2007, o que corresponde a um aumento de 3,3 milhões de hectares. Em termos relativos, o percentual da área antropica do estado passou de 19% da área total do estado em 1990 para 31% em 2007, o que representa uma taxa de crescimento média de crescimento de 2,9% ao ano.

Tabela 1 – Evolução da área antrópica (ha), percentual da área antrópica em relação à área total e percentual da agropecuária em relação à área antrópica total, para as microrregiões e para o estado do Tocantins, 1990, 2000, 2005 e 2007.

Microrregião	Variável	1990	2000	2005	2007
Araguaína	Área Antrópica (ha)	1.291.114	1.486.493	1.531.472	1.506.788
	% da área antrópica/área total	49%	56%	58%	57%
	% área agropecuária/área antrópica	99%	100%	99%	99%
Bico do Papagaio	Área Antrópica (ha)	420.908	504.420	604.782	626.377
	% da área antrópica/área total	27%	32%	38%	40%
	% área agropecuária/área antrópica	99%	99%	99%	97%
Jalapão	Área Antrópica (ha)	338.829	449.095	573.292	622.610
	% da área antrópica/área total	6%	8%	11%	12%
	% área agropecuária/área antrópica	97%	93%	84%	84%
Miracema	Área Antrópica (ha)	998.096	1.258.658	1.544.995	1.656.658
	% da área antrópica/área total	29%	36%	45%	48%
	% área agropecuária/área antrópica	98%	99%	97%	98%
Gurupi	Área Antrópica (ha)	782.453	980.196	1.110.155	1.133.045
	% da área antrópica/área total	28%	36%	40%	41%
	% área agropecuária/área antrópica	99%	99%	99%	99%
Dianópolis	Área Antrópica (ha)	374.204	597.236	745.790	1.016.948
	% da área antrópica/área total	8%	12%	16%	21%
	% área agropecuária/área antrópica	91%	88%	88%	91%
Porto Nacional	Área Antrópica (ha)	321.286	488.181	558.083	601.835
	% da área antrópica/área total	15%	23%	26%	28%
	% área agropecuária/área antrópica	97%	92%	92%	91%
Rio Formoso	Área Antrópica (ha)	754.112	1.031.517	1.271.451	1.371.981
	% da área antrópica/área total	15%	20%	25%	27%
	% área agropecuária/área antrópica	95%	96%	95%	95%
Tocantins	Área Antrópica (ha)	5.281.002	6.795.796	7.940.020	8.536.242
	% da área antrópica/área total	19%	24%	29%	31%
	% área agropecuária/área antrópica	98%	97%	95%	95%

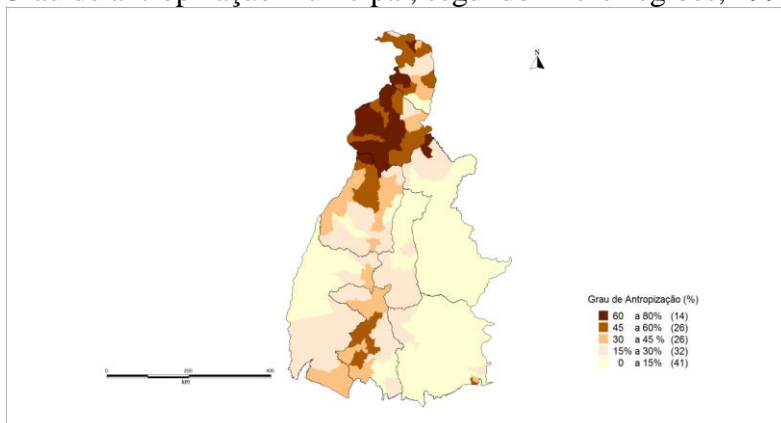
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do mapeamento.

A partir da tabela 1 é possível observar também que os padrões de uso e ocupação da terra são bastante distintos segundo as microrregiões. Enquanto a microrregião de Araguaína possui o maior percentual relativo de área antrópica do estado, 57% em 2007, a microrregião do Jalapão possui apenas 12% de sua área antropizada no mesmo ano.

Essas diferenças regionais no padrão de antropização estão ligadas a vários aspectos, dentre os quais podemos destacar, os aspectos naturais que permitem que algumas regiões sejam ocupadas de forma mais intensiva, em função de sua aptidão agrícola, mas também é preciso estar atento a construção de infra-estrutura de transportes e políticas públicas que provocam mudança no padrão de uso e ocupação da terra neste período, como por exemplo a construção da capital, Palmas. A abertura e incorporação de novas áreas a produção agropecuária também contribui para explicar as mudanças no uso e ocupação da terra.

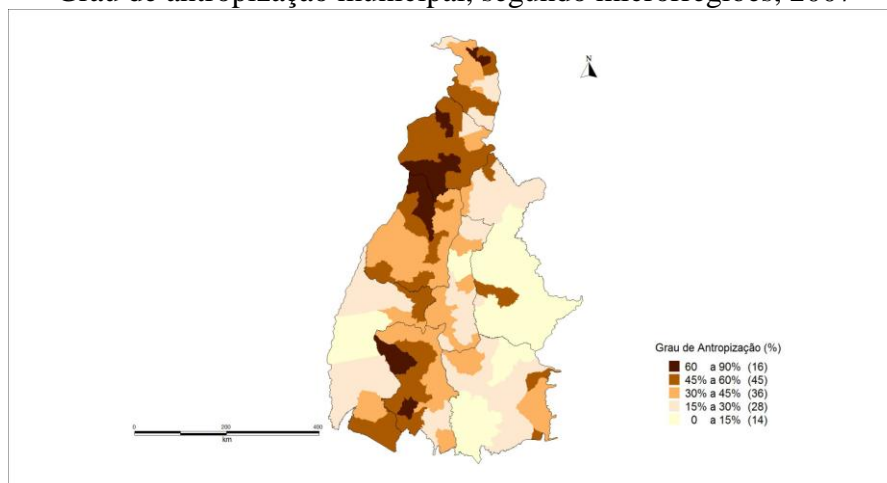
As figuras 1 e 2 abaixo apresentam o índice de antropização para cada um dos anos do mapeamento. Fica muito claro que a antropização se dá principalmente em função da abertura de eixos viários, o que ficará ainda mais claro com a análise espacial e possui correlação com a aptidão agrícola.

Figura 1
Grau de antropização municipal, segundo microrregiões, 1990



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do mapeamento.

Figura 2
Grau de antropização municipal, segundo microrregiões, 2007



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do mapeamento.

3 - Análise Espacial

Os Sistemas de Informação Geográfica – SIG constituem-se em um ferramental amplamente utilizado para o planejamento de transportes. Na fase inicial de aplicação, os SIG foram utilizados para manipulação e visualização de Banco de Dados. Posteriormente evoluíram para a realização de operações analíticas com dados numéricos, sempre partindo de dados estatísticos obtidos através de pesquisas (Taco, 1997).

