



Infrações contra a Flora e Multas Aplicadas: Análise Espacial para o Brasil

Renan Porn Peres

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

renanpperes@gmail.com

Júlia Gallego Ziero Uhr

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

julia.uhr@ufpel.edu.br

Daniel de Abreu Pereira Uhr

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

daniel.uhr@ufpel.edu.br

Fecha de recepción: 27/08/2014. Fecha de aceptación: 14/01/2016

Resumo:

O objetivo do artigo é analisar a dependência e distribuição espacial das infrações contra a flora. Adicionalmente, estuda-se a relação espacial entre estas e a forma mais comum de punição aplicada aos agentes infratores, a multa. Utiliza-se a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) através do cálculo das estatísticas Global e Local de Moran (LISA), Índice de Geary e Índice de Getis globais e estatística G local. A base de dados compreende a quantidade de autuações registradas pelo IBAMA e os valores das respectivas multas aplicadas para os anos de 1998 a 2012, em nível municipal. Assim como o desmatamento, as infrações contra a flora apresentam uma forte natureza espacial. Além disso, este trabalho aponta para a mesma relação espacial entre violações e multas aplicadas. Este artigo inova ao utilizar uma base de dados inédita em pesquisa econômica e espacial.

Palavras chave: Infrações Ambientais, Multas, Flora, Análise Exploratória, Dados Espaciais.

Abstract

This article aims to analyze the dependence and spatial distribution of offenses against the Brazilian flora. Additionally, we study the spatial relationship between them and the most common form of punishment applied to offenders, the fine. We use the Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA) by calculating the Global and Local Moran (LISA) statistics, global Geary and Getis indexes, and local G statistic. The database comprises the amount of assessments recorded by IBAMA and the values of imposed fines for the years 1998-2012, at municipal level. Just as deforestation, violations against flora exhibit a strong spatial nature. Additionally, this work points to the same spatial relationship between violations and imposed fines. This paper innovates by using an unprecedented database in economic and spatial research.

Key Words: Environmental Infractions, Fines, Flora, Exploratory Analysis, Spatial Data.

JEL Codes: Q23, K42, R12.

1. Introdução

A regulação ambiental é uma parte importante da política ambiental de quase todas as nações, não sendo diferente no Brasil. Isso se deve às crescentes preocupações ambientais quanto à preservação dos ecossistemas e à ideia de

que é necessária a preservação do meio ambiente para a qualidade de vida das gerações futuras. Sendo assim, delega-se à coletividade e, principalmente, ao poder público, o poder de regulação e fiscalização das regras criadas pela sociedade¹. No Brasil,

¹ Os órgãos ambientais integrantes do SISNAMA (Sistema Nacional do Meio Ambiente) são responsáveis pela proteção e



a Lei de Crimes Ambientais (Lei Nº 9.605, 1998) e o Decreto 6.514/2008 definem as seguintes categorias de infrações contra o meio ambiente: infrações contra a fauna, infrações contra a flora, infrações relativas à poluição, entre outras. Tais legislações apresentam a aplicação de multas como principal sanção administrativa aplicável aos agentes infratores.

Neste trabalho restringimos a análise às infrações contra a flora, uma vez que esta é a principal categoria de violação, tanto em quantidade quanto em importância socioambiental. Os diversos estudos já publicados sobre o desmatamento e as discussões quando ao código florestal, proteção da Mata Atlântica, Cerrado e Amazônia demonstram a preocupação da sociedade brasileira em relação a sua flora.

Devido ao componente geográfico de tais infrações, principalmente no que se refere ao desmatamento, é de grande importância avaliar como estas se distribuem ao longo do território brasileiro. De acordo com a Primeira Lei da Geografia: “Todas as coisas dependem uma das outras, porém as que estão mais próximas dependem mais do que as que estão mais distantes” (Waldo Tobler apud Almeida, 2012). A fim de compreender o comportamento espacial das infrações contra a flora, o presente artigo tem por objetivo analisar a dependência e distribuição espacial de tais autuações. Adicionalmente, estuda-se a relação espacial entre as autuações ambientais e a forma mais comum de punição aplicada aos infratores, a multa. Para tanto, este trabalho realiza uma Análise Exploratória das infrações em sua dimensão espacial (AEDE), através do cálculo das estatísticas Global e Local de Moran (LISA) univariadas e bivariadas, Índice de Geary e Índice de Getis globais e estatística G local para detecção de “hot/cool spots”.

melhoria da qualidade ambiental no Brasil. Dentre eles, o órgão executor responsável por fiscalizar e aplicar sanções administrativas aos infratores é o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). Conforme a Lei nº 11.516 (2007) cabe ao IBAMA “exercer o poder de polícia ambiental; executar ações das políticas nacionais de meio ambiente, referentes (...) à fiscalização, monitoramento e controle ambiental; (...) de conformidade com a legislação ambiental vigente”.

A base de dados compreende a quantidade de autos de infração registrados pelo IBAMA (com os valores das respectivas multas aplicadas) para os anos de 1998 a 2012 em nível municipal (5.564 municípios do Brasil). Esta base de dados jamais foi utilizada para pesquisas no campo da economia ambiental ou espacial. Desta forma, as análises empregadas constituem-se em uma novidade, principalmente quanto à perspectiva espacial. Os resultados obtidos podem complementar os estudos existentes sobre o desmatamento, uma vez que os dados empregados são mais abrangentes espacialmente. Este estudo é, então, relevante para avaliar as políticas públicas em vigência e nortear a implantação de novas políticas no âmbito da fiscalização ambiental.

O trabalho está estruturado da seguinte maneira. A próxima seção traz a revisão da literatura empírica existente sobre violações ambientais e sanções aplicáveis. A seguir, apresentam-se os dados e a metodologia. A seção 4 trás os resultados e a discussão das análises empregadas. Por fim, apresentam-se as conclusões.

2. Revisão da Literatura

A visão tradicional de direito e economia, originada em Becker (1968), Stigler (1970) e Posner (1997), assume que a atitude criminosa decorre de uma análise racional dos custos e dos benefícios envolvidos com o crime, comparados com o retorno em dedicar tempo e recursos em atividades legais. Russell, Harrington & Vaughan (1986) aplicaram esta estrutura ao controle da poluição, de modo que uma firma é interpretada como um agente econômico racional que decide violar os padrões ambientais quando a utilidade esperada da violação excede as punições esperadas pela firma. Então, por exemplo, uma firma, ao decidir se despeja em um rio dejetos proibidos por lei, pondera os ganhos da infração (não arcar com o custo de reciclagem ou de disposição correta), com a probabilidade de ser descoberta, o valor da multa e as demais sanções que sofrerá. Além disso, a firma pode incorrer em custos



indiretos se descoberta, tais como má publicidade ou relações desgastadas com o regulador (autoridade ambiental).

Nos primeiros artigos empíricos sobre o tema, o foco de estudo estava nos mecanismos de monitoramento e punição disponíveis para as agências regulatórias. Magat e Viscusi (1990) e Laplante e Rilstone (1996) investigaram o impacto de inspeções e a ameaça de inspeções, respectivamente, para as taxas de adequação às normas de poluição da água e emissões de resíduos na indústria de papel americana e canadense. Gray e Deily (1996) estenderam a análise incluindo sanções não-monetárias para as taxas de cumprimento da legislação de poluição do ar na indústria de aço dos Estados Unidos. Nadeau (1997) conclui que as atividades de monitoramento e aplicação da legislação reduzem o tempo em que as firmas estão em desacordo com os parâmetros de poluição do ar na indústria de papel americana. Helland (1998) analisa a indústria de papel americana com respeito à regulação de poluição da água e conclui, em contraste com artigos anteriores, que as inspeções não afetam as taxas de cumprimento/adequação à legislação. Sigman (1998) e Viladrich-Grau e Groves (1997), estudando a indústria do petróleo, concluem que as multas não têm efeitos impeditivos sobre as infrações.

São muitos os artigos recentes, de literatura estrangeira, que testam empiricamente o efeito impeditivo que o monitoramento e a aplicação de sanções têm sobre as violações ambientais, tanto na sua perspectiva formal (atuação do governo), quanto informal (atuação de setores privados da sociedade). Dasgupta, Hettige e Wheeler (2000) estudam o impacto das características da firma, mercados, regulação formal e informal (pressão da comunidade) sobre o controle da poluição para fábricas mexicanas. Stafford (2002, 2003) examina os impactos do aumento das penalidades e do gasto do governo americano com meio ambiente para a disposição ilegal de resíduos perigosos em firmas dos Estados Unidos. Anton et al (2004) estudam a influência de incentivos de mercado sobre a adoção voluntária de sistemas de gestão ambiental e o efeito

destes sobre o desempenho ambiental das 500 maiores empresas americanas de capital aberto. Shimshack e Ward (2005) examinam o impacto que uma multa tem sobre a taxa de infrações ambientais cometidas por empresas da indústria americana de papel, focando na reputação do regulador e nos efeitos transbordamento, ou seja, como uma multa aplicada em uma firma ajuda a reduzir a taxa de infrações ambientais em todo o estado onde a empresa está localizada. Já em artigo publicado em 2008, também para a indústria americana de papel, Shimshack e Ward (2008) argumentam que sanções criminais não só têm um papel impeditivo importante como elas também garantem o cumprimento da legislação acima do esperado. Por outro lado, Rousseau (2008), ao testar os efeitos da probabilidade de inspeção e do tamanho das multas aplicadas à indústria têxtil, não encontra evidências para a efetividade desta última. Por fim, Almer e Goeschl (2010) exploram dados em painel para estudar o efeito impeditivo da execução criminal sobre ofensas ambientais na Alemanha.