Todavia, na fase atual, a capacidade de realizar a análise espacial – conjunto de técnicas que requer o acesso tanto aos atributos (*propriedades, valores medidos*) como a sua localização (*posição geográfica*) através de relações topológicas (*relações de transformação de configurações geométricas em*

funções matemáticas para interpretação do computador) e que estabelecem a relação espacial existente entre cada feição geográfica (*pontos, linhas e polígonos*) – tem sido apontada como fundamental para distinção entre outros sistemas de informação e o SIG (Maguire, 1991).

Assim, os SIG passaram a constituir um ferramental amplamente utilizado para a análise regional, pela sua capacidade de realizar análises espaciais. Dentre tais trabalhos ressalta-se a abordagem conceitual de Dantas *et al.* (1996), que definem um SIG como a integração entre banco de dados, recursos humanos, hardware adequado e ferramental para análise espacial.

Após a abordagem inicial que insere este tipo de análise em ambiente SIG, a seguir faz-se uma breve apresentação de alguns conceitos, elementos e índices afetos à análise espacial, procurando detalhar apenas os relacionados às análises inerentes a este trabalho.

Nesse contexto, é importante destacar que a análise espacial é o estudo quantitativo de fenômenos que são possíveis de serem localizados no espaço, e procura avaliar se o fenômeno estudado possui uma referência espacial ou geográfica. Para Câmara *et al.* (2000a), a ênfase da análise espacial é quantificar as propriedades e os relacionamentos dos dados espaciais que são definidos como quaisquer dados que possam ser caracterizados no espaço em função de algum sistema de coordenadas. Destarte, a idéia central da análise espacial é incorporar o espaço à análise a que se deseja fazer.

Dessa forma, a análise espacial está centrada nos processos que ocorrem no espaço, buscando descrever e analisar como interagem e se correlacionam esses processos (Krempi, 2004). Assim, a análise espacial é composta por um conjunto de procedimentos encadeados cuja finalidade é a escolha de um modelo inferencial que considere o relacionamento espacial presente no fenômeno (Câmara *et al.* 2000a). Em complementação, o conjunto amplo de técnicas que incluem métodos estatísticos e que procuram descrever a variação espacial do fenômeno em estudo, a partir de amostras disponíveis, é denominado Estatística Espacial (Lopes, 2005).

Para a análise espacial, conceitos como *dependência espacial* e *autocorrelação espacial* são fundamentais. Entende-se por dependência espacial o fato de que a maior parte dos fenômenos espaciais apresentam entre si uma relação que depende da distância (Câmara *et al.*, 2000a), atendendo à primeira lei da geografia, na qual as coisas mais próximas se parecem mais do que coisas mais distantes. A expressão computacional do conceito de dependência espacial é a *autocorrelação espacial*. A idéia é verificar como a dependência espacial varia, a partir da comparação entre os valores de uma amostra e de seus vizinhos.

Anselin (1995) divide as ferramentas de análise espacial em seleção, manipulação, análise exploratória e análise confirmatória. A seleção envolve os processos mais simples de consultas a banco de dados, com procedimentos simples de amostragem e agrupamento de dados analisados, e apresentação de tais dados em mapas temáticos. A manipulação consiste na criação de novos dados espaciais, a partir de dados anteriores.

Os processos de análise exploratória de dados espaciais (*Exploratory Spatial Data Analysis – ESDA*) permitem descrever e visualizar as distribuições espaciais globais e locais, descobrir padrões de associação espacial (*clusters*), sugerir instabilidades espaciais (não-estacionariedade) e identificar situações atípicas (*outliers*) (Anselin, 1995). Os métodos exploratórios envolvem a procura de boas descrições dos dados, a fim de ajudar o analista a desenvolver algumas hipóteses sobre o assunto e modelos apropriados para tais dados (Bailey e Gatrell, 1995). Já a análise confirmatória procura agrupar os processos quantitativos de modelagem, estimação e validação necessários à análise de componentes espaciais, com destaque para ferramentas da estatística e economia espacial.

Em complemento, destaca-se que as observações dos dados, dentro do campo de análise espacial, podem ser classificadas em quatro grupos distintos em: padrões pontuais, análise de superfícies, análise de áreas e de redes, conforme abordagem seguinte.

3.1 Análise de dados espaciais

As observações dos dados, dentro do campo de análise espacial, podem ser classificadas em três grupos distintos, segundo o padrão de como os respectivos dados estão distribuídos no espaço geográfico. A taxonomia, assim denominada, utilizada para analisar os padrões de dados no espaço considera: análise de padrões pontuais, análise de superfícies e análise de áreas (Fook, 2005; Câmara *et al.*, 2000a).

- *Análise de pontos*: tem como objetivo estudar a distribuição espacial de fenômenos que são expressos através de ocorrências identificadas como pontos localizados no espaço, também chamados de processos pontuais.
- *Análise de áreas*: é utilizada quando não se dispõe ou não é vantajoso se trabalhar com as localizações exatas dos eventos. Trabalha-se com os valores agregados a partir de polígonos regulares ou não.
- *Análise de superfícies*: o evento é estudado de forma contínua ao longo do espaço considerado.

Neste trabalho, utiliza-se a análise de áreas, para avaliação da distribuição espacial do índice de antropização no Estado do Tocantins, em escala de município. Dessa forma, a seguir, apresenta-se uma abordagem mais detalhada sobre este elemento

3.2.1 - Análise de Áreas

Na análise de áreas, busca-se identificar a existência de padrões espaciais de distribuição, aglomerados e sinais de dependência. Assim, cabe destacar que a análise exploratória de dados em áreas consiste em ferramentas estatísticas descritivas e gráficas, com a intenção de detectar padrões nos dados aplicáveis a objetos área e sugerir hipóteses por meio da imposição de um mínimo de estrutura possível. Uma etapa importante neste tipo de análise é identificar a estrutura de autocorrelação espacial que pode descrever, da melhor forma possível, os dados, a fim de estimar a magnitude dessa autocorrelação entre as áreas. As ferramentas usadas neste caso, normalmente, são os indicadores globais de autocorrelação espacial; os indicadores locais de autocorrelação espacial; e as ferramentas de análise gráfica de dependência espacial, como o diagrama de espalhamento de Moran, que também pode ser visualizado por meio do Boxmap (Câmara *et al.*, 2000b), abordados a seguir.

A) Matriz de proximidade espacial

Para a explanação sobre os indicadores de autocorrelação espacial, cabe, anteriormente, mencionar a matriz de proximidade espacial. Essa matriz, também chamada matriz de vizinhança, consiste numa ferramenta básica para estimar a variabilidade espacial de dados de área, pois é utilizada em cálculos de indicadores na fase de análise exploratória. Dado um conjunto de n áreas $\{A_1, \dots, A_n\}$, é construída a matriz $W(1)$ ($n \times n$), onde cada um dos elementos w_{ij} representa uma medida de proximidade entre A_i e A_j . Esta medida de proximidade pode ser calculada a partir de um dos seguintes critérios (Câmara *et al.*, 2000b):

- $w_{ij} = 1$, se o centróide de A_i está a uma determinada distância de A_j ; caso contrário $w_{ij} = 0$
- $w_{ij} = 1$, se A_i compartilha um lado comum com A_j , caso contrário $w_{ij} = 0$
- $w_{ij} = l_{ij}/l_i$, onde l_{ij} é o comprimento da fronteira entre A_i e A_j e l_i é o perímetro de A_i

B) Indicadores globais de autocorrelação espacial

Os indicadores globais de autocorelação espacial permitem avaliar um aspecto importante na análise exploratória, ou seja, estes mostram como os valores estão correlacionados no espaço. Tais indicadores visam estimar a dependência do valor observado de um atributo em uma área em relação aos valores desta mesma variável em localizações vizinhas. Neste contexto, destaca-se na determinação da autocorrelação espacial global o Índice Global de Moran (I).

O objetivo do Índice Global de Moran (I) consiste em verificar se, quando o desvio de uma área é grande, os desvios de suas áreas vizinhas também tendem a ser grandes (o mesmo vale para desvios pequenos), interessando o comportamento médio desse pares. O índice I varia de -1 a $+1$, onde valores próximos de 0 indicam ausência de autocorrelação espacial, próximos de -1 autocorrelação negativa e

próximos de +1 autocorrelação positiva (Silva, 2006). Esse índice é dado conforme a equação 1 (Câmara *et al.*, 2000b).

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

Onde:

- I : índice Global de Moran;
- n : número de áreas;
- z_i : diferença entre o valor do atributo no local i e a média de todos os atributos;
- z_j : diferença entre o valor do atributo dos vizinhos do local i e a média de todos os atributos;
- w_{ij} : pesos atribuídos conforme a relação topológica entre os locais i e j .

C) Indicadores locais de autocorrelação espacial

Os índices locais, ou LISA (*Local Indicators of Spatial Association*) como são conhecidos na literatura, são utilizados quando se deseja analisar a contribuição espacial de cada área individualmente (Anselin, 1995). São utilizados também para verificação da hipótese de estacionariedade do processo e a identificação de agrupamentos e pontos atípicos, ou *outliers* (Câmara *et al.*, 2000a).

D) Análise gráfica da dependência espacial

O *Diagrama de Espalhamento de Moran* e o *Boxmap* constituem formas de visualizar a dependência espacial.

O Diagrama de Espalhamento de Moran é construído com base nos valores normalizados (valores de atributos subtraídos de sua média e divididos pelo desvio padrão), e permite analisar o comportamento da variabilidade espacial. A ideia é comparar os valores normalizados do atributo numa área com a média dos seus vizinhos, construindo um gráfico bidimensional de z (valores normalizados) por wz (média dos vizinhos), que é dividido em quatro quadrantes (Figura 3). O índice de Moran I é equivalente ao coeficiente de regressão linear que indica a inclinação da reta de regressão (α) de wz em z .

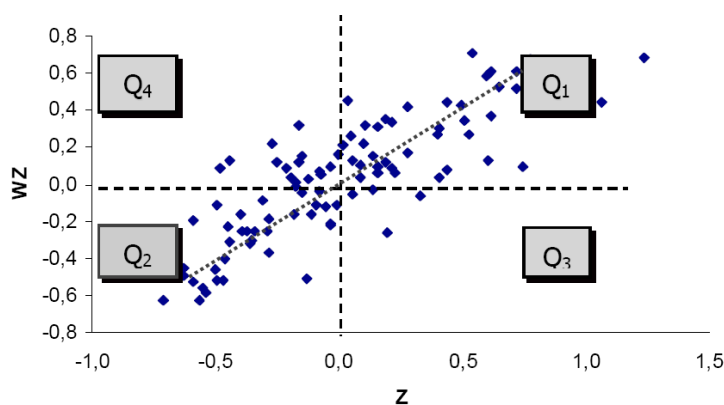


Figura 3: Exemplo do diagrama de espalhamento de Moran

Fonte: Câmara *et al.* (2000b)

Os quadrantes da Figura 3 podem ser interpretados como:

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

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

Outra maneira de apresentar o Diagrama de Espalhamento de Moran é o *Boxmap*, que consiste em um mapa temático bidimensional, onde cada polígono indica seu quadrante no diagrama de espalhamento. Os quatro quadrantes são representados por cores diferentes para facilitar a identificação. Tal forma de apresentação, além de ser mais amigável, possibilita a localização geográfica das áreas, permitindo, assim, a identificação de aglomerações.

Outro destaque para a utilização do Boxmap, é que este dispensa a utilização de valores de corte arbitrários para a identificação de áreas com valores altos e baixos da variável em análise. Destarte, para este trabalho, calcula-se o Boxmap para a variável índice de antropização dos municípios tocaninenses, e assume-se que os valores estatisticamente calculados como *altos* (valores 1 e 3 do Boxmap) correspondem aos municípios com *alto grau de antropização*; enquanto os valores estatisticamente calculados como *baixos* (valores 2 e 4 do Boxmap) correspondem aos municípios *baixo grau de antropização*. A tabela 2 resume as características dos quadrantes e dos valores visualizados no Boxmap¹.

Tabela 2: Características dos valores do Boxmap

Quadrante (do diagrama de esp. de Moran)	Representação no Boxmap	Valores representativos	Significado	Representam
Q1	1	Alto-alto	Área com vizinhos de valores semelhantes (altos)	Municípios com alto grau de antropização
Q2	2	Baixo-baixo	Área com vizinhos de valores semelhantes (baixos)	Municípios com baixo grau de antropização
Q3	3	Alto-baixo	A área (alta) possui vizinhos com valores distintos (baixos)	Municípios com alto grau de antropização
Q4	4	Baixo-alto	A área (baixa) possui vizinhos com valores distintos (altos)	Municípios com baixo grau de antropização