Quanto às evidências para o Brasil, são poucos os artigos que exploram o tema. Dois trabalhos similares são Ferraz e Seroa da Motta (2002) e Seroa da Motta (2006). O primeiro estuda os impactos da regulação formal e informal sobre a decisão de investimento ambiental em indústrias do estado de São Paulo. O segundo analisa os determinantes do desempenho ambiental de empresas brasileiras em relação às características da firma, às demandas das comunidades e aos incentivos de mercado. Já Uhr e Uhr (2014), utilizando dados de infrações ambientais contra a flora, para os estados brasileiros, testam a reputação do regulador no combate a violações ambientais. As variáveis empregadas para testar a reputação são os valores das multas lavradas no estado (efeito específico) e nos estados vizinhos (efeito "spillover"). Os autores concluem que uma multa aplicada em um estado sinaliza de forma crível a disposição da autoridade ambiental em aplicar multas em outros estados, amplificando o impacto deste tipo de sanção no Brasil. Em outro artigo, Uhr e Uhr (2015) utilizam dados de



autos de infração de poluição para testar o papel dos agentes privados no combate a infrações ambientais. Os autores concluem que tais agentes informais, representados por ONGs ambientais e comunidades, de fato ajudam a reduzir a oferta de crimes ambientais no Brasil.

É importante destacar que nenhum dos artigos citados nesta revisão utiliza a metodologia de econometria espacial ou faz uma análise espacial descritiva para avaliar se há ou não um componente geográfico nas infrações contra o meio ambiente. Isso se dá tanto em função da pergunta a ser respondida pelos trabalhos, quanto em função da estrutura das bases de dados disponíveis. O artigo de Uhr e Uhr (2014) utiliza indiretamente esta metodologia ao avaliar os transbordamentos espaciais da variável independente para multas entre estados vizinhos, entretanto os autores não aprofundaram a análise por possuírem apenas dados agregados para os estados brasileiros. Os próprios modelos tradicionais de economia do crime não englobam tal dinâmica espacial.

Já em artigos de outras áreas, tais como em estudos sobre desmatamento, desenvolvimento econômico² e criminalidade em geral³, o uso do instrumental econométrico espacial é bastante difundido. Para uma revisão ampla dos determinantes do desmatamento na Amazônia Legal e outras regiões, envolvendo o instrumental espacial, os autores indicam a leitura dos seguintes textos: Chomitz & Gray (1996), Chomitz & Thomas (2003), Kampel, Câmara & Quintanilha (2000); Margulis (2003), Nelson & Geoghegan (2002), Oliveira et al (2011), Pfaff (1999) e Pfaff et al (2007).

3. Dados e Método

A base de dados utilizada compreende a quantidade de autos de infração registrados pelo IBAMA e os valores das respectivas multas aplicadas para os anos de 1998 a 2012 em nível municipal (5.564 municípios do

Brasil). Na base, estão registrados autos de diversas categorias, incluindo violações contra a flora, fauna, ecossistema, controle ambiental, poluição, entre outras. Os dados foram obtidos junto ao Ministério do Meio Ambiente (MMA). Neste trabalho, restringimos as análises às infrações contra a flora, uma vez que esta é a principal categoria de autuação, tanto em quantidade quanto em importância socioambiental (os diversos estudos sobre o desmatamento e as discussões quando ao código florestal, proteção da Mata Atlântica, Cerrado e Amazônia demonstram a preocupação da sociedade brasileira em relação a sua flora).

A Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605, 1998) e o decreto 6.514/2008, que dispõe sobre a especificação das sanções aplicáveis às condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, definem as seguintes infrações contra a flora: destruir ou danificar floresta ou demais formas de vegetação natural em área considerada de preservação permanente; Cortar árvores em área considerada de preservação permanente ou cuja espécie seja especialmente protegida; Provocar incêndio em mata ou floresta; Cortar ou transformar em carvão madeira de lei; Impedir ou dificultar a regeneração natural de florestas; Desmatar, a corte raso, florestas ou demais formações nativas, fora da reserva legal; entre outras. Além disso, tais legislações apresentam a multa como principal sanção administrativa aplicável aos infratores. É importante frisar que a Lei de Crimes Ambientais, em seus artigos nº 6 e nº 15 considera como agravante a reincidência do infrator, implicando em majoração da pena/multa aplicada pela autoridade ambiental. Desta forma, cometer vários crimes de menor potencial ofensivo pode resultar em uma multa maior que uma única infração de maior potencial de degradação.

Destacamos que esta base de dados jamais foi utilizada para pesquisas no campo da economia ambiental ou espacial. Assim, as análises empregadas constituem-se em uma novidade para o estudo das violações ambientais no Brasil, principalmente quanto à perspectiva espacial. Além disso, os resultados obtidos podem complementar os

² Ver Nunes (2013) e Monastério & Ávila (2004).

³ Ver Oliveira (2008) e Anselin et al (2000).



estudos existentes sobre o desmatamento, uma vez que o conjunto de dados é muito mais abrangente, em termos espaciais, do que nas análises convencionais.

A fim de compreender o comportamento das autuações contra a flora, o presente artigo tem por objetivo analisar a dependência espacial e distribuição territorial de tais violações, utilizando a Análise Exploratória dos Dados Espaciais (AEDE). A AEDE representa o ponto de partida para a modelagem econométrica, uma vez que ela permite descobrir se os dados em determinada área são distribuídos aleatoriamente ou se seguem um determinado padrão espacial, tendo por base técnicas que permitem a descrição e visualização de distribuições espaciais e padrões de associação espacial, entre outras características (Almeida, 2012).

3.1 Medidas de autocorrelação espacial Global

Para avaliar a distribuição espacial das infrações ambientais e identificar padrões de dependência espacial, foram calculados inicialmente os Índices de Moran Global (I de Moran) na perspectiva univariada⁴ e bivariada⁵. O I de Moran fornece um único valor como parâmetro da associação espacial (autocorrelação espacial) para todo o conjunto dos dados, ou seja, para os municípios brasileiros conjuntamente. O Índice de Moran Global fornece três informações principais: o nível de significância mostra se os dados estão distribuídos aleatoriamente no espaço ou não; a magnitude da estatística fornece a força da autocorrelação espacial; já o sinal indica se os dados estão concentrados ou dispersos. Assim, valores positivos (entre 0 e 1) indicam uma correlação direta e valores negativos (entre -1 e 0), uma correlação

inversa. Valores próximos a zero indicam ausência de correlação.

Em termos matriciais, a estatística I de Moran Global Univariada é dada por

$$I^z = \frac{n}{S_0} \frac{z'Wz}{z'z} \quad (1)$$

onde n é o número de municípios (5.564), z é um vetor de valores padronizados representando a quantidade de autos de infração, Wz é um vetor com valores médios da quantidade de violações ambientais padronizada para os municípios vizinhos, dada a matriz de ponderação espacial⁶ W . Por fim, S_0 significa o somatório de todos os elementos da matriz de pesos espaciais.

$$I^{z_1, z_2} = \frac{n}{S_0} \frac{z_1'Wz_2}{z_1'z_1} \quad (2)$$

onde n é o número de municípios (5.564), z_1 é um vetor de valores padronizados representando a quantidade de autos de infração, Wz_2 é um vetor com as médias padronizadas dos valores das multas aplicadas nos municípios vizinhos, dada a matriz de ponderação espacial W . Por fim, S_0 significa o somatório de todos os elementos da matriz de pesos espaciais.

Para a análise global univariada também foram calculados como base de comparação ao I de Moran, a estatística c de Geary e a estatística G de Getis-Ord. A primeira, assim como o I de Moran, assume a forma de um coeficiente de autocorrelação, mas com interpretação distinta. Se os dados forem concentrados espacialmente (autocorrelação espacial positiva), o índice assume valor entre 0 e 1 (dada a significância estatística). Se os dados forem dispersos (autocorrelação espacial negativa), o c tem valor entre 1 e 2. Quanto à magnitude da estatística c de Geary, se esta estiver mais próxima do zero, maior a concentração dos dados; se mais

⁴ Em termos gerais, na análise univariada, a aleatoriedade espacial significa que a quantidade de violações contra a flora em um município não depende das quantidades registradas de infrações em municípios vizinhos.

⁵ No caso bivariado, para que haja independência espacial, a quantidade de violações em um município não pode depender dos valores das multas aplicadas em municípios vizinhos.

⁶ Cada elemento da matriz de ponderação espacial (W) representa o grau de conexão entre duas regiões, demonstrando a influência de uma região sobre outra. Para uma revisão sobre as principais tipologias da matriz W (convenções Rainha e Torre para contigüidade, e Distância Inversa para distância geográfica) os autores sugerem a leitura de Almeida (2012).



próxima de dois, mais dispersos estes estarão. A existência de autocorrelação espacial é dada pelo nível de significância. A segunda é considerada apenas uma medida de concentração espacial, detectando apenas a autocorrelação espacial positiva. Se rejeitada a hipótese nula de que os dados estão concentrados, isto pode significar aleatoriedade espacial ou que os dados estão dispersos espacialmente⁷.