3.2.2. Análise espacial do Índice de Antropização no estado do Tocantins

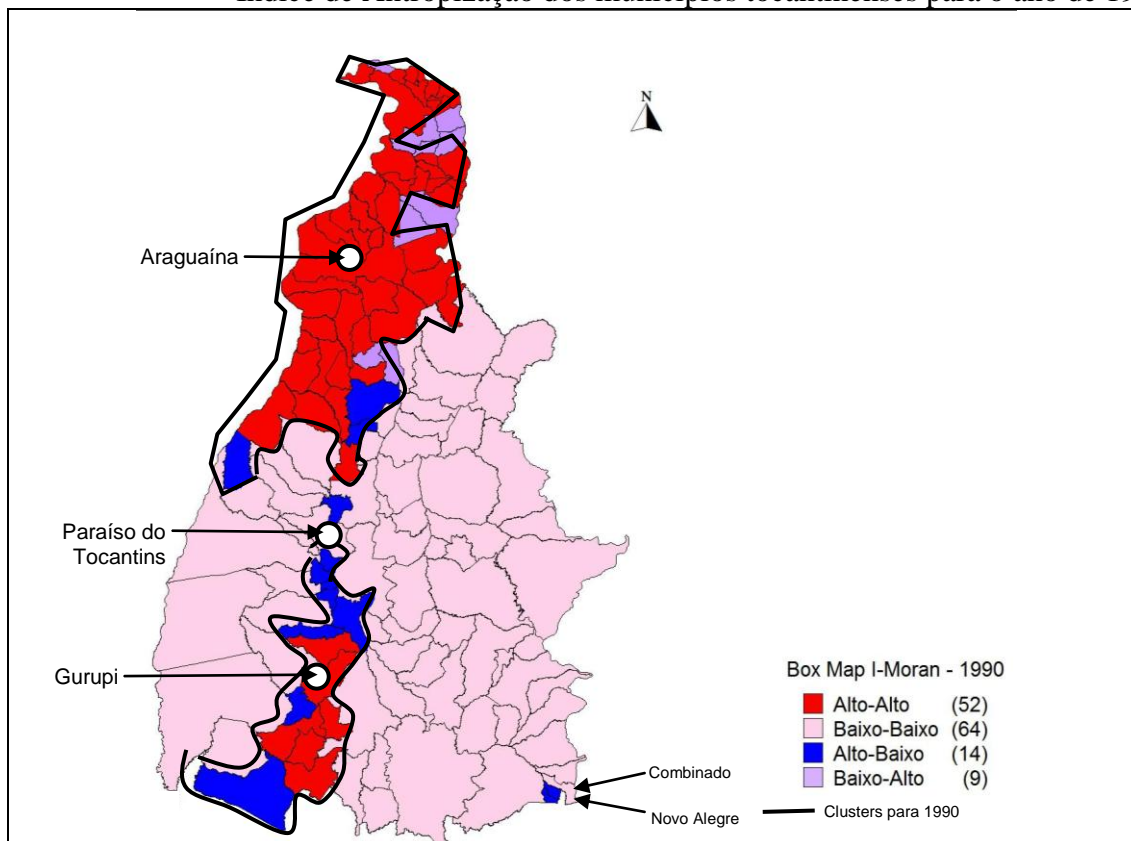
Conforme descrito no item anterior, para este trabalho, calcula-se o Boxmap para a variável índice de antropização dos municípios tocaninenses, e assume-se que os valores estatisticamente calculados como *altos* (valores 1 e 3 do Boxmap) correspondem aos municípios com *alto grau de antropização*. Esta comparação é realizada entre os próprios municípios tocaninenses. Enquanto os valores estatisticamente calculados como *baixos* (valores 2 e 4 do Boxmap) correspondem aos municípios *baixo grau de antropização*, também com a comparação relativa entre os municípios tocaninenses. Esta análise é feita para quatro períodos: 1990, 2000, 2005 e 2007.

As Figuras 4 a 7, a seguir, apresentam os Boxmaps do índice de antropização para os municípios tocaninenses, calculados para cada ano.

¹ Para o cálculo do I de Moran e da análise espacial foi utilizado o software TerraView 3.3.1 disponível no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – www.inpe.gov.br.

Para o ano de 1990, observam-se dois *clusters* de municípios com alto grau de antropização. O primeiro na região norte do Estado, tendo como centro o município de Araguaína (Figura 4), denominado para este trabalho, de *cluster norte*. O segundo *cluster* é observado na região sul, tendo como centro o município de Gurupi, denominado para este trabalho, de *cluster sul*. Na parte sul do estado, observa-se ainda um pequeno aglomerado, composto pelos municípios de Combinado e Novo Alegre, que também apresentam alto grau de antropização.

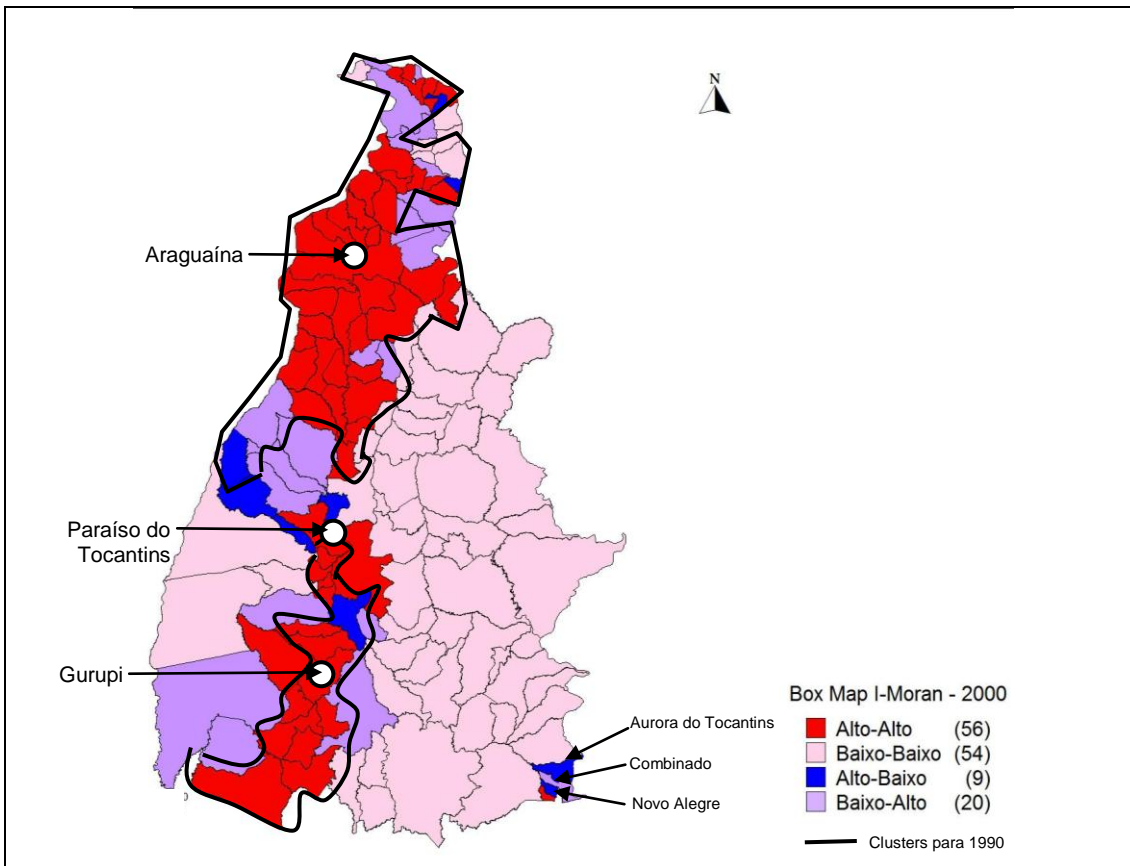
Figura 4:
Índice de Antropização dos municípios tocantinenses para o ano de 1990



Fonte: Elaboração própria.