3.2 Medidas de autocorrelação espacial Local

A indicação de padrões globais de correlação espacial não necessariamente se traduz em padrões locais. Conseqüentemente, o I de Moran Global e os demais índices apresentados são estatísticas incompletas, uma vez que é desejável examinar os padrões espaciais em uma escala detalhada. Desse modo, é preciso utilizar indicadores de associação espacial que possam ser relacionados às diferentes localidades de uma variável distribuída espacialmente. Para tanto, utiliza-se o I de Moran Local, também chamado de Indicador Local de Associação Espacial, e a estatística G_i Local para detecção de “hot/cool spots”.

Em termos gerais, o Indicador Local de Associação Espacial (LISA), ou I de Moran Local, é um parâmetro estatístico que fornece valores específicos de correlação espacial para cada município, isto é, são calculadas n (5.564) computações da estatística de Moran. De acordo com Anselin (1995), o I de Moran Local apresenta a propriedade de que, o somatório dos indicadores locais, é proporcional ao I de Moran Global. Além disso, os indicadores locais permitem a identificação de situações atípicas, através de padrões de associação espacial e agrupamentos de valores semelhantes (“clusters”) significativos estatisticamente. Este conjunto de informações pode ser apresentado em mapas, os quais expressam os padrões de associação espacial presentes nos dados que podem ser dos tipos: Alto-Alto

(AA)⁸, Baixo-Baixo (BB)⁹, Alto-Baixo (AB)¹⁰ e Baixo-Alto (BA)¹¹, além da ausência de correlação espacial. Assim como no caso do Índice de Moran Global, utiliza-se a análise LISA nos casos Univariado e Bivariado.

No caso Univariado, o coeficiente I de Moran Local é expresso por:

$$I_i = z_i \sum_{j=1}^J w_{ij} z_j \quad (3)$$

onde z_i é o valor padronizado da variável de interesse na região i (quantidade de autos de infração), w_{ij} é um elemento da matriz de pesos espaciais, referente à região i e à região j , e z_j é o valor padronizado da variável de interesse na região j .

Para o caso Bivariado, o coeficiente I de Moran Local é expresso por:

$$I_i^{z_1 z_2} = z_{1i} W z_{2i} \quad (4)$$

onde z_{1i} e z_{2i} são os valores padronizados das variáveis de interesse na região i (quantidade de autos de infração e valor das multas aplicadas, respectivamente) e $W z_{2i}$ é a defasagem espacial da variável padronizada z_{2i} .

Para a análise local univariada também foi calculado como base de comparação ao I de Moran Local, a estatística G_i Local. Tal estatística permite identificar bolsões de concentração espacial. Se a variável na região i estiver circundada por altos valores temos um “hot spot”, já se estiver circundada por baixos valores, temos um “cool spot”. Sendo assim, tal indicador não consegue captar padrões espaciais de dispersão¹².

4. Resultados e Discussão

⁸ Significando que regiões com altos valores de determinada variável são circundados por regiões com altos valores da mesma ou de outras variáveis.

⁹ Definição oposta a da nota de rodapé anterior.

¹⁰ Significando que regiões com altos valores de determinada variável são circundados por regiões com baixos valores da mesma ou de outras variáveis.

¹¹ Definição oposta a da nota de rodapé anterior.

¹² A fórmula estatística do teste, bem como comentários sobre sua interpretação, pode ser encontrada em Almeida (2012).

⁷ As fórmulas estatísticas de ambos testes, bem como comentários sobre suas interpretações, podem ser encontrados em Almeida (2012).



A tabela 1 apresenta a descrição das variáveis utilizadas neste trabalho e as principais estatísticas descritivas. Segundo os dados coletados, foram registrados pelo IBAMA, ao longo do período estudado, em torno de 191 mil autos de infração contra a flora, totalizando um valor de 3,79 trilhões de Reais em multas aplicadas. Liderando as 20 primeiras posições no ranking de autuações anuais estão alguns municípios dos estados do Mato Grosso, Rondônia e Pará, entre eles: Várzea Grande (MT) com 937 autos em 1999; Belém do Pará (PA) com 636 autos em 2003 e Vilhena (RO) com 551 autos em 2008. Em termos agregados, a cidade de Porto Velho (RO) é o município que mais recebeu autuações no período: 2.761 autos de infração contra a flora nos 15 anos estudados. Quanto aos valores das multas aplicadas, alguns municípios dos estados do

Pará, Amazonas, Maranhão e Mato Grosso lideram as 20 primeiras posições no ranking de valores anuais, entre eles: Marabá (PA) totalizando R\$ 320 bilhões em 2005, Manicore (AM) totalizando R\$ 292 bilhões em 2008 e Acailância (MA) totalizando R\$ 204 bilhões em 2005. Além de ocupar a primeira posição neste ranking, Marabá (PA) também é a campeã em termos agregados, somando 1,04 trilhões de Reais em multas recebidas ao longo do período. É importante destacar que existe um expressivo número de municípios, 906 no total, que não recebeu nenhuma autuação ou multa do IBAMA ao longo dos 15 anos estudados. Outras 749 cidades foram autuadas pela autoridade ambiental apenas uma ou duas vezes no período, ficando, portanto, abaixo da média nacional de infrações anuais por município.

Tabela 1: Descrição das Variáveis e Estatísticas Descritivas

Variável	Descrição	Soma ¹	Média ²	Desvio-Padrão ²	Mínimo ²	Máximo ²
<i>Autos de Infração contra a Flora</i>	Quantidade de infrações em um município ao longo de um ano.	190.921	2,29	11,04	0,00	937
<i>Infrações per capita</i>	Autos de Infração divididos pela população do município	11,56	0,0001	0,0005	0,00	0,03
<i>Valor das Multas Aplicadas</i>	Somatório dos valores das multas aplicadas em um município ao longo de um ano.	R\$ 3,7 trilhões	R\$ 45 milhões	R\$ 3 bilhões	R\$ 0	R\$ 320 bilhões
<i>Multas per capita</i>	Valor das multas deflacionado ³ e dividido pela população do município	R\$ 51 milhões	R\$ 615	R\$ 57 mil	R\$ 0	R\$ 9,6 milhões

Fonte: Elaborado pelos autores. ¹Valores agregados para todo o período. ²Valores por município e ano. ³Valores deflacionados pelo IPCA, tendo por base o ano de 1998.

Nas Figuras 1a e 1b é possível visualizar a distribuição das autuações e multas aplicadas para todo o período estudado. Na figura 1a,

2868 cidades registraram até 8 autos de infração (mediana). Apenas 56 municípios estão no 1% superior da amostra, totalizando

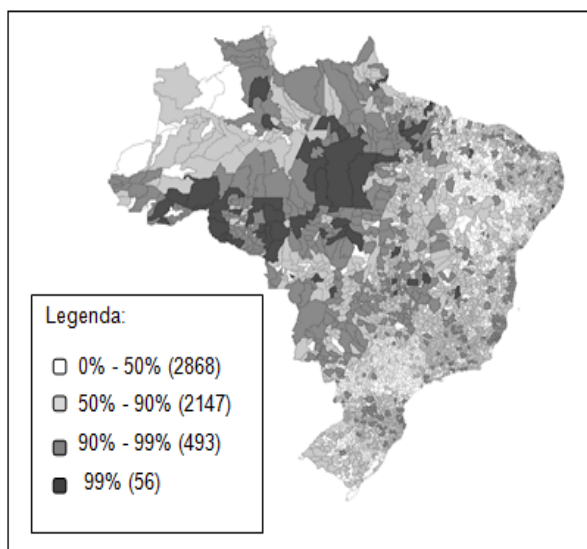


entre 450 e 2761 violações. Percebe-se uma concentração dos municípios com mais infrações nas regiões Norte e Centro Oeste, principalmente no arco do desmatamento¹³. Na figura 1b, 2782 cidades receberam multas somando até R\$ 26.015,00 (mediana). Novamente, 56 cidades totalizaram entre R\$ 90,12 milhões e R\$ 1,04 trilhão em multas. Para analisar a dependência espacial e a distribuição territorial das infrações contra a flora e respectivas multas, foram calculados índices Globais e Locais em suas perspectivas univariadas e bivariadas, utilizando infrações per capita¹⁴ e valor das multas per capita deflacionadas pelo IPCA para o ano de 1998. A seguir, apresentam-se os resultados para cada tipo de análise

4.1 Análise Global Univariada

A tabela 2 apresenta os valores calculados do I de Moran Global, C de Geary e G de Getis-Ord para os dados agrupados (considerando todo o período estudado) e ano a ano para infrações per capita. Tais estatísticas nos fornecem uma medida geral de associação espacial dos dados.

Figura 1a: Mapa de Percentis para Infrações Ambientais contra a Flora – Dados Agrupados

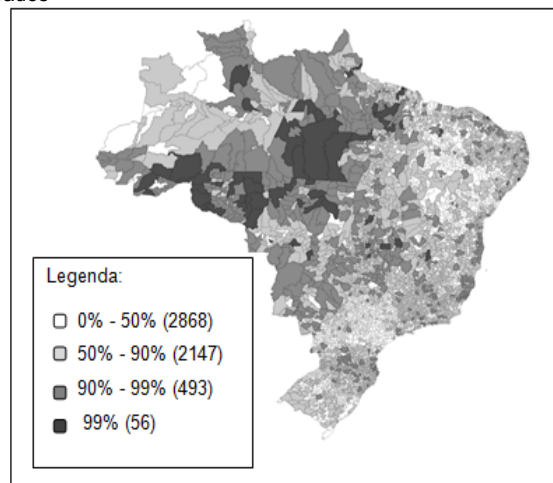


¹³ Região composta por 248 municípios que se estende de Rondônia ao Maranhão.

¹⁴ Variáveis extensivas tendem a estar correlacionadas espuriamente com a área ou população total de uma região. Assim, optou-se pela utilização dos dados na forma per capita.

Fonte: Elaborado pelos autores utilizando o software GeoDa.

Figura 1b: Mapa de Percentis para Multas Aplicadas – Dados Agrupados



Fonte: Elaborado pelos autores utilizando o software GeoDa

Não há diferença nos índices calculados utilizando-se o critério de contigüidade (fronteira geográfica) de primeira ordem (vizinhos diretos) seguindo as convenções Rainha ou Torre. Com relação aos índices calculados para a distância inversa (critério de distância geográfica), para 100km e 150km, sinal e significância se mantém, alterando marginalmente a magnitude dos mesmos.

Quanto ao I de Moran Univariado, o sinal positivo indica que os dados encontram-se concentrados, isto é, municípios com altas (baixas) quantidades de violações estão circundados por municípios vizinhos também com altas (baixas) quantidades de autuações. O nível de significância mostra que há a presença de autocorrelação espacial na variável de infrações contra a flora em todos os anos do período analisado, inclusive ao se considerar os dados agrupados. Os coeficientes são todos significantes a 1%, conforme expresso pelo p-valor, indicando que os dados para infrações ambientais não estão distribuídos de forma aleatória para os municípios brasileiros. Já a intensidade da autocorrelação espacial varia de média (I de



Tabela 2: Estatísticas Globais Univariadas para convenção "Rainha"

	I de Moran	C de Geary	G de Getis-Ord
Agrupado	0,54***	0,45***	0,0006*
1998	0,29***	0,77***	0,0006***
1999	0,25***	0,71***	0,0006***
2000	0,31***	0,67***	0,0005***
2001	0,29***	0,66***	0,0005***
2002	0,40***	0,54***	0,0006***
2003	0,28***	0,72***	0,0006***
2004	0,16***	0,83***	0,0009***
2005	0,22***	0,72***	0,0008***
2006	0,35***	0,66***	0,0009***
2007	0,40***	0,55***	0,0014***
2008	0,34***	0,62***	0,0014***
2009	0,33***	0,67***	0,0015***
2010	0,34***	0,68***	0,0014***
2011	0,31***	0,62***	0,0023***
2012	0,30***	0,66***	0,0026***
N	5.564	5.564	5.564

Fonte: Elaborado pelos autores utilizando o software Ipeageo. ***Significativo a 1% ou menos.

Moran para o ano 2002 - 0,40) à fraca (I de Moran para o ano 2004 - 0,16). Os valores do C de Geary e da estatística G de Getis-Ord confirmam os resultados obtidos através do I de Moran. Para o C de Geary, valores entre 0 e 1 indicam autocorrelação espacial positiva, com intensidade média à fraca (valores próximos a 1), dada a magnitude do índice. Já o G de Getis-Ord indica que há concentração espacial nos dados. Novamente, os coeficientes são todos significativos a 1%, comprovando que os

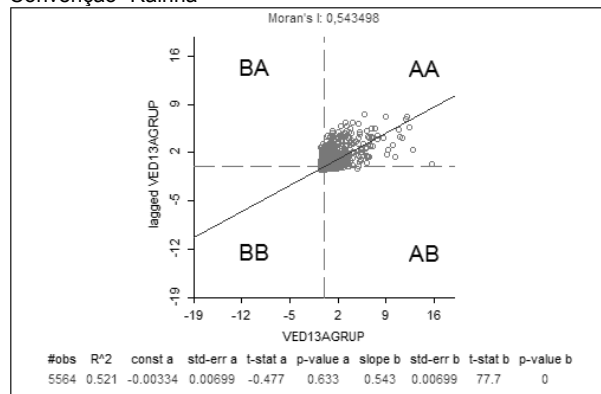
dados não estão distribuídos aleatoriamente no espaço.

A figura 2 apresenta o Diagrama de Dispersão dos Dados com o valor calculado do I de Moran para os dados agrupados. Através desta figura é possível perceber que o índice se aproxima do valor do coeficiente estimado se fosse feita uma regressão de mínimos quadrados ordinários (MQO) entre a quantidade de autos de infração per capita e a sua defasagem espacial. É possível



perceber uma predominância do padrão Alto-Alto nos dados de infrações per capita.

Figura 2: Diagrama de Dispersão para Infrações Ambientais contra a Flora. Análise Univariada – Dados Agrupados – Convenção “Rainha”



Fonte: Elaborado pelos autores utilizando o software GeoDa.

4.2 A análise Local Univariada

O I de Moran Global e demais estatísticas fornecem um padrão geral de associação espacial para todo o conjunto de dados, isto é, é calculado um único índice para todos os municípios do Brasil. Neste sentido, tais estatísticas são incompletas, uma vez que não permitem uma análise mais detalhada do problema com a identificação de aglomerados (“clusters”) espaciais. A fim de melhor compreender o comportamento espacial local das infrações ambientais, foram calculados o I de Moran Local (análise LISA) e a estatística G_i Local para detecção de “hot/cool spots” para cada município brasileiro. Tais dados são apresentados, primeiramente, através do mapa de “clusters” Lisa (Figura 3), que combina as informações de cada um dos quadrantes do Diagrama de Dispersão de Moran (AA, BB, AB, BA) com um mapa de significância para obter os “clusters” que passaram no teste de significância do I de Moran Local. Na sequência, apresenta-se o mapa de “clusters” G_i que permite identificar bolsões de concentração espacial de padrões AA (“hot spot”) e BB (“cool spot”).

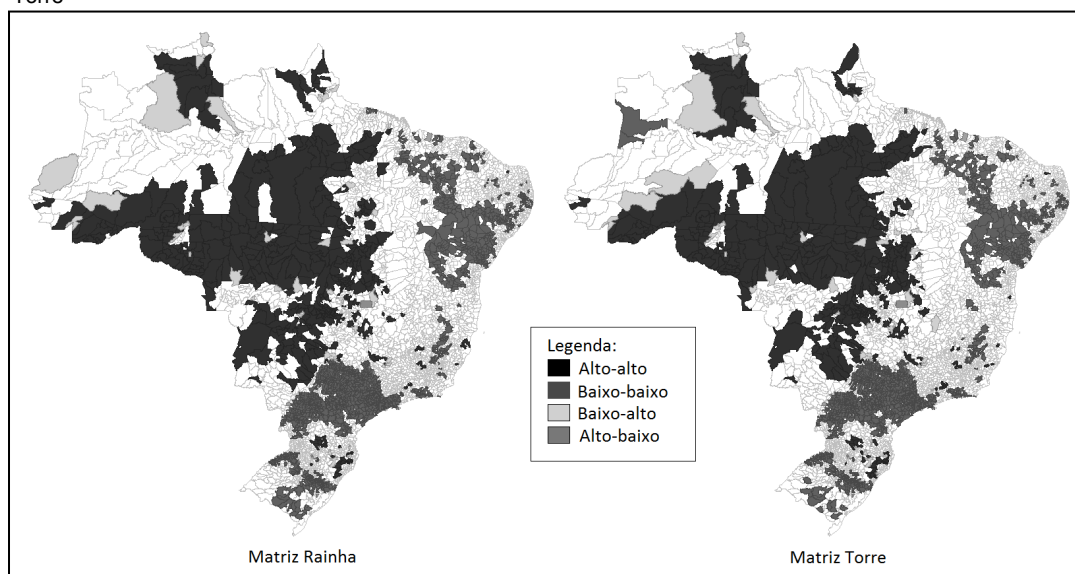
Tendo em vista a análise Lisa Univariada (Figura 3), os mapas para as convenções Rainha (à esquerda) e Torre (à direita) nos permitem ver a existência de um grande “cluster” de padrão Alto-Alto nos municípios

da Amazônia Legal, principalmente na região do arco do desmatamento, englobando os estados do Acre, Amazonas, Pará, Rondônia, Mato Grosso, Tocantins e parte do Maranhão. Além deste, outros aglomerados de mesmo padrão ocupam cidades de Roraima e Amazonas, Mato Grosso do Sul, Goiás e Santa Catarina, significando que municípios com altas quantidades de infrações estão circundados por municípios também com altas quantidades de autuações. Alguns aglomerados menores, de padrão Baixo-Alto aparecem misturados e nas fronteiras destes dois maiores. A incidência deste padrão alto-alto nos municípios da Amazônia Legal é condizente com os demais estudos que utilizam a análise espacial para avaliar o desmatamento (ver, por exemplo, Kampel, Câmara e Quintanilha, 2000; e Oliveira et al, 2011). Já os padrões Baixo-Baixo aparecem mais concentrados em São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e em alguns estados da região Nordeste, principalmente na Bahia, Piauí, Maranhão e Pernambuco. “Clusters” menores de todos padrões aparecem nas demais regiões. As cidades em branco não se encontram em nenhum agrupamento específico, uma vez que a quantidade de infrações registradas nestes municípios não difere, em termos estatísticos, da média de todas cidades para a mesma variável.