Uma década após o mapa anterior, no ano 2000 (Figura 5), observa-se o início do desenvolvimento de um *cluster central*, próximo ao município de Paraíso do Tocantins; e observa-se que um terceiro município, Aurora do Tocantins, na parte sul, próximo aos municípios de Combinado e Novo Alegre, passa a ter um alto grau de antropização.

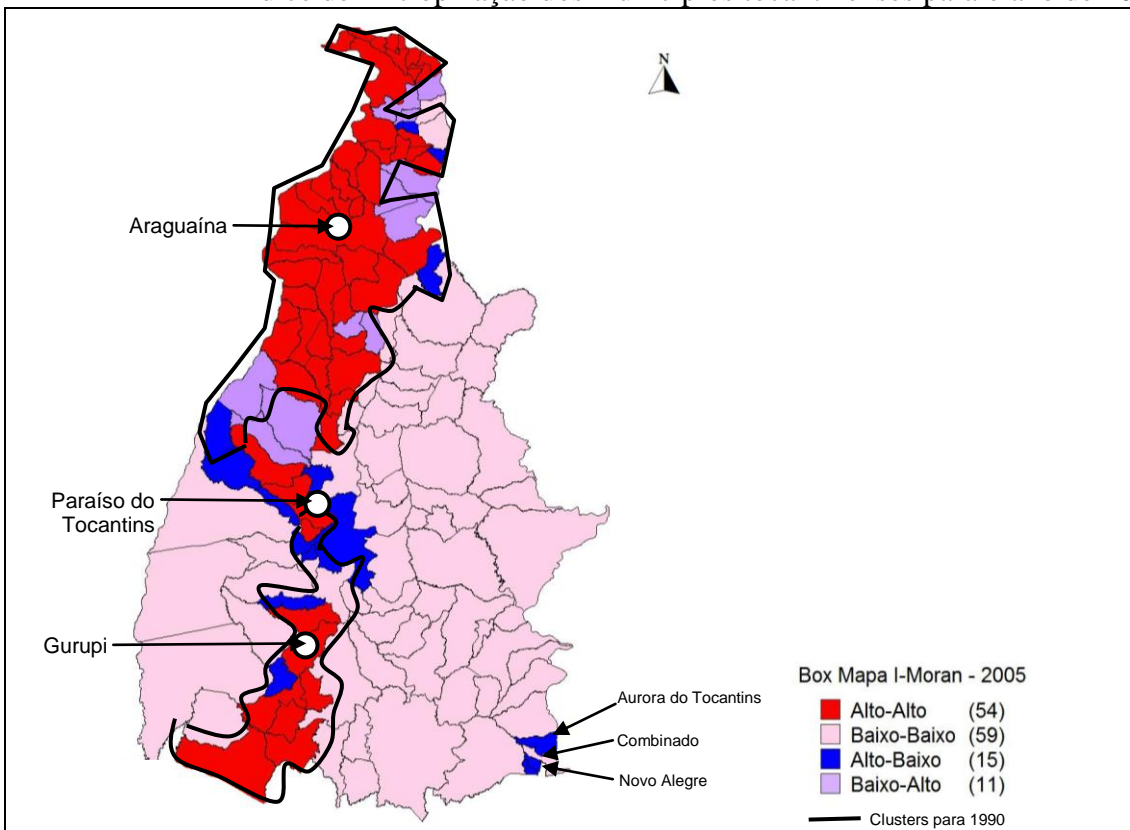
Figura 5
Índice de Antropização dos municípios tocantinenses para o ano de 2000



Fonte: Elaboração própria.

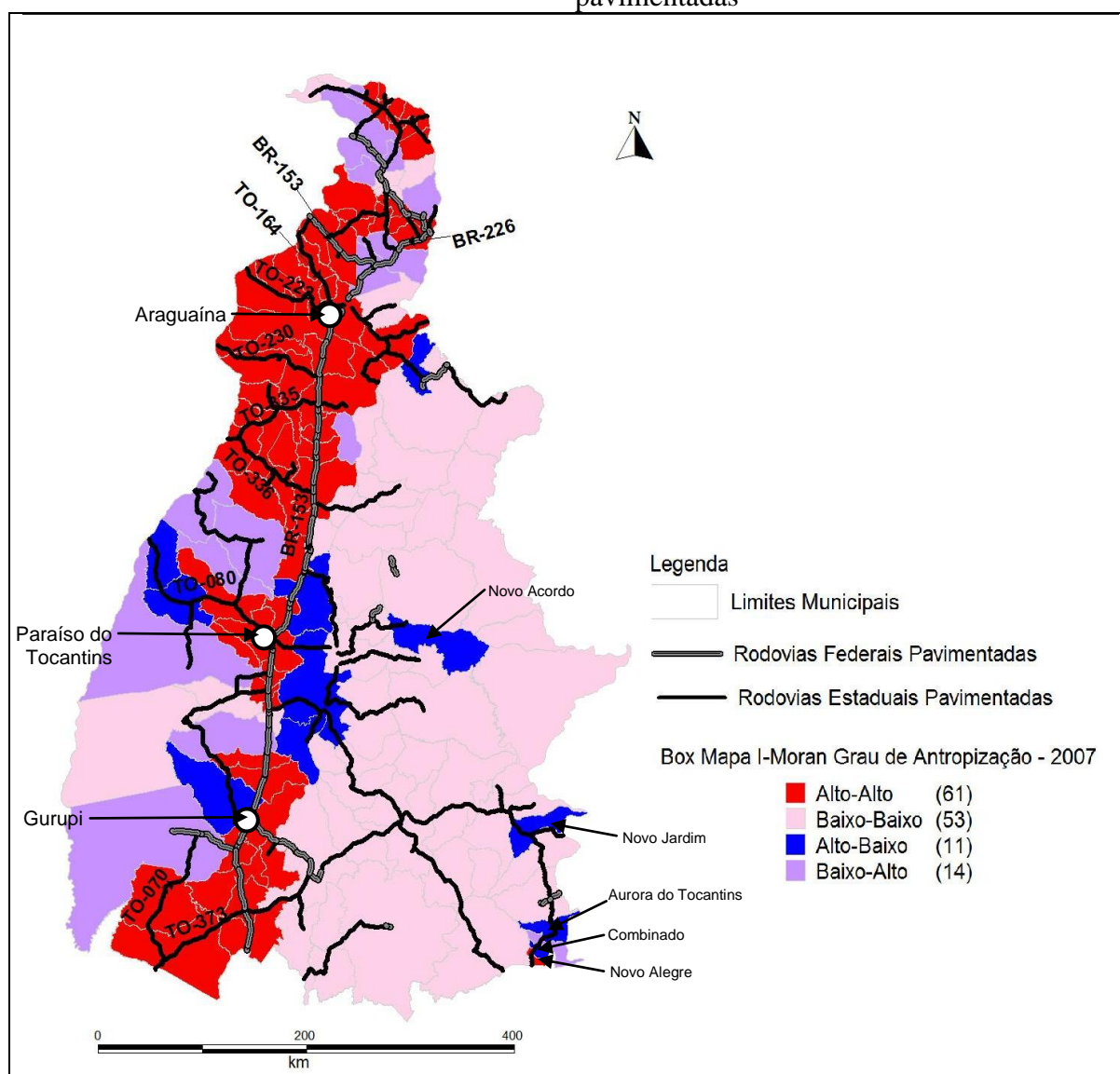
Em 2005, analogamente a 2000, observa-se a crescente consolidação do *cluster central* (próximo a Paraíso do Tocantins).