Já o mapa de “Clusters” G_i apresenta apenas os aglomerados significantes de padrão Alto-Alto e Baixo-Baixo (figura 4). É possível perceber que os “clusters” detectados são praticamente os mesmos da análise Lisa univariada. Entretanto, pelo mapa G_i o “cluster” formado pelo norte do Amazonas, Pará e estado de Roraima tem padrão AA, configurando um “hot spot”, assim como outros municípios do oeste do Amazonas. Pelos três mapas apresentados fica evidente que os padrões de concentração Alto-Alto estão localizados, em sua maioria, em locais de floresta nativa, onde as infrações contra a Flora são mais frequentes pela própria definição da variável, conforme a Lei de Crimes Ambientais. Já os padrões Baixo-Baixo estão localizados em áreas com maior urbanização e, portanto, menor percentual de mapa nativa.

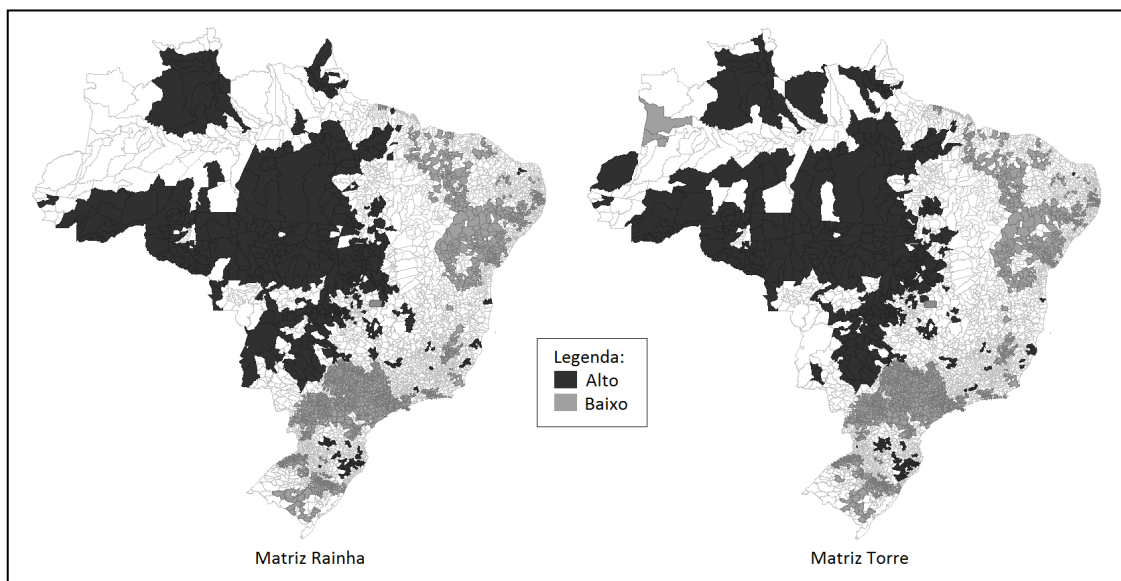


Figura 3: Mapa de “Clusters” LISA para Infrações Ambientais contra a Flora. Análise Univariada – Dados Agrupados – Convenção “Rainha” e “Torre”



Fonte: Elaborado pelos autores utilizando o software GeoDa. “Clusters” significativos a 5% ou menos.

Figura 4: Mapa de “Clusters” Gi para Infrações Ambientais contra a Flora. Análise Univariada – Dados Agrupados – Convenção “Rainha” e “Torre”



Fonte: Elaborado pelos autores utilizando o software GeoDa. “Clusters” significativos a 5% ou menos.

Além de calcular o I de Moran Local e o mapa de “clusters” Gi para os dados agregados, as mesmas análises foram feitas para os dados ano a ano. Alguns destes mapas, para os anos 1998, 2006 e 2012 estão em anexo. É interessante notar que em 1998 os aglomerados de padrão Alto-Alto encontram-se dispersos e misturados a outros de padrão

Baixo-Alto, estando basicamente localizados no sul e leste da região Norte e na região Centro-Oeste. Já em 2006 e, mais nitidamente, em 2012 percebe-se a formação de um grande “cluster” de padrão Alto-Alto na região do arco do desmatamento, similar ao da figura 3. Tal concentração de infrações pode estar relacionada ao aumento e



migração da fiscalização do IBAMA para esta região do país.

4.3 Análise Global Bivariada

Ao considerar a relação entre autuações e multas aplicadas, encontram-se resultados diversos da análise Univariada (tabela 3).

Os sinais positivos dos I de Moran Bivariados indicam que os dados encontram-se concentrados, isto é, municípios com altas (baixas) quantidades de infrações estão circundados por municípios com altos (baixos) valores de multas aplicadas. O nível de significância mostra que há a presença de correlação espacial entre as duas variáveis em quase todos os anos do período analisado, inclusive ao se considerar os dados agrupados, conforme expresso pelo p-valor, comprovando que os dados para violações ambientais e multas aplicadas não estão distribuídos de forma aleatória no espaço. Entretanto, a intensidade da correlação espacial parece ser muito fraca, com vários anos apresentando I de Moran próximo a zero, inclusive para os dados agrupados.

A figura 5 apresenta o Diagrama de Dispersão para o caso bivariado e com dados agrupados. Não há diferença nos índices calculados utilizando-se o critério de contigüidade (fronteira geográfica) de primeira ordem (vizinhos diretos) seguindo as convenções Rainha ou Torre. Com relação aos índices calculados para a distância inversa (critério de distância geográfica), para 100km e 150km, os resultados se alteram marginalmente. Os resultados para o I de Moran Bivariado Global são pouco conclusivos, evidenciando a necessidade de realizar a análise Lisa Local.

4.4 Análise Local Bivariada

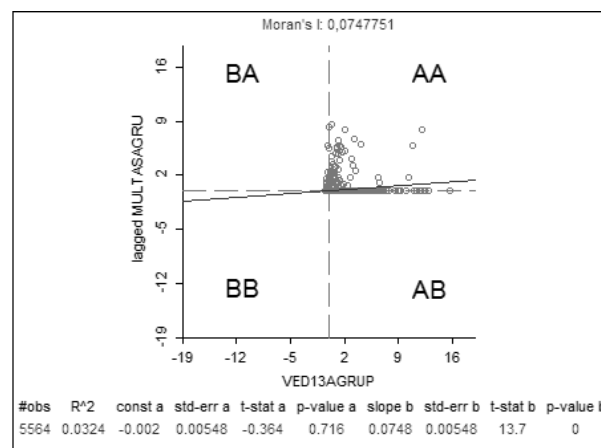
Considerando a relação entre autuações e multas aplicadas, a análise Lisa Bivariada (Figura 6) apresenta resultados diversos da análise univariada. Novamente, ocorre a presença de “clusters” significativos nos municípios da Amazônia Legal,

Tabela 3: Estatísticas Globais Bivariadas para convenção “Rainha”

	I de Moran
Agrupado	0,075***
1998	0,25***
1999	0,088***
2000	0,073***
2001	0,015**
2002	0,098***
2003	0,149***
2004	0,008
2005	0,009
2006	0,20***
2007	0,036***
2008	0,016**
2009	0,008*
2010	0,032
2011	0,069***
2012	0,058***
N	5.564

Fonte: Elaborado pelos autores utilizando o software Geoda.
***Significativo a 1%. **Significativo a 5%. *Significativo a 10

Figura 5: Diagrama de Dispersão para Infrações Ambientais contra a Flora . Análise Bivariada – Dados Agrupados – Convenção “Rainha”



Fonte: Elaborado pelos autores utilizando o software GeoDa



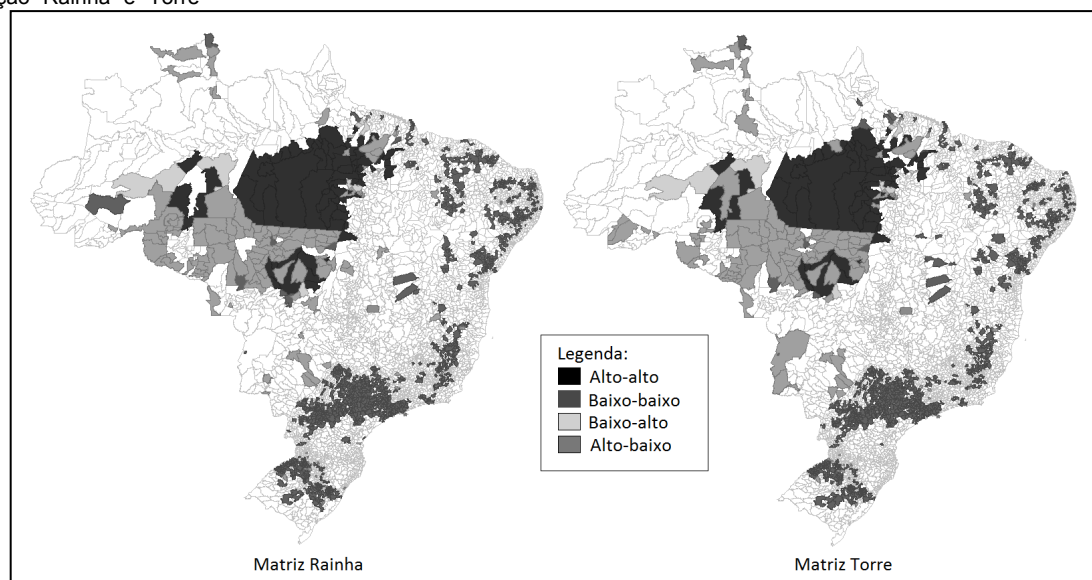
principalmente na região do arco do desmatamento. Entretanto, em vez de um grande agrupamento de padrão Alto-Alto, distinguem-se dois “clusters” maiores: Alto-Baixo, na região dos estados de Rondônia e Mato Grosso, significando que municípios com alta quantidades de infrações estão circundados por vizinhos com valores baixos para multas; e Alto-Alto, nos estados do Pará e Amazonas, indicando que municípios com altas quantidades de infrações são rodeadas por municípios também com altos valores de multas aplicadas. Outros agrupamentos menores, com padrão baixo-baixo, estão localizados no RS, PR, SP, MG, RJ e estados do Nordeste.

Assim como no caso Univariado, as mesmas análises foram feitas para os dados ano a ano. Os mapas para os anos 1998, 2006 e 2012 encontram-se em anexo. O mesmo movimento de formação de um grande “cluster”, entre 1998 e 2012, no arco do desmatamento é observado para a análise Bivariada. Entretanto, para a maioria dos

anos a partir de 2004, este assume padrão Alto-Baixo. Conforme dito, tal concentração de infrações e de sanções aplicadas (multas) pode estar relacionada ao aumento e migração da fiscalização do IBAMA para esta região do país.

A conclusão que se tira das análises feitas é que existe, portanto, uma concentração muito forte de autuações contra a flora e valores das multas aplicadas nos estados do Norte e Centro-Oeste, em praticamente todo o período estudado e principalmente na região do arco do desmatamento, onde regiões com altas quantidades de infrações estão circundadas por regiões também com quantidades altas de infrações. Tais resultados poderiam indicar a ineficiência da política ambiental adotada e da ação do IBAMA como monitorador, ainda mais ao se considerar que para os dados agregados (e para a maioria dos anos a partir de 2004), existe a formação de um “cluster” de padrão Alto-baixo para infrações e multas aplicadas.

Figura 6: Mapa de “Clusters” LISA para Infrações Ambientais contra a Flora VS Multas Aplicadas. Análise Bivariada – Dados Agrupados - Convenção “Rainha” e “Torre”



Fonte: Elaborado pelos autores utilizando o software GeoDa. “Clusters” significativos a 5% ou menos.

Entretanto, um problema comum dos estudos de crime é que os dados coletados correspondem às violações registradas, isto é, aquelas que foram efetivamente

descobertas pelas autoridades. Portanto, pode existir um subregistro de infrações. Assim, o crescimento ou a concentração das autuações contra a flora pode significar



apenas mais infrações descobertas em determinada localidade, ainda mais quando se considera o efetivo do IBAMA comparado a um país de dimensões continentais como o Brasil. Além disso, existe endogeneidade na variável de multas aplicadas, ou seja, toda autuação lavrada produz uma multa. Conforme destacado por Uhr e Uhr (2014)¹⁵, a quantidade de infrações contra a flora tem diminuído com o passar dos anos, ao passo que o valor das multas tem aumentando. Em seu estudo, os autores encontram que as multas aplicadas pelo IBAMA são importantes para conter as violações e que o aumento no valor das multas aplicadas em um estado e em seus vizinhos gera uma redução no número de autos de infração para o ano subsequente à aplicação da multa. Portanto, segundo os autores, existiria um “lag” temporal importante a ser considerado. Os aumentos na fiscalização e nas punições fariam efeito nos períodos posteriores, significando a diminuição de autuações no futuro.

Para uma análise aprofundada das possíveis explicações para os agrupamentos encontrados torna-se necessário um detalhamento dos resultados por região. Fatores institucionais como, por exemplo, legislações ambientais específicas para municípios/estados e tamanho do efetivo do IBAMA, ou econômicos, tais como concentração da produção agrícola/pecuária e industrial, podem estar por trás dos resultados encontrados. Entretanto, conforme já foi dito, os padrões alto-alto (para os casos univariado e bivariado) e alto-baixo (bivariado) aparecem concentrados em regiões de floresta, onde as infrações contra a Flora são mais frequentes por definição. Já os padrões Baixo-Baixo (univariado e bivariado) estão localizados em áreas de maior urbanização e, portanto, menor percentual de mapa nativa.

5. Conclusões

Esse trabalho preocupou-se em compreender o comportamento espacial das infrações ambientais contra a flora (e das respectivas

multas aplicadas) registradas pelo IBAMA nos municípios brasileiros entre 1998 e 2012. Para tanto, foram calculados as estatísticas Global e Local de Moran (LISA) univariadas e bivariadas, Índice de Geary e Índice de Getis globais para estimar a presença de correlação espacial e a existência de padrões espaciais (“clusters”), e estatística G local para detecção de “hot/cool spots”.

Assim como o desmatamento, as autuações ambientais contra a flora apresentam uma forte natureza espacial, uma vez que estas ocorrem, principalmente, na vizinhança de municípios com elevado número de infrações. Além disso, este trabalho aponta para a existência de correlação espacial entre violações e multas aplicadas. Para contemplar tais aspectos, os estudos futuros sobre infrações ambientais no Brasil deverão englobar em suas análises a dependência espacial e a distribuição espacial das autuações, além de transbordamentos nas variáveis relativas à punição dos infratores, especialmente no que se refere às multas aplicadas. De fato, são poucos os artigos que exploram tal temática para o Brasil e nenhum deles utiliza a metodologia de econometria espacial ou faz uma análise espacial descritiva (AEDE) para avaliar se há ou não um componente espacial nas infrações contra o meio ambiente.

Destacamos que as análises empregadas constituem-se em uma novidade para o estudo das violações ambientais no Brasil, principalmente quanto à perspectiva espacial. Os resultados obtidos podem complementar os estudos existentes sobre o desmatamento, uma vez que os dados utilizados são mais abrangentes espacialmente, não estando restritos à Amazônia Legal. Este artigo, portanto, inova ao utilizar uma base de dados inédita em pesquisa econômica e espacial. Os resultados podem orientar as ações do governo no combate à novas infrações, especialmente quanto à implantação de políticas no âmbito da fiscalização ambiental.

Como pesquisa futura, sugere-se o cálculo dos mesmos índices combinando a ocorrência de autuações com dados socioeconômicos (PIB per capita, produção

¹⁵ Os autores utilizam dados estaduais para infrações contra a flora e multas aplicadas entre 2000 e 2011.



agrícola, educação e emprego) e institucionais. Tais análises representam o ponto de partida para uma modelagem econométrica espacial que seja capaz de refletir a realidade das relações entre infrações ambientais, punições aplicadas e fatores socioeconômicos.

REFERÊNCIAS

- Almeida, E., 2012. *Econometria Espacial Aplicada*. Campinas, SP: Editora Alínea.
- Almer, C. e T. Goeschl., 2010. Environmental crime and punishment: empirical evidence from the German penal code. *Land Economics*, 86(4), pg. 707-726.
- Anselin, L., 1995. Local Indicators of Spatial Association - LISA. *Geographical Analysis*, v.27, n.2, p.93-115.
- Anselin, L., J. Cohen, D. Cook, W. Gorr e G. Tita., 2000. Spatial analyses of crime. *Criminal Justice*, v. 4, pg. 213-262.
- Anton, W., G. Deltas, e M. Khanna., 2004. Incentives for environmental self-regulation and implications for environmental performance. *Journal of Environmental Economics and Management*, 48, pg. 632-654.
- Becker, G. S., 1968. Crime and punishment: An economic approach. *Journal of Political Economy*, 76 (2) pg. 169-217.
- Brasil. Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6514.htm.
- Brasil. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm.
- Brasil. Lei nº 11.516, de 28 de agosto de 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11516.htm.
- Chomitz, K. e D. Gray., 1996. Roads, Land Use, and Deforestation: A Spatial Model Applied to Belize. *World Bank Economic Review*, 10(3), pg.487-512.
- Chomitz, K. e T. Thomas., 2003. Determinants of Land Use in Amazonia: A fine-scale Spatial Analysis. *American Journal of Agricultural Economics*, vol.85 (4), pg. 1016-1028.
- Dasgupta, S., H. Hettige, e D. Wheeler., 2000. What improves environmental compliance? Evidence from Mexican industry. *Journal of Environmental Economics and Management*, 39, pg. 39-66.
- Ferraz, C. e R. Seroa da Motta., 2002. Regulação, mercado ou pressão social? Os determinantes do investimento ambiental na indústria. Texto para discussão 863. Rio de Janeiro: IPEA.
- Gray, W. e M. Deily., 1996. Compliance and enforcement: air pollution regulation in the U.S. steel industry. *Journal of Environmental Economics and Management*, 31, pg. 96-111.
- Helland, E., 1998. The enforcement of pollution control laws: inspections, violations, and self-reporting. *Review of Economics and Statistics*, 80, pg. 141-153.
- Kampel, S. A., G. Câmara, e J. A. Quintanilha., 2000. Análise Exploratória das relações espaciais do desflorestamento na Amazônia Legal Brasileira. *Anais Gisbrasil*, Salvador.
- Lapante, B. e P. Ristone., 1996. Environmental inspections and emissions in the pulp and paper industry in Quebec. *Journal of Environmental Economics and Management*, 31, pg. 19-36.
- Margulis, S., 2003. Causas do Desmatamento na Amazônia Brasileira. Banco Mundial.
- Magat, W. A. e W. K. Viscusi., 1990. Effectiveness of the EPA's regulatory enforcements: the case of industrial effluent standards. *Journal of Law and Economics*, 30, pg. 331-360.
- Monastério, L. e R. P. Ávila., 2004. Uma Análise Espacial do Crescimento Econômico do Rio Grande do Sul (1939-2001). *Economia*, Brasília, v.5, n.2, p.269-296.
- Moran, P. A. P., 1948. The Interpretation of Statistical Maps. *Journal of Royal Statistical Society*, v. 10, n. 2, pg. 243-251.
- Nadeau, L. W., 1997. EPA effectiveness at reducing the duration of plant-level noncompliance. *Journal of Environmental Economics and Management*, 34, pg. 54-78.
- Nelson, G. e J. Geoghegan., 2002. Modeling Deforestation and Land Use Change: Sparse Data Environments. *Agricultural Economics*, 27(3), pg. 201-216.
- Nunes, F. G., 2013. Análise Exploratória Espacial de Indicadores de Desenvolvimento Socioambiental das Regiões de Planejamento do Norte e Nordeste Goiano. *Ateliê Geográfico*, v.7, n. 1, p. 237- 259.
- Oliveira, C. A., 2008. Análise Espacial da Criminalidade no Rio Grande do Sul. *Revista de Economia*, v. 34, n. 3, p. 35-60.
- Oliveira, R. C., E. Almeida, R. S. Freguglia, e R. C. S. Barreto., 2011. Desmatamento e Crescimento Econômico no Brasil: uma análise da Curva de Kuznets Ambiental para a Amazônia Legal. *Revista de Economia e Sociologia Rural (RESR)*, vol. 49, nº 03, pg. 709-740.
- Pfaff, A. S. P., 1999. What Drives Deforestation in the Brazilian Amazon? *Journal of Environmental Economics and Management*, 37, pg. 26-43.
- Pfaff, A. S. P., J. Robalino, R. Walker, E. Reis, S. Perz, C. Boher, e S. Aldrich., 2007. Road Investment, Spatial Intensification and Deforestation in the Brazilian Amazon. *Journal of Regional Science*, 47 (1), pg. 109-123.