Figura 6
Índice de Antropização dos municípios tocantinenses para o ano de 2005



Fonte: Elaboração própria.

Figura 8
Índice de Antropização dos municípios tocantinenses para o ano de 2007, acompanhado das rodovias pavimentadas



4 – Análise de correlação

Para a análise da dinâmica conjunta da sócia-economia e do mapeamento será utilizada uma análise de correlação. O coeficiente de correlação, indica a força e a direção do relacionamento linear entre duas variáveis aleatórias. No uso estatístico geral, *correlação* ou co-relação se refere a medida da relação entre duas variáveis, embora correlação não implique causalidade. O mais conhecido e que será utilizado aqui, é o coeficiente de correlação de Pearson, o qual é obtido dividindo a covariância de duas variáveis pelo produto de seus desvios padrão

Foram feitas duas análises de correlação, uma considerando todos os anos do mapeamento e as variáveis socioeconômicas disponíveis, segundo as microrregiões geográficas. A outra análise de correlação foi feita para os anos de 2000 e 2007, considerando todos os 139 municípios do estado do Tocantins, para os quais existem dados comparáveis no nível de municípios.

Os resultados das correlações são apresentados na tabela 3 e indicam que no período considerado a área antrópica é positivamente correlacionada com rebanho bovino, aumento da produção de grãos, área de assentamento, emprego e população, o que está de acordo com a literatura que trata da relação entre economia e meio ambiente.

Cabe mencionar que apesar de todas serem positivas, o que indica que a medida em que a variável em questão aumenta, cresce também a área antropizada, isso não significa que essa relação é forte em todos os casos, como pode ser constatado a partir da interpretação da tabela.

Tabela 3

Análise de Correlação entre área antrópica e variáveis selecionadas para as 8 Microrregiões Geográficas - 1990, 2000, 2005 e 2007

Variável	Correlação
Rebanho	0,896
Grãos	0,245
Área Assentamento	0,679
Emprego*	0,070
População**	0,467

Fonte: Elaboração própria.

*Calculada utilizando os anos de 2000, 2005 e 2007.

**Calculada utilizando os anos de 1991, 2000 e 2007.

A tabela 4 corrobora as informações já apresentadas na Tabela 3 e são testadas ainda outras variáveis sócio-econômicas que não haviam sido analisadas anteriormente, como são o caso das variáveis de emprego agrícola, aptidão agropecuária, distância à capital.

Os resultados indicam que as correlações são todas positivas, ou seja, o aumento da área antrópica está positivamente relacionado ao aumento das variáveis sócio-econômicas analisadas. A única variável cuja correlação não é positiva é a variável distância à capital. Esperar-se-ia que quanto mais distante da capital maior fosse o grau de antropização do município, na suposição de que este município estaria mais afastado do controle do poder público e da legislação ambiental, podendo eventualmente contribuir para um maior grau de antropização. Fica, claro pelo menos para o estado do Tocantins, que o fator distância não está correlacionado positivamente com a antropização.

Tabela 4

Correlação entre área antrópica e variáveis selecionadas para os 139 municípios nos anos de 2000 e 2007

Variáveis	Correlação
População	0,328
Rebanho bovino	0,843
Grãos	0,394
Emprego agrícola	0,677
Emprego total	0,132
Distância à capital	-0,107
Assentamento	0,506
Aptidão agropecuária	0,602

Fonte: Elaboração própria.

5 - Modelo Econométrico

Para tentar identificar os fatores que afetam a área antropizada foram utilizados alguns modelos econométricos. Alguns trabalhos têm utilizado métodos econométricos para relacionar ação antrópica e atividade econômica. Gomes *et al.*, (2008) relacionamento entre desmatamento e crescimento econômico para os estados que compõem a Amazônia Legal e Soler *et al.*, (2008) calculou a probabilidade de desmatamento nas florestas de Rondônia a partir de modelos de regressão logística. Inicialmente utilizou-se um modelo de regressão linear múltipla. Para cada microregião foi estimada a seguinte equação:

$$y_{it} = x_{it}\beta + u_{it} \quad i = 1, \dots, N, \quad t = 1, \dots, T \quad (1)$$

onde y_{it} é um vetor coluna que representa a variável dependente, que neste caso é a área antropizada; x_{it} é a matriz que contem os regressores (densidade demográfica, tamanho do rebanho bovino, área planta de grãos, etc.); β é um vetor de parâmetros e o u_{it} é um vetor de erros. Inicialmente utilizado o métodos de mínimos quadrados ordinários (MQO) para a estimação da equação (1), como existiam os dados disponíveis para os anos de 2000 e 2007 para os 139 municípios do estado, os dados foram empilhados para cada município, que na literatura econômica é conhecido como MQO *Pooled*. Segundo Gujarati (2006), esta é a maneira mais simples de tratar dados que possuem duas dimensões tempo (anos) e espaço (municípios) em um modelo de regressão. Neste modelo, se pressupõe que o valor do intercepto dos municípios é o mesmo para todos e que o valor dos coeficientes angulares também são idêntico para os municípios.

A tabela 5 traz os resultados da estimação para os determinantes da área antropizada para todos os municípios tocantinenses para os anos de 2000 e 2007 estimado por MQO. Os dados apresentados indicam que os fatores que influenciam positivamente no aumento da área antropizada no estado do Tocantins foram o tamanho do rebanho bovino, a produção de grãos e o produto interno bruto. Esses resultados estão de acordo com a literatura econômica, que postula a atividade econômica exerce uma ação antrópica ao meio ambiente. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas a 1%. O modelo também mostrou um ajuste razoável (principalmente em se tratando de dados de seção cruzada), pois 75% da variação da área antropizada no ano de 2000 foi explicada pelas variáveis explicativas do modelo

Tabela 5

Resultado da regressão para todos os municípios tocantinenses (2000 e 2007)

Variável	MQO <i>Pooled</i>	Efeito Fixo
Intercepto	1,563*** (0,503)	6,879*** (0,953)
Ln(Rebanho)	0,603***	0,141 ^{NS}

	(0,065)	(0,105)
Ln(Grãos)	0,178 ^{***} (0,035)	0,021 ^{NS} (0,030)
Ln(PIB)	0,124 ^{***} (0,035)	0,204 ^{***} (0,037)
R ² Total	0,670	0,569
R ² <i>Within</i>	-	0,461
R ² <i>Between</i>	-	0,662
Hausman Prob> χ^2	-	30,71 0,000
Observações	278	278

Desvio padrões em parênteses; NS – Não significativo, *** Significativo a 1%.