Posner, R., 1977. *Economic Analysis of Law*. Boston: Little, Brown.

Rousseau, S., 2008. The Impact of Sanctions and Inspections on Firm's Environmental Compliance Decisions. Working Paper, Disponível em: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1114020

Russel, C.S., W. Harrington, e W.J. Vaughan., 1986. *Economic models of monitoring and enforcement: enforcing pollution control laws*. Washington, DC: Resources for the Future.

Seroa da Motta, R., 2006. Analyzing the environmental performance of the Brazilian industrial sector. *Ecological Economics*, 57, pg. 269-281.

Shimshack, J. P. e M. B. Ward., 2005. Regulator reputation, enforcement, and environmental compliance. *Journal of Environmental Economics and Management*, 50, pg. 519-540.

_____, 2008. Enforcement and over-compliance. *Journal of Environmental Economics and Management*, 55, pg. 90-105.

Sigman, H., 1998. Midnight Dumping: Public Policies and Illegal Disposal of Used Oil. *RAND Journal of Economics*, Vol. 29 (1), pg. 157-178.

Stafford, S. L., 2002. The effect of punishment on firm compliance with hazardous waste regulation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 44, pg. 290-308.

_____, 2003. Assessing the effectiveness of state regulation and enforcement of hazardous waste. *Journal of Regulatory Economics*, 23, pg. 24 – 41.

Stigler, G. J., 1970. The Optimum Enforcement of Laws. *Journal of Political Economy*. University of Chicago Press, vol. 78(3), pg. 526-36, May-June.

Viladrich-Grau, M. e T. Groves., 1997. The Oil Spill Process: The Effect of Cost Guard Monitoring on Oil Spills. *Environmental and Resource Economics*, 10, pg. 315-339.

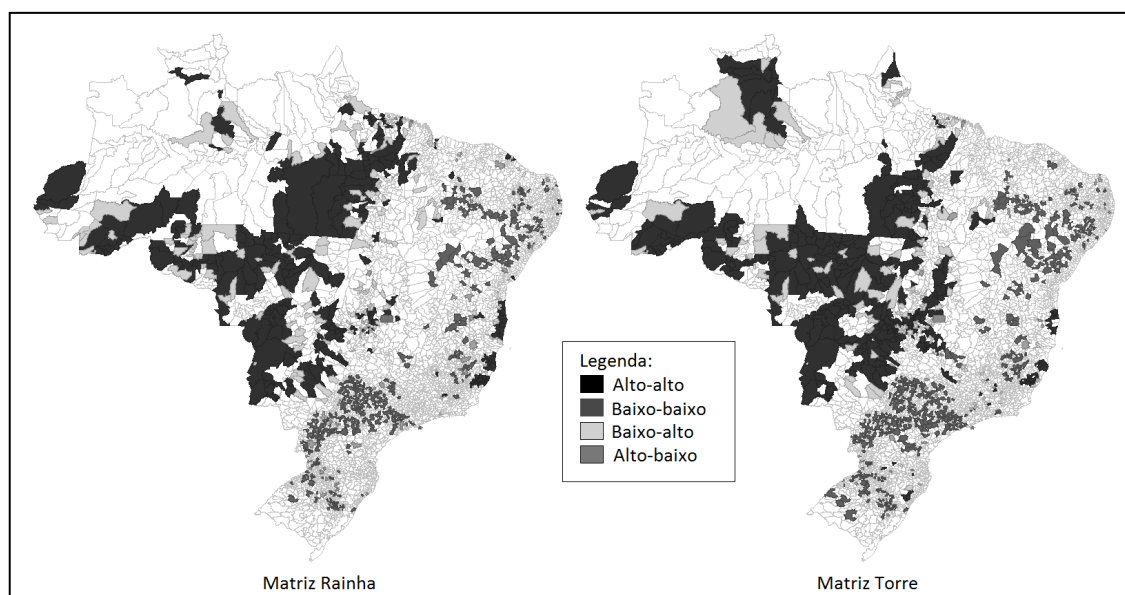
Uhr, J. G. Z. e D. A. P. Uhr., 2014. *Infrações Ambientais e a Reputação do Regulador: Análise em Dados de Painel para o Brasil*. Estudos Econômicos (São Paulo, Impresso), v. 44, pg. 69-103.

Uhr, J. G. Z. e D. A. P. Uhr., 2015. *Crimes Ambientais e Agentes Privados: Evidências para os Estados Brasileiros*. *Análise Econômica (UFRGS)*, v. 33, p. 277-301.

ANEXOS

Figura 6: Mapa de “Clusters” LISA para Infrações Ambientais contra a Flora

Análise Univariada – Ano 1998 Rainha/Torre

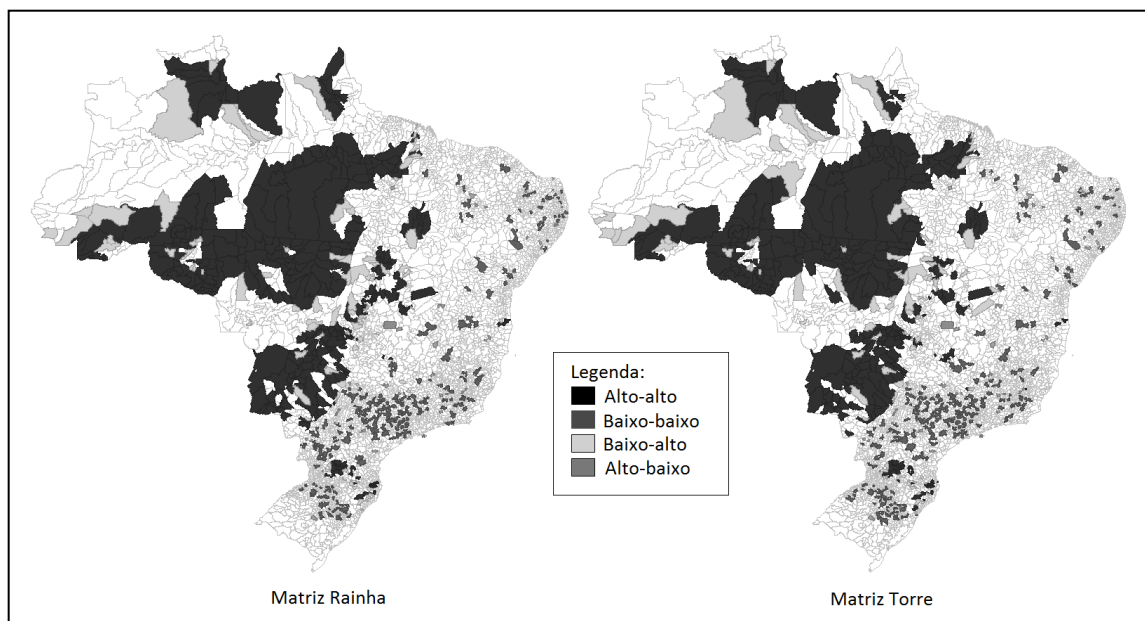


Fonte: Elaborado pelos autores utilizando o software GeoDa. “Clusters” significativos a 5% ou menos.