Fonte: Elaboração própria.

O modelo também mostrou um ajuste muito (principalmente em se tratando de dados de seção cruzada), pois 67% da variação da área antropizada no período estudado foi explicada pelas variáveis explicativas do modelo.

Os resultados do modelo *Pooled* estimado para por MQO apesar de trazer resultados interessantes, possuem algumas limitação. A principal hipótese é que o valor do intercepto é o mesmo para todos os municípios os coeficientes das variáveis explicativas também são os mesmos. Assim, mesmo o modelo possuindo um bom ajuste e os coeficientes das variáveis sendo estatisticamente significativo, o modelo pode distorcer a relação entre a variável dependente e as variáveis explicativas.

A solução encontrada é utilizar modelos que considerem a “individualidade” de cada município. (Gujarati, 2006). A literatura econométrica sugere a utilização de dois possíveis modelos: modelo de regressão de efeitos fixos ou modelos de regressão de efeitos aleatórios. O modelo de efeitos fixos considera que o intercepto (β_{1i}) varia para cada município e os coeficientes angulares permanecem constantes entre os municípios

Para saber qual é o melhor modelo se utiliza um teste formal para se identificar qual o modelo que melhor se ajusta aos dados. Neste trabalho foi realizado o teste de Hausman, e constatou-se que modelo de efeito fixo seria a melhor opção.

No modelo de efeito fixo, os sinais dos coeficientes foram estimados de acordo com a literatura. No entanto, apenas o intercepto e o PIB foi estatisticamente significativo a 1%. E o ajuste do modelo (R² total) cai um pouco para cerca de 57%.

6 – Considerações Finais

O Estudo da Dinâmica da Cobertura e Uso da Terra do Estado do Tocantins, fez um mapeamento detalhado do uso e cobertura da terra para os anos de 1990, 200, 2005 e 2007 na escala 1:250.000, de forma que para cada ano é possível identificar 25 classes de uso conforme a metodologia detalhada no relatório final da pesquisa.

O mapeamento permite a visualização da evolução da área antrópica ao longo do período considerado, onde se pode verifica as mudanças entre classes para cada par de ano considerado, onde se constatou que as maiores conversões ocorrem entre o cerrado e a agropecuária e vice-versa. Além disso, constata-se que as regiões e municípios possuem graus bastante distintos de antropização, com regiões já bastante consolidadas com é o caso das microrregiões de Araguaína e Bico do Papagaio, e com outras, ainda com alto grau de áreas preservadas, como é o caso da microrregião do Jalapão.

Paralelamente ao mapeamento, foram realizados oito diagnósticos sócio-econômicos regionais, um para cada microrregião (Bico do Papagaio, Araguaína, Miracema do Tocantins, Rio Formoso, Gurupi, Porto

Nacional, Jalapão e Dianópolis) em que foi feito um levantamento detalhado da situação sócio-econômica de cada uma destas microrregiões, englobando, localização, área, população, densidade populacional, aspectos sociais (educação, saúde), acesso a serviços básicos (energia elétrica, saneamento), evolução do emprego, e aspectos econômicos, como evolução recente do Produto Interno Bruto e da agricultura, além de destacar algumas políticas públicas, principalmente aquelas ligada ao PRONAF e ao Programa Bolsa Família. Foi feito ainda um diagnóstico sócio-econômico consolidado para o estado, com um escopo um pouco menos abrangente, mas onde se procurou contrapor as regiões do estado no que diz respeito à população, emprego, PIB e agricultura. Conclui-se que o estado é bastante heterogêneo, possuindo regiões bastante distintas, enquanto algumas apresentam alto grau de dinamismo econômico e avanços sociais significativos, outras permanecem estagnadas e ainda carecem de políticas específicas de forma a garantir um desenvolvimento menos excludente.

O estudo procurou ainda investigar as relações entre uso e ocupação do terra e os aspectos sócio-econômicos, para isso utilizou dois ferramentais analíticos, de um lado um modelo econométrico, que buscou relacionar o aumento da área antrópica com variáveis sócio-econômicas, onde se constatou que o estado tem um aumento da área antrópica que pode ser explicado pelo crescimento populacional e pela expansão da agropecuária tradicional, ou seja, de baixos rendimentos e responsável pela abertura de novas áreas. De outro, utilizou a análise espacial na tentativa de verificar se há um padrão na dinâmica de antropização, onde se constatou que parece haver um padrão que está ligado não apenas a agropecuária, mas está também fortemente ligado a abertura e consolidação dos grandes eixos rodoviários do estado, o que corrobora o modelo econométrico proposto.

O diagnóstico pode ser uma ferramenta importante para o planejamento do estado, na medida em que permite visualizar como evoluíram ao longo dos últimos dezessete anos o uso e ocupação da terra no estado, fornecendo importante subsídio para o desenho de políticas públicas de forma a coordenar a ocupação do território, onde se sugere duas linhas gerais: uma de consolidação das áreas já ocupadas, buscando mitigar os efeitos da ação do homem sobre o meio natural, e outra de ocupação sustentável de áreas ainda bastante preservadas. Estes dois conjuntos de ações precisam ser detalhados a luz de um planejamento horizontal e vertical, que envolva as diversas áreas temáticas, tanto as áreas sociais (educação, saúde, justiça), quanto às áreas ligadas a produção (agropecuária, indústria e comércio) e seja realizado em múltiplas escalas, macro, meso e micro, que estejam articuladas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A.S.; VIEIRA, I.C.G. 2008. **Dinâmica da cobertura vegetal e uso da terra no município de São Francisco do Pará (Pará, Brasil) com o uso da técnica de sensoriamento remoto**. Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi Cienc. Nat., 3(1), p.81-92.

ALVES, H.P.F. 2004. **Análise dos fatores associados às mudanças na cobertura da terra no Vale do Ribeira através da integração de dados censitários e de sensoriamento remoto**. Tese (Doutorado em Ciências Sociais), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas. 294 p.

BARBOSA, A.S. *et al.* 2005. **Geografia: Goiás-Tocantins**. 2ª Ed. Goiânia: Editora da UFG.

BATISTELLA, M. 2001. **Landscape change and land-use/land-cover dynamics in Rondônia, Brazilian Amazon**. Bloomington: Indiana University.

BATISTELLA, M.; MORAN, E.F. 2005. **Dimensões humanas do uso e cobertura das terras na Amazônia: uma contribuição do LBA**. Acta Amaz., 35(2). Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672005000200014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: Jan. 2009.

CAMPBELL, J.B. 2006. **Introduction to Remote Sensing**. 4a edição. Guilford Press. 626 p.

- COCHRANE, T.T.; COCHRANE, T.A. 2006. **Diversity of the land resources in the Amazonian State of Rondônia, Brazil**. *Acta Amazonica*, 36(1), p. 91–102.
- COSTA, W.M.; BATISTA, M.R.; BECKER, B.K.; ALVES, D.S. **Dimensões humanas da biosfera-atmosfera na Amazônia**. EdUSP, 2007. 176 p.
- FEARNSIDE, P.M. 2005. **Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences**. *Conservation Biology*, 19(3), p. 680–688.
- FERNANDES, A.H.B.M; FERNANDES, F.A. 2008. **A Embrapa e as mudanças climáticas**. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_1/Mudancas/index.htm>. Acesso em: Jan. 2009.
- FERREIRA, M.E.; FERREIRA JUNIOR, L.G.; FERREIRA, N.C.; ROCHA, G.F.; NEMAYER, M. 2007. **Desmatamentos no bioma Cerrado: uma análise temporal (2001-2005) com base nos dados MODIS - MOD13Q1**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. Anais. vol. 1. p. 3877-3883.
- GIBSON, C.C.; OSTROM, E.; AHN, T.K. 2000. **The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey**. *Ecological Economics*, 32(2), 217–239.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2006. **Manual técnico de uso da terra**. Rio de Janeiro. 95 p. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 7, 2ª ed.).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2004. **Mapa de biomas do Brasil**. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/tematicos/mapas_murais/biomas.pdf>. Acesso em: Jan.2009.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2002. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro. 92 p. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 1).
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). 2008. **Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites: sistemas PRODES, DETER, DEGRAD e queimadas / 2007-2008**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio_Prodes2008.pdf>. Acesso em: Jan. 2009.
- KLINK, C.A.; MACHADO, R. 2005. **A conservação do Cerrado brasileiro**. In: Cardoso, J.M; Fonseca, R. (Org.). *Megadiversidade*, v. 1, p. 1-11.
- LAMBIN, E.F.; GEIST, H. 2006. **Land-use and Land-cover Change: Local Processes and Global Impacts**. Springer. 222 p.
- LORENA, R.B.; LAMBIN, E.F. 2008. **The spatial dynamics of deforestation and agent use in the Amazon**, *Applied Geography*, doi:10.1016/j.apgeog.2008.09.003.
- LU, D.; BATISTELLA, M.; MORAN, E. 2008. **Integration of Landsat TM and SPOT HRG Images for Vegetation Change Detection in the Brazilian Amazon**. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74(4), p. 421–430.
- MACHADO, R.B.; RAMOS NETO, M.B.; PEREIRA, P.G.P.; CALDAS, E.F.; GONÇALVES, D.A.; SANTOS, N.S.; TABOR, K.; STEININGER, M. 2004. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico no prelo**. Conservação Internacional, Brasília, DF.
- MALDONADO, F. D.; SANTOS, J. R.; GRACA, P. M. L. 2007. **Change detection technique based on the radiometric rotation controlled by no-change axis, applied on a semi-arid landscape**. *International Journal of Remote Sensing*, 28(7-8), p. 1789-1804.
- MEIRELLES, M. S. P.; JONATHAN, M.; FERRAZ, R. D.; ARVOR, D. 2007. **Subsídios da Geomática para a Avaliação da Influência da Dinâmica do Uso do Solo nos Serviços Ecossistêmicos**. In: Fátima Branquinho, Fatima Branquinho e Israel Felzenszwal. *Meio Ambiente: Experiências em pesquisa multidisciplinar e formação de pesquisadores*. Ed. Mauad Ltda, Rio de Janeiro. p. 113-130.

- MONTE-MÓR, R.L. 2004. **O que é o urbano, no mundo contemporâneo.** Texto para Discussão. Belo Horizonte: Cedeplar/UFMG.
- MORTON, D.C.; DEFRIES, R.S.; SHIMABUKURO, Y.E.; ANDERSON, L.O.; ARAI, E.; ESPIRITO-SANTO, F.D.B.; FREITAS, R.; MORISETTE, J. 2006. **Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon.** Proc Natl Acad Sci USA, 103, p.14637–14641.
- NEPSTAD, D.; STICKLER, C.; SOARES-FILHO, B. S.; MERRY, F. 2008. **Interactions among Amazon land use, forests, and climate: prospects for a near-term forest tipping point.** Philosophical Transactions of The Royal Society, 363, p. 1737–1746.
- RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. 2009. **Tipos de Vegetação do Bioma Cerrado.** Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_23_911200585232.html>. Acesso em: Jan. 2009.
- SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.; FERREIRA JR, L.G. 2008. **Mapeamento semi detalhado do uso da terra do Bioma Cerrado.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 43, p. 153-156.
- SILVA, M.P.S.; CAMARA, G.; ESCADA, M.I.S.; SOUZA, R.C.M. 2008. **Remote-sensing image mining: detecting agents of land use change in tropical forest areas.** International Journal of Remote Sensing, 29(16), p. 4803–4822.
- SOARES FILHO, B.S. 2005. **Análise das mudanças de cobertura do solo no Norte do Mato Grosso, Brasil.** In: XII simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, 2005. Anais. p. 3357-3364. Disponível em: <<http://martemarte.dpi.inpe.br/col/tid.inpe.br/sbsr/2004/10.27.15.15/doc/3357.pdf>>. Acesso em: Jan. 2009.
- SOLER, L.S.; ESCADA, M.I.S.; VERBURG, P.H. 2008. **Quantifying deforestation and secondary forest determinants for different spatial extents in an Amazonian colonization frontier (Rondonia),** Applied Geography, doi:10.1016/j.apgeog.2008.09.005.
- SOUZA JR., C.M. 2006. **Mapping land use of tropical regions from space.** Proc Natl Acad Sci USA, 103, p. 14261–14262.
- VEIGA, J.E. 2002. **Cidades imaginárias: o Brasil é menos urbano do que se calcula.** Campinas, SP: Editora Autores Associados.
- VERBURG, P.H.; OVERMARS, K.P. 2007. **Dynamic simulation of land-use change trajectories with the CLUE-s model.** In: Koomen, E., Stillwell, J., Bakema, A. and Scholten, H.J. (eds.). Modelling Land-Use Change. Progress and applications. The GeoJournal Library, Volume 90. Springer. p321-338.
- WALTER, B.M.T. **Fitofisionomias do Bioma Cerrado. 2006.** Tese (Doutorado em Ecologia)