Figura 7: Mapa de “Clusters” LISA para Infrações Ambientais contra a Flora

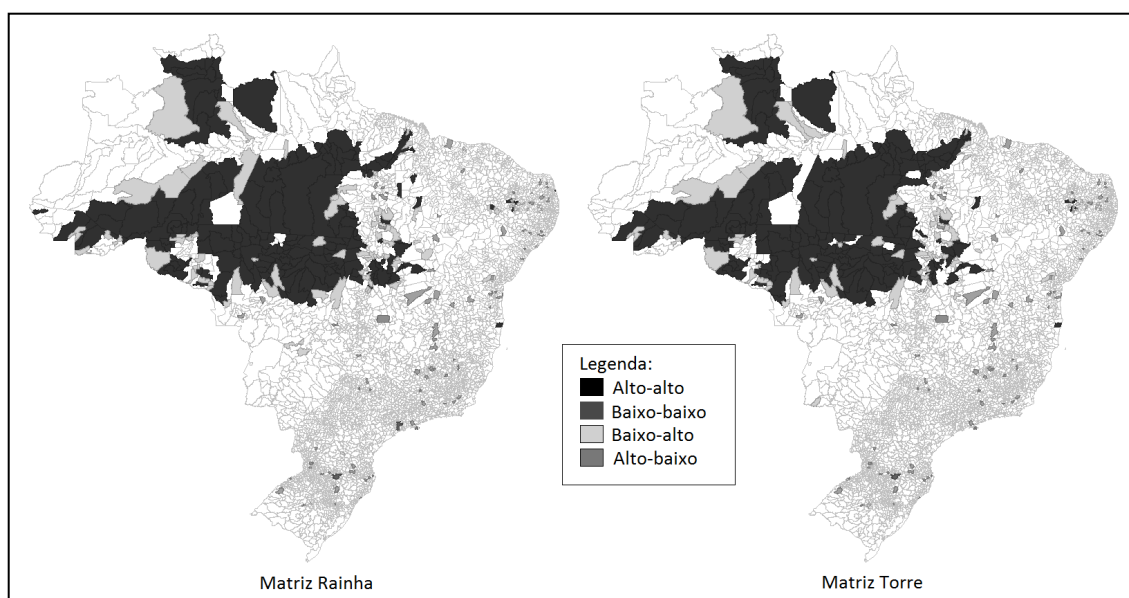
Análise Univariada – Ano 2006 – Rainha/Torre



Fonte: Elaborado pelos autores utilizando o software GeoDa. “Clusters” significativos a 5% ou menos.

Figura 8: Mapa de “clusters” LISA para Infrações Ambientais contra a Flora

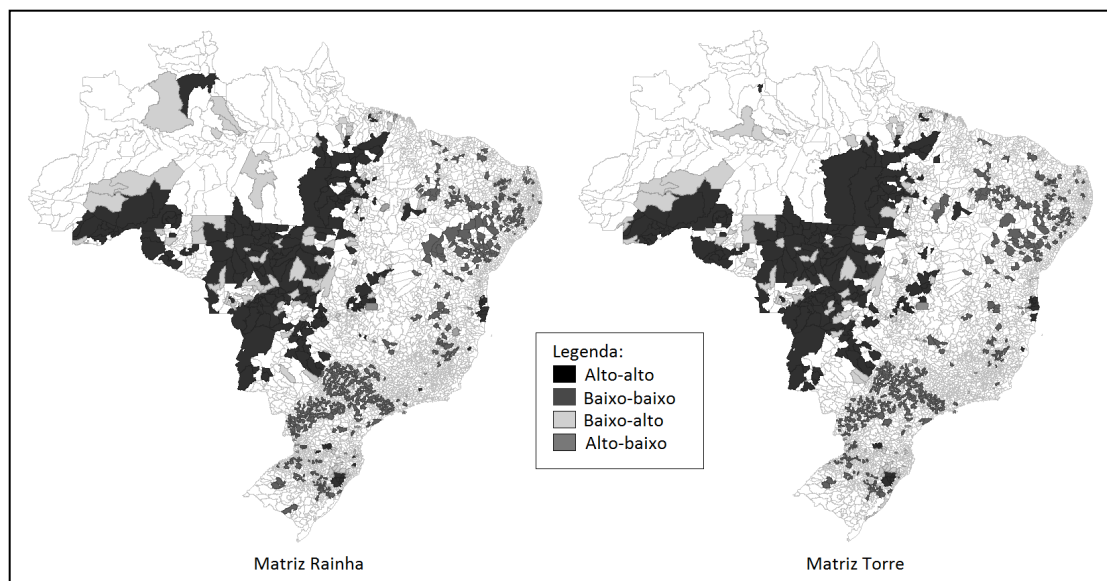
Análise Univariada – Ano 2012 – Rainha/Torre



Fonte: Elaborado pelos autores utilizando o software GeoDa. “clusters” significativos a 5% ou menos.

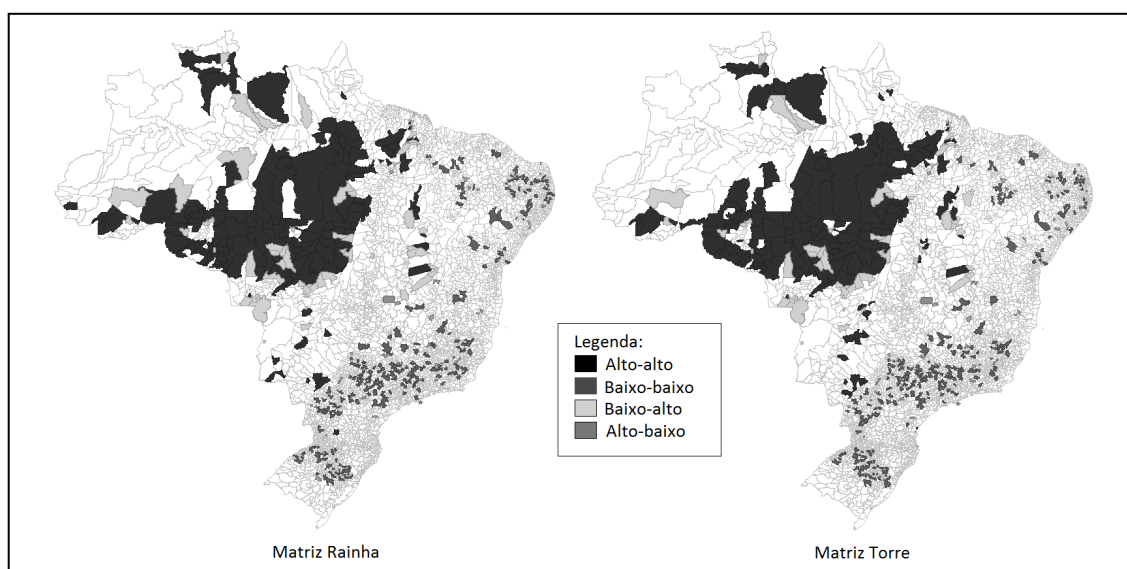


Figura 9: Mapa de “clusters” LISA para Infrações Ambientais contra a Flora VS Multas Aplicadas. Análise Bivariada – Ano 1998 – Rainha/Torre



Fonte: Elaborado pelos autores utilizando o software GeoDa. “clusters” significativos a 5% ou menos.

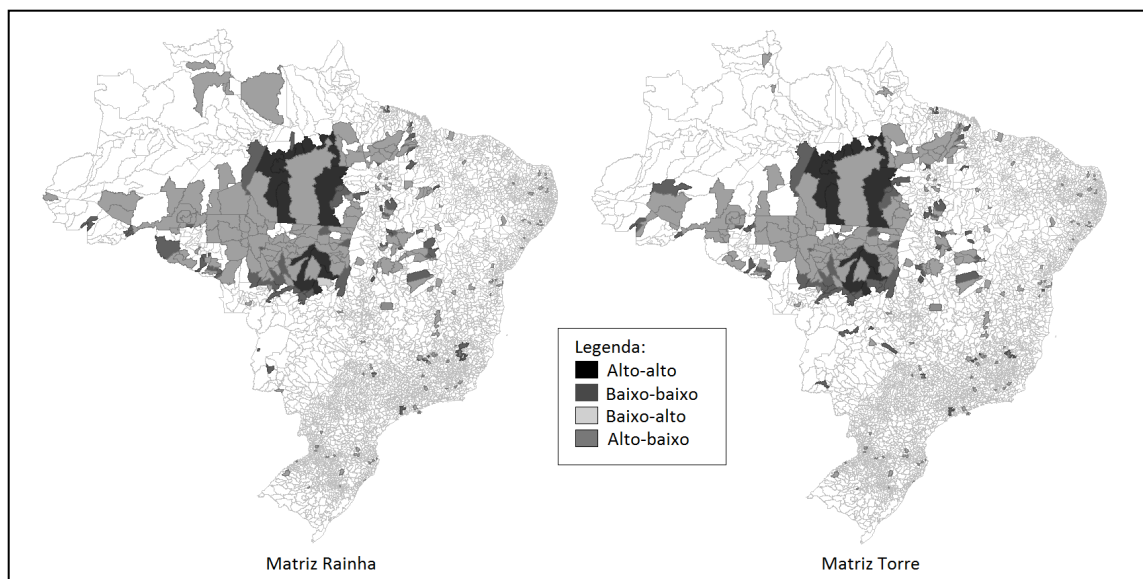
Figura 10: Mapa de “clusters” LISA para Infrações Ambientais contra a Flora VS Multas Aplicadas. Análise Bivariada – Ano 2006 – Rainha/Torre



Fonte: Elaborado pelos autores utilizando o software GeoDa. “clusters” significativos a 5% ou menos.



Figura 11: Mapa de “clusters” LISA para Infrações Ambientais contra a Flora VS Multas Aplicadas. Análise Bivariada – Ano 2012 – Rainha/Torre



Fonte: Elaborado pelos autores utilizando o software GeoDa. “clusters” significativos a 5% ou menos